

1. DEMARCACIÓN

A la hora de redactar este informe, todavía no se dispone de la definición formal de la Demarcación Hidrográfica del Ebro ni de sus autoridades competentes, en los términos que establecen el artículo 3 y el anexo 1 de la DMA. No obstante, se dispone de la delimitación territorial del ámbito administrado por la autoridad de cuenca (Confederación Hidrográfica del Ebro) según se define en los artículos 2, 3 y 4 del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro (CHE, 1996) aprobado por el RD 1664/1998, de 24 de julio (BOE, de 11 de agosto de 1998). A todo ello se añaden las aguas costeras y de transición que provisionalmente se delimitan y caracterizan, a falta de que el Ministerio de Medio Ambiente establezca la correspondiente armonización entre las zonas de aguas costeras asociadas a la demarcación hidrográfica del Ebro y a las otras demarcaciones hidrográficas limítrofes al norte, Cuencas Internas de Cataluña, y al sur, Júcar.

1.1 Marco administrativo

La cuenca del Ebro está situada en el centro del cuadrante NE de la península Ibérica, en el extremo occidental de Europa, es la más extensa de las cuencas mediterráneas españolas y una de las principales cuencas mediterráneas europeas. Ocupa una extensión aproximada de 85.600 Km², incluyendo los territorios que seguidamente se describen y las aguas costeras a ellos asociados:

- Zona española de la cuenca hidrográfica del Ebro, incluyendo el enclave de Llívia (Girona), y ajustada a los vértices del delta en las inmediaciones de Sant Carles de la Rápita y de l'Ampolla (Tarragona)
- Cuencas endorreicas, localizadas en la divisoria, de Gallocanta, Aizkorri y Aralar.
- Delta del Ebro.
- Pequeñas cabeceras que se adentran en España de cuencas hidrográficas que se extienden por territorio francés incluidos en la vecina demarcación Adour-Garona. Se trata del valle de Arán y otras cabeceras menores (ibón de Estanes -Gave d' Aspe- y macizo kárstico de Larra -Gave de S. Engracia-).



Fig. 1.1. Singularidades más destacadas en el ámbito territorial de la demarcación hidrográfica del Ebro.

No se incluyen en la demarcación del Ebro las siguientes zonas:

- Cuencas de ríos afuentes al Ebro fuera de territorio español: Valira y La Llosa en Andorra, alto Segre, con Rahur y Carol, e Irati, en Francia.
- Valcarlos - Col de Orgambide, es la cabecera del Nive de Argeny en España.
- Plana de Alcanar - Sant Carles, entre la pequeña sierra del Montsià y la bahía de los Alfaques, en Tarragona.

Polígono	km ²
Cuenca del Ebro en España (pol. principal)	84.957,68
Cuenca del Ebro en España (Llívia)	13,08
Valle de Arán (Alto Garona en España)	555,70
Ibón de Estanes (Gave d' Aspe en España)	14,82
Larra (Gave de S. Engracia en España)	7,16

Tabla 1.1. Superficie de los polígonos que conforman la demarcación del Ebro.

A la hora de plasmar la anterior descripción en un mapa se dispone de diversas fuentes de información topográfica y distintos modelos de elevaciones. En su momento (CHE, 1996) se realizó la delimitación hidrográfica manualmente interpretando el relieve a partir de la cartografía 1:50.000 española del Servicio Geográfico del Ejército, digitalizando los polígonos en el GIS-Ebro y proyectando el resultado a un mapa con coordenadas cartesianas UTM correspondientes al huso 30. El resultado de este trabajo, que se muestra en la Fig. 1.1, aporta los siguientes valores de superficie:

- La cuenca hidrográfica del Ebro, en España, Francia y Andorra, cubre una superficie de 85.937 km².
- La demarcación hidrográfica del Ebro, sin considerar el polígono de aguas costeras, ocupa una superficie de 85.566 km². El valor citado resulta de la suma de los polígonos que se indican en la Tabla 1.1.

De este modo, la demarcación hidrográfica del Ebro estaría formada por dos polígonos, el principal de 85.553 km² y otro muy pequeño correspondiente al municipio de Llivia, enclavado en territorio francés, de tan solo 13 km². Por otra parte, dada la pequeña entidad de los territorios compartidos con Francia y Andorra, tanto hacia el Ebro como hacia las demarcaciones francesas de Adour-Garona y Ródano-Mediterráneo, y dado también que ya existen acuerdos que facilitan en entendimiento entre ambos estados de la UE y también con Andorra, se descarta el establecimiento de dos o tres demarcaciones internacionales, asumiendo que el límite fronterizo de los Pirineos es también límite de demarcación.

Así pues, la demarcación hidrográfica del Ebro, sin considerar el polígono de aguas costeras asociadas, ocupa una superficie de 85.566 km² íntegramente en territorio español. Ahora bien, la Constitución española de 1978 reconoce y garantiza el derecho a la autonomía de las nacionalidades y regiones que integran el Estado, con lo que el territorio español aparece distribuido en 17 comunidades autónomas con capacidades de autogobierno y fuertes competencias en materias de ordenación del territorio y medio ambiente. Participan territorialmente en la demarcación hidrográfica del Ebro nueve de ellas: Aragón, Cantabria, Castilla-La Mancha, Castilla-León, Cataluña, La Rioja, Navarra, la Comunidad Valenciana y el País Vasco.

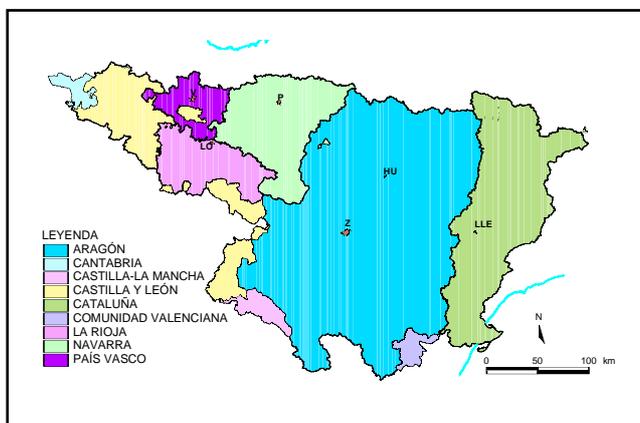


Fig. 1.2. Distribución administrativa del ámbito territorial de la demarcación hidrográfica del Ebro según comunidades autónomas

En la Fig. 1.2 se observa la distribución del territorio perteneciente a cada una de las comunidades autónomas indicadas, la Tabla 1.2 muestra los porcentajes sobre el total de la cuenca que tanto en territorio como en población supone cada comunidad autónoma.

Considerando estos aspectos destaca Aragón con la mitad de territorio de la cuenca y más del 40% de la población. En el otro extremo se encuentran las comunidades de Castilla - La Mancha, Valencia y Cantabria, con tan apenas el 1% del territorio en zonas poco pobladas.

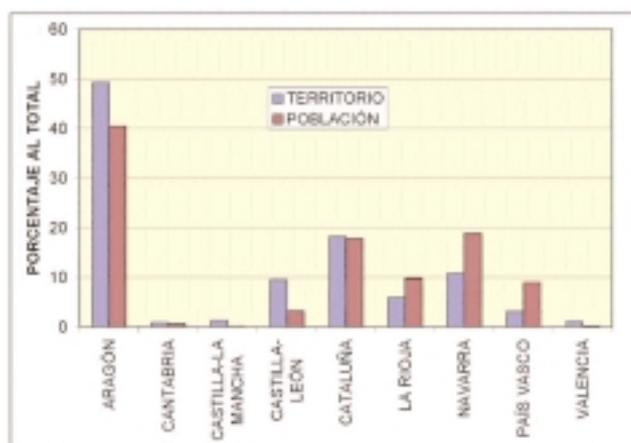


Fig. 1.3. Contribución a la demarcación del Ebro de las distintas comunidades autónomas que se distribuyen el ámbito territorial. Datos del territorio procedentes del GIS-Ebro, datos de población procedentes del Censo INE 2003.

CC.AA.	Territorio	Población
ARAGÓN	49,2	40,42
CANTABRIA	0,9	0,66
CASTILLA-LA MANCHA	1,3	0,07
CASTILLA - LEÓN	9,5	3,20
CATALUÑA	18,3	17,81
LA RIOJA	5,9	9,85
NAVARRA	10,8	18,87
PAÍS VASCO	3,1	8,95
VALENCIA	1,0	0,17

Tabla 1.2. Distribución administrativa del ámbito territorial de la demarcación hidrográfica del Ebro según porcentajes sobre el total del territorio y la población (censo 2003) de las comunidades autónomas.

Destaca por su asimetría el País Vasco, que con tan solo el 3% del territorio tiene el 9% de la población de la cuenca. Situación inversa a la de Castilla - León, que con casi el 10% del territorio solo suponen el algo más del 3% de la población. La parte catalana del Ebro,

aun siendo la menos poblada de esa comunidad autónoma, se ajusta equilibradamente al valor medio del Ebro. El gráfico de barras que se presenta como Fig. 1.3. pretende ilustrar esta situación.

La cuenca del Ebro cuenta en el año 2004 con una población de unos tres millones de habitantes. Contabilizando los datos del censo de población correspondiente al año 2003 en los 1.624 municipios españoles con cabecera dentro de nuestro ámbito territorial se alcanzan los 2.918.052 habitantes, a los que hay que añadir los 72.766 que pueblan el pequeño país pirenaico de Andorra y los 10.173 del Cantón de Saillagouse, en la Cerdaña francesa, cabecera del alto Segre.

El número de habitantes ha venido aumentando progresivamente a lo largo del S. XX, esta tendencia se ha incrementado considerablemente en los primeros años del S. XXI gracias, especialmente, a la venida de numerosos inmigrantes con los que se vencen claramente unas proyecciones negativas de crecimiento vegetativo (CHE, 2000), Fig. 1.4.



Fig.1.4. Evolución de la población en territorio español de la demarcación del Ebro desde 1900 a la actualidad. Línea azul número de habitantes, rosa variación anual.

La densidad de población en la cuenca es de 34,1 habitantes por kilómetro cuadrado, lo que puede valorarse como baja o muy baja en el marco europeo e incluso en el español, ya que supone menos de la mitad de la densidad de población media española. Es decir, que en lo que viene a suponer el 17% de España vive tan solo el 7% de su población. Estos descriptores pueden, además, considerarse sobervalorados ya que buena parte de la población se concentra en unos pocos núcleos urbanos de los más de 5.000 repartidos por el territorio; en concreto casi la mitad de la población de la

cuenca se encuentra en los únicos 9 municipios que cuentan con más de 30.000 habitantes (Tabla 1.3), destacando claramente entre ellos la ciudad de Zaragoza con más de 600.000 habitantes. La población aparece concentrada en grandes ciudades y, como rosarios de núcleos menores, en zonas o ejes socioeconómicos concretos, el resto se encuentra casi deshabitado. El mapa que se presenta como Fig. 1.5 refleja esta distribución. Destaca claramente el círculo central correspondiente a Zaragoza y también el sector nordoccidental de la cuenca donde se encuentran ciudades como la capital Vasca Vitoria-Gasteiz, Pamplona y Logroño, que también se destacan como tres círculos mayores. En la zona oriental se diferencia el círculo correspondiente a Lleida y otros núcleos de entidad que lo rodean en las comarcas limítrofes aragonesas y catalanas.

Municipio	Población 2003	Porcentaje respecto cuenca
Zaragoza	626.081	21,46
Vitoria	223.257	7,65
Pamplona	190.937	6,54
Logroño	139.615	4,78
Lleida	118.035	4,04
Huesca	47.609	1,63
Miranda	36.907	1,26
Tudela	31.228	1,07
Tortosa	31.164	1,07
Totales	1.444.833	49,5

Tabla 1.3. Municipios de la cuenca del Ebro con más de 30.000 habitantes según el Censo INE de 2003.

Enlazando el sector nordoccidental de la cuenca con la zona de influencia de Zaragoza se reconoce el denominado "corredor del Ebro" con localidades como Miranda de Ebro (Burgos) con 36.907 hb., Calahorra (La Rioja) con 21.354 hb. o Tudela (Navarra) con 31.228 hb., por citar las más destacadas. En la zona baja de la cuenca también aparecen concentraciones urbanas de cierta entidad como la formada, entre otros, por Tortosa (31.164 hb.), Amposta (17.759 hb.) y San Carlos de la Rápita (12.095 hb.) en la comarca tarraconense del *Baix Ebre*.

El mapa evidencia la importancia de otros ejes fluviales vertebradores del territorio, como el del Jiloca-Jalón, en el que destaca Calatayud con 19.279 habitantes. Fuera de estos ámbitos la población es muy escasa, de forma que casi el 40% del territorio de la cuenca se encuentra en lo que viene a considerarse

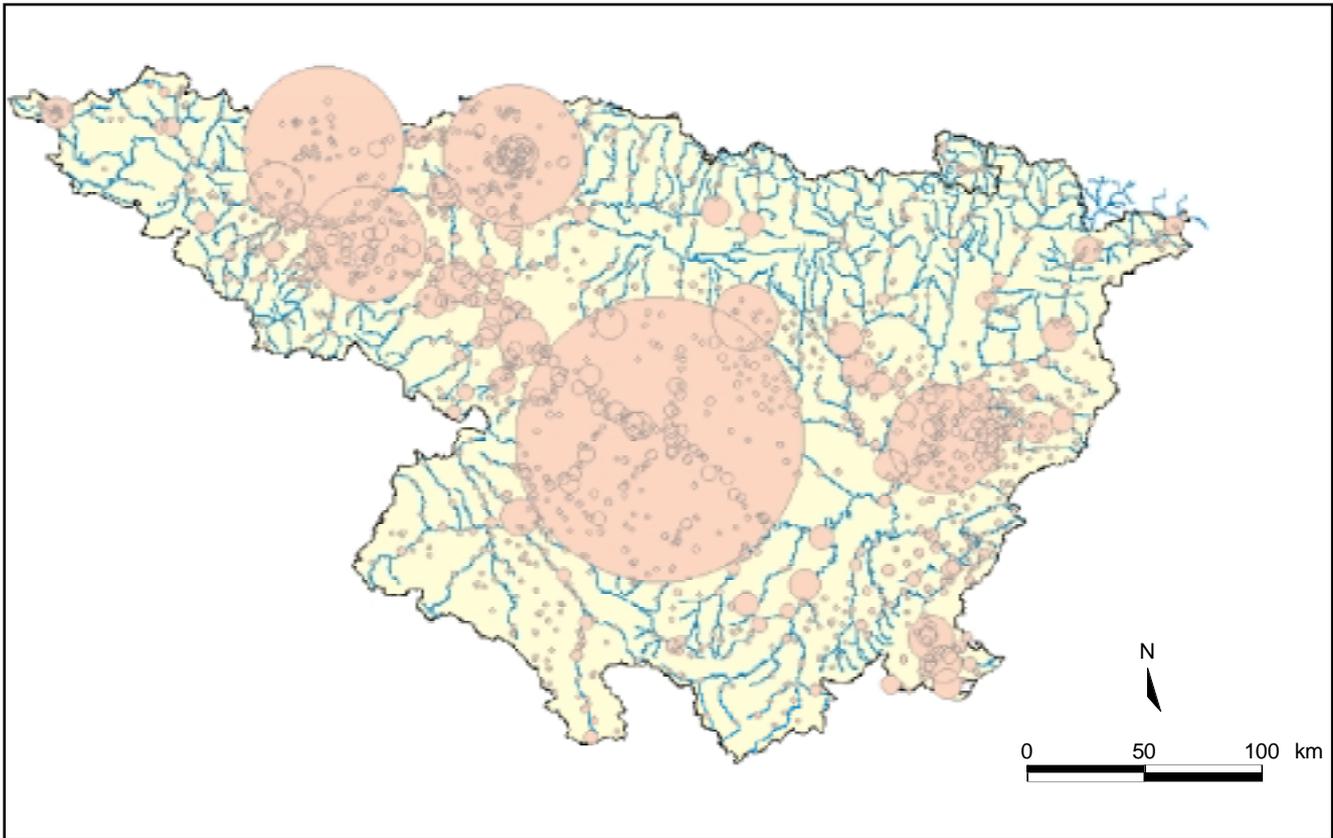


Fig. 1.5. Mapa que muestra, mediante círculos de radio creciente, la distribución de la población en la parte española de la demarcación hidrográfica del Ebro. No se representan núcleos con menos de 100 habitantes.

como el umbral de despoblación, es decir, por debajo de los 5 hb/km² de población residente (CHE, 1996).

Se trata además de una población envejecida y desestructurada, que vive en núcleos urbanos muy pequeños para los que se viene previendo un futuro incierto, ya que las proyecciones realizadas (CHE, 2000) anuncian la tendencia continuada a una disminución acusada de la población en la mayoría de los municipios de la cuenca. Si se toma como referencia el año 1996, la gran mayoría de los 1.624 municipios estudiados, en concreto 1.357, experimentarían disminución de población en el horizonte del año 2006. En los últimos años se han realizado varios estudios encaminados a conocer y proyectar la evolución de la población en la cuenca del Ebro. Afortunadamente se puede decir que las prognosis apocalípticas que anunciaban la falta de relevo generacional para buena parte de los territorios de la cuenca del Ebro han resultado erróneas ya que cambios sociales, políticos y económicos de repercusión global han favorecido la llegada a España de numerosos inmigrantes, en particular americanos, animados por el idioma común, africanos, y también del este de Europa. Este fenómeno migratorio, común en la Unión Europea, ha comenzado a reflejarse en los datos de población de nuestra cuenca desde el año 2000 cam-

biando visiblemente la tendencia y la estructura de la población. Todo ello tendrá que ser estudiado cuidadosamente en un futuro próximo, ya que crecimientos cercanos al 2% anual, con población joven y fértil, pueden resultar muy significativos y requerir la consideración de nuevos escenarios.

En lo que se refiere a la administración de las aguas en este territorio, debe tenerse presente que en España, las aguas son, en general, de titularidad pública y su administración, por cuencas hidrográficas, corresponde al Estado, en particular cuando se trata de cuencas que, como la del Ebro, cubren territorio de varias comunidades autónomas. En relación con esto, del estudio de los distintos Estatutos de Autonomía de las nueve comunidades autónomas que se reparten la cuenca del Ebro, se evidencia una cierta diversidad de fórmulas competenciales en relación con las aguas continentales. Complementariamente, además de las competencias estatales o autonómicas, el abastecimiento urbano está atribuido a otra administración distinta, la administración local (Art. 25, Ley de Bases del Régimen Local).

Para desempeñar esta labor que corresponde al Estado, la administración española dispone de unos organis-

mos públicos, de tradición histórica, que se denominan confederaciones hidrográficas. La Confederación Hidrográfica del Ebro se creó en el año 1926 para dar respuesta a las necesidades de desarrollo de un país atrasado y empobrecido, favoreciendo la explotación de los recursos hídricos en su cuenca hidrográfica, para impulsar el desarrollo agropecuario, la industrialización y la producción energética.

Actualmente, son funciones del organismo de cuenca (Art. 23 del Texto Refundido de la Ley de Aguas) las siguientes: 1) la elaboración del Plan Hidrológico de la cuenca, así como su seguimiento y revisión; 2) la administración y control del dominio público hidráulico¹; 3) la administración y control de los aprovechamientos de interés general o que afecten a más de una comunidad autónoma; 4) el proyecto, la construcción y explotación de las obras realizadas con cargo a los fondos propios del organismo, y las que les sean encomendadas por el Estado, y 5) las que se deriven de los convenios que suscriba con comunidades autónomas, corporaciones locales y otras entidades públicas o privadas, o los suscritos con los particulares. De este modo, entre sus atribuciones y cometidos concretos se encuentran: 1) el otorgamiento de autorizaciones y concesiones sobre aprovechamiento del dominio público hidráulico; 2) la inspección y vigilancia del cumplimiento de las condiciones de las concesiones y autorizaciones otorgadas; 3) la realización de aforos, estudios de hidrología, información sobre crecidas y seguimiento de la calidad de las aguas; 4) el estudio, proyecto, ejecución, conservación, explotación y mejora de las obras incluidas en sus propios planes, así como aquellas otras que pudieran encomendárseles; 5) la definición de objetivos y programas de calidad de acuerdo con la planificación hidrológica; 6) la realización, en el ámbito de sus competencias, de planes, programas y acciones que tengan como objetivo una adecuada gestión de las demandas, a fin de promover el ahorro y la eficiencia económica y ambiental de los diferentes usos del agua mediante el aprovechamiento global e integrado de las aguas superficiales y subterráneas, de acuerdo, en su caso, con las previsiones de la correspondiente planificación sectorial, y 7) la prestación de toda clase de servicios técnicos relacionados

¹ Constituyen el dominio público hidráulico del Estado, las aguas continentales, tanto superficiales como subterráneas, los cauces, los lechos de los lagos y lagunas y de los embalses, los acuíferos a los efectos de la disposición o de afección de los recursos hidráulicos y las aguas procedentes de desalación de agua de mar una vez que salen de la planta de tratamiento y se incorporan a cualquiera de los elementos señalados anteriormente.

con el cumplimiento de sus fines específicos y, cuando le fuera solicitado, el asesoramiento a la administración general del Estado, comunidades autónomas, corporaciones locales y demás entidades públicas o privadas, así como a los particulares.

El funcionamiento del organismo de cuenca ha sido siempre participativo a través de órganos colegiados en los que los usuarios privativos cuentan con amplia representación. Desde su fundación, la Confederación contaba con (M. Lorenzo Pardo, 1929) una Asamblea General integrada por representantes directos de los diversos intereses, una Junta de Gobierno en la que la Asamblea delegaba la puesta en práctica de sus planes de obras y una Dirección Técnica de la que dependían los servicios activos. Existía también un Comité de arbitrajes y un Delegado Regio, nombrado por el Gobierno y con poder de veto sobre las decisiones de la Asamblea.

La Confederación actual es heredera de estas estructuras, obviamente, modernizadas y democratizadas. Así, los actuales órganos colegiados son instituciones básicas con tradición histórica que pretenden asegurar la representación, la colaboración y la participación de las administraciones, los usuarios y la sociedad en general. Entre los órganos colegiados, cuya composición y funciones se detalla en el Capítulo III del Texto Refundido de la Ley de Aguas², cabe distinguir los de gobierno, gestión, participación y planificación, y cooperación. Son órganos de gobierno la Junta de Gobierno y el Presidente, son órganos de gestión la Asamblea de Usuarios, la Comisión de Desembalse y las Juntas de Explotación; es órgano de participación y planificación el Consejo del Agua de la demarcación, y es órgano de cooperación el Comité de Autoridades Competentes.

La Junta de Gobierno de la Confederación Hidrográfica del Ebro y el Presidente, nombrado por el Consejo de Ministros a propuesta del de Medio Ambiente, dirigen el organismo. La primera está formada por 47 personas: 16 usuarios, 18 representantes de las 9 comunidades autónomas que se reparten el ámbito territorial de la demarcación y 6 representantes de la administración del Estado además de 7 personas del propio organismo: el Presidente, el Comisario de Aguas, el Director Técnico, el Jefe de la Oficina de

² R. Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, modificado por la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y de orden social.

Planificación Hidrológica, el Secretario General, un representante de la Abogacía del Estado y un Interventor Delegado de Hacienda.



Fig. 1.6. Portada de la Gaceta de Madrid del sábado, 6 de marzo de 1926, donde se anuncia la creación de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

Las Juntas de Explotación tienen por finalidad coordinar, respetando los derechos vigentes, la explotación de las obras y el aprovechamiento de los recursos de aguas superficiales y subterráneas. La Confederación Hidrográfica del Ebro cuenta con 17 Juntas de Explotación, su composición está detallada en el Art. 40 del Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, siendo claramente mayoritaria la participación de los usuarios según tipos de uso y dimensión del mismo. Todos los usuarios que forman parte de la Junta de Explotación se integran en la Asamblea de Usuarios, formada por 402 personas: 381 usuarios (50 de abastecimientos, 225 regantes, 53 de aprovechamientos energéticos y 53 de otros usos), 14 representantes de las comunidades autónomas, 2 de la administración del Estado y 5 de la propia Confederación. Desde esta asamblea se escogen, equilibradamente y según procedimientos reglamentariamente establecidos, los grupos de usuarios que forman parte de otros órganos colegiados, es decir, los 16 que van a la Junta de Gobierno, los 27 que forman

parte del Consejo del Agua y los 60 que se integran en la Comisión de Desembalse (67 miembros), donde se deliberan y formulan propuestas sobre el régimen adecuado de llenado y vaciado de los embalses y acuíferos de la cuenca, que posteriormente se elevan al Presidente del organismo.

Con lo hasta ahora visto la participación directa se limita a los usuarios, entendidos como titulares de derechos de uso privativo del agua mediante concesión o inscripción. Por ello, existe un órgano, el Consejo del Agua presidido por el Presidente de la Confederación, que ostenta propiamente la función de participación y que adecúa su composición a este fin. Corresponde al Consejo del Agua de la demarcación promover la información, consulta y participación pública en el proceso planificador, y elevar al Gobierno, a través del Ministerio de Medio Ambiente, el plan hidrológico de la demarcación y sus ulteriores revisiones.

A finales del año 2003, España ha modificado su legislación de aguas para transponer la Directiva 2000/60, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Una de las principales modificaciones afecta a los aspectos participativos, que ahora se ven claramente fortalecidos. Hasta esta modificación, el Consejo del Agua estaba formado por 86 personas: 27 usuarios propuestos por la Asamblea, 34 representantes de las comunidades autónomas, 14 representantes de la administración del Estado, 4 representantes de entes sociales (grupos ecologistas y organizaciones de agricultores) y 7 representantes del organismo. A partir de la reforma la composición del nuevo Consejo, que se detallará reglamentariamente, deberá ajustarse a los siguientes criterios:

- Hasta tres vocales por cada departamento ministerial relacionado con la gestión de las aguas y el uso de los recursos hídricos.
- Hasta tres vocales en representación de los servicios técnicos del organismo.
- Un vocal del servicio de costas del Ministerio de Medio Ambiente.
- Un vocal por la Autoridad Portuaria y Capitanía Marítima relacionada con el delta del Ebro.
- Varios vocales en representación de las nueve comunidades autónomas que participan del ámbito ter-

ritorial de la demarcación del Ebro. Su representación no será inferior a la que corresponda a los diversos departamentos ministeriales.

- Hasta tres vocales en representación de la administración local.
- Varios vocales en representación de los usuarios, de forma que su participación no sea inferior al tercio del total de vocales y queden representados los distintos intereses en el uso del agua.
- Hasta seis vocales en representación de asociaciones y organizaciones de defensa de intereses ambientales, económicos y sociales relacionados con el agua.

Otra de las modificaciones derivadas de la transposición de la Directiva Marco conlleva la creación del denominado Comité de Autoridades Competentes, que aparece como un nuevo órgano para la cooperación en relación con las obligaciones establecidas para la protección de las aguas. Estará formado por nueve representantes de las comunidades autónomas, uno por cada comunidad; hasta nueve representantes de los órganos de la administración general del Estado con competencias sobre las aguas, y una representación no determinada de la administración local.

Por otra parte, la administración de las aguas costeras se rige por la Ley de Costas, que en su artículo 1 se atribuye la protección, utilización y policía del dominio público marítimo-terrestre. Cabe considerar no obstante, que la propia Ley se refiere a la ordenación de litoral como competencia propia de las comunidades autónomas en el marco de la ordenación general del territorio. En este mismo sentido, los puertos de refugio y recreo y los vertidos al mar, son competencias que ya han sido asumidas por la comunidad autónoma de Cataluña, única comunidad que cuenta con aguas costeras atribuidas a la demarcación del Ebro. Por otra parte, siguen siendo competencia del Estado español, los puertos de interés general y los que desarrollen actividades comerciales, éstos últimos gestionados por las autoridades portuarias y la Dirección General de Marina Mercante, dependientes del Ministerio de Fomento.

1.2. Encuadre físico

1.2.1. Rasgos geológicos

La demarcación hidrográfica del Ebro está situada en la Península Ibérica, que viene a corresponder con una placa tectónica menor que articula sus movimientos como respuesta a los desplazamientos relativos de las dos grandes placas que la rodean, la europea al norte y la africana al sur, condicionando su historia geológica y, con ello, la naturaleza de los materiales aflorantes en este territorio. Se reconocen en la península tres tipos de conjuntos geológicos: 1) el Macizo Hespérico, 2) las cadenas alpinas y 3) las cuencas cenozoicas. El Macizo Hespérico, o Galaico-Portugués, situado en la zona occidental de la península, está formado por rocas magmáticas y metamórficas muy antiguas. Entre las cadenas alpinas (formadas por rocas sedimentarias carbonatadas) cabe distinguir dos tipos, de borde de placa e intracontinentales. Las primeras aparecen en las zonas de colisión con la placa africana (sistema Bético-Balear) y con la placa europea (Pirineos). Las segundas vienen a corresponder con sistemas de rift abortado o aulacógenos, es el caso de la cadena Ibérica y de la cadena Costero Catalana. Entre las cadenas y alimentadas por los depósitos molásicos de la erosión de las mismas, aparecen las cuencas terciarias, actualmente drenadas por los principales ríos ibéricos. Son las cuencas del Duero, Tajo, Guadiana, Guadalquivir, en la vertiente atlántica, y la del Ebro en la vertiente mediterránea. Estas dos últimas son las cuencas de antepaís de las cadenas principales: Bético-Balear y Pirineos. No obstante, mientras que la cuenca del Guadalquivir responde perfectamente al modelo de la evolución geosinclinal, desarrollando un mar epicontinental que se fue retirando hacia el suroeste (Golfo de Cadiz) conforme se rellenaba la cuenca de antepaís, en el caso de la cuenca del Ebro se individualiza una zona endorreica separada del Atlántico por las cadenas Pirenaica e Ibérica y del Mediterráneo (Thetis) por la Cadena Costero Catalana y los relieves ibéricos orientales. Esta configuración estructural condiciona que el relleno molásico de la cuenca del Ebro, formado por depósitos de abanico aluvial procedentes de los Pirineos y del centro peninsular, incluya unos elevados contenidos de material margoevaporítico, con grandes proporciones de yeso y halita.

La cuenca endorreica terciaria del Ebro se abrió al Mediterráneo progresivamente avanzado el Mioceno, desde hace unos 15 millones de años, como consecuencia de la elevación de la península y el hundi-

miento del Mediterráneo. Desde entonces sucesivas capturas fluviales han ido aumentando el tamaño de la cuenca hasta alcanzar los 85.600 km² actuales, siendo con ello la mayor de las cuencas españolas.

1.2.1.1. La depresión central

En el valle, orlado por las alineaciones montañosas citadas: Pirineos, Ibérica y Catalánides, se reconocen extensos afloramientos de depósitos de origen continental molásico de naturaleza detrítica y margoevaporítica, atribuibles al Terciario y al Cuaternario, actualmente denudados por la compleja red fluvial de la cuenca del Ebro; río este que la atraviesa por el centro en dirección NO-SE hacia el mar Mediterráneo, dando lugar a que topográficamente se configure como una depresión entre las cadenas montañosas circundantes, en la zona templada de nuestro mundo. No siempre fue así.

En la era mesozoica en el actual valle del Ebro se podía reconocer una zona emergida orlada de mares tropicales en los que sedimentaban los carbonatos que han dado lugar a las rocas en los que se desarrollan buena parte de los mejores acuíferos de la cadena Ibérica, de los Catalánides y del Pirineo; ausentes bajo el relleno de la actual depresión.

Cuando el movimiento relativo de las grandes placas africana y europea supuso un acercamiento de ambos continentes, la pequeña placa ibérica se vio obligada a realizar un desplazamiento y un giro en sentido contrario al de las agujas del reloj, con el centro de rotación en un punto situado en el actual mar Cantábrico, dando lugar a la apertura del golfo de Vizcaya y a la orogénesis de las actuales cadenas periféricas. Los movimientos se facilitaron por la presencia de las grandes fracturas transformantes que limitan la placa ibérica. Con todo ello el mar abandonó la margen derecha de la cuenca del Ebro retirándose hacia levante y hacia el sur de los Pirineos, desde donde progresivamente fue retrayéndose hacia las zonas laterales. Finalmente quedó una extensa región endorreica interior que, conforme se alzaban las áreas montañosas marginales, se rellenaba con las molasas producto de su erosión. La extensión de esta cuenca endorreica posiblemente abarcaba incluso a cierto sector de la zona oriental de la actual cuenca hidrográfica del Duero (en la vertiente atlántica ibérica) en conexión con el Ebro por el corredor de La Bureba (Burgos) durante el Mioceno inferior, aunque después fue progresivamente restringiéndose. El depósito refleja la gradación propia del alejamiento o la lejanía al área fuente de la que proceden los sedimentos. La sedimentación en este ambiente es compleja, diferenciándose de oeste a este tres grandes zonas dentro del conjunto. Al Oeste la cuenca

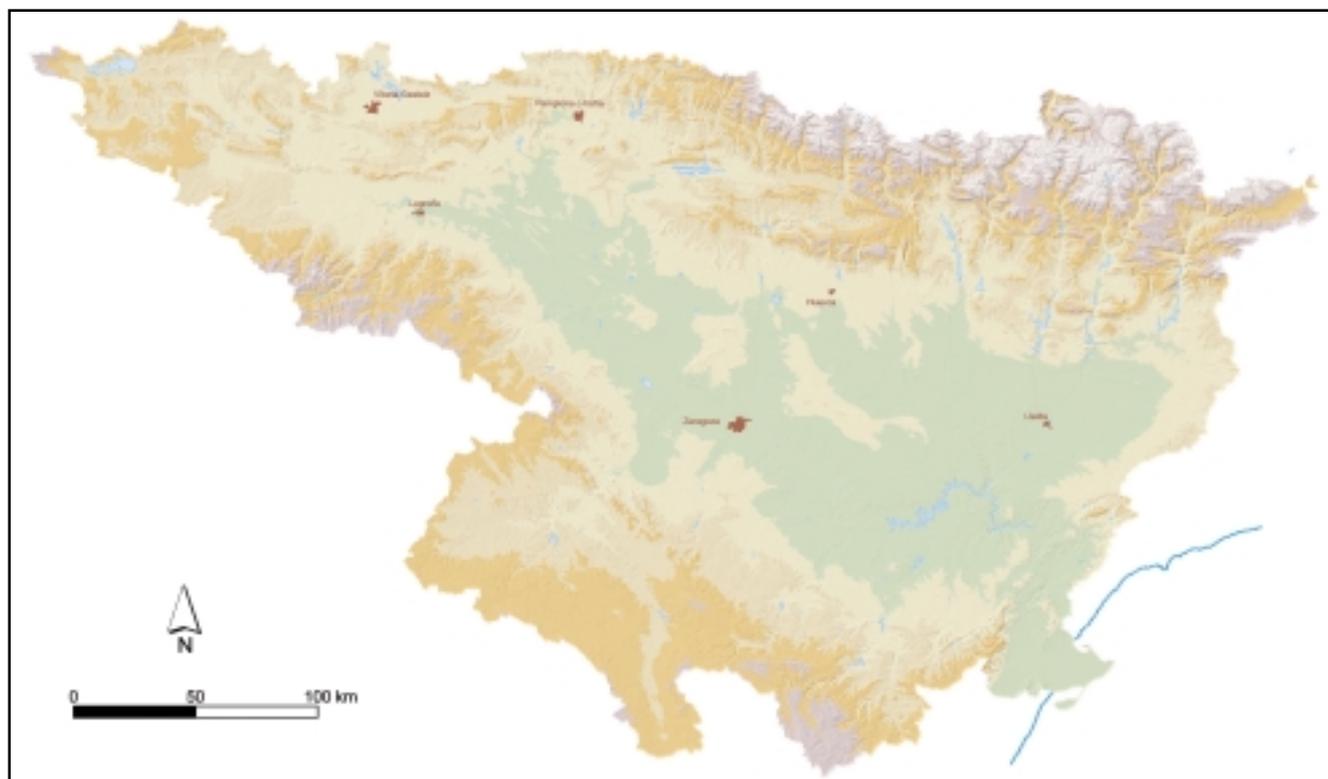


Figura 1.7.: Mapa de relieve de la cuenca.

Riojano-Navarra donde se acumulan más de 5.000 m. de espesor de materiales terciarios, cabalgados por las sierras de Cantabria, al Norte, y de la Demanda, al Sur. En el centro el Umbral Aragonés, con espesores en torno a los 1.000 m en Zaragoza. Al este la Cuenca Catalana, en la que se reconocen más de 3.500 m. de depósitos, fundamentalmente paleógenos, fuertemente cabalgados por las unidades surpirenaicas centrales. Los materiales son predominantemente evaporíticos, condicionando la elevada salinidad de la cuenca del Ebro: Formación salina de Cardona, Yesos de Barbastro y, especialmente importantes por su volumen, los Yesos de Zaragoza.

La única y primitiva zona exorreica estaba formada por la cuenca del actual Ciurana y por los barrancos de la Galera y otros del bajo Ebro; en este tramo se reconocen depósitos de terrazas aluviales y líneas de playa cercanas a Tortosa, atribuidas al Terciario, contemporáneas con la zona endorreica del Ebro.

Avanzado el Terciario sedimentaban en la cuenca calizas lacustres, de las que quedan abundantes muestras en La Muela y La Plana de Zaragoza, en las Bardenas, en los Montes de Castejón, en la Muela de Borja o en la Sierra de Alcubierre; y esta cuenca debía de estar bastante rellena, hasta el punto de que se vio obligada a desbordar por encima de la cadena catalana a su vez cicatrizada por los barrancos orientales remontantes, dando lugar al paso definitivo de la situación endorreica a un exorreísmo que se imponía progresivamente. Cabe imaginar que ello ocasionó en la cuenca un caos ambiental de gran magnitud. La salinidad de las aguas disminuiría rápidamente provocando significativos cambios en la sedimentación y en la biota. Se produjo un nuevo ordenamiento de la red de drenaje, comenzando a configurarse la actual red fluvial en torno a un proto-Ebro dirigido hacia el nuevo nivel de base, el mar Mediterráneo, entre 600 y 800 metros más bajo que las parameras calcáreas antes citadas.

Este paso de endorreísmo a exorreísmo pudo tener lugar durante el Mioceno medio, posiblemente de forma progresiva desde hace unos 15 millones de años hasta los 10 millones de años en que la mayor parte de la cuenca ya se drenaba hacia el mar Mediterráneo. Desde entonces comenzaría el enorme vaciado erosivo que ha tenido lugar a raíz de la captura progresiva de la gran extensión lacustre por erosión remontante de los barrancos que salían al mar desde las actuales sierras de Pandols y Montsant.

El cambio de nivel de base proporcionó una gran energía potencial al sistema, los ríos que descienden desde las montañas periféricas arrastraron grandes volúmenes de sedimentos que, animados por las alternancias glaciares e interglaciares del Cuaternario, organizaron varios niveles de terraza-glacis. Así, generalmente, en el Ebro y en sus afluentes principales cada terraza enlaza con un glacis sin que exista solución de continuidad, pudiendo distinguirse una del otro por la naturaleza poligénica o monogénica de las gravas o bien por la redondez, esfericidad y desgaste de los cantos. Es clásica la distinción, entre otros, de cuatro destacados niveles de terraza, llegando a situarse el primero y más antiguo de ellos a más de 100 metros por encima del cauce actual.



Fig. 1.8. Imagen de una explotación de yeso alabastrino en la zona central de la depresión del Ebro. Formación Yesos de Zaragoza.

Esta red de drenaje no está estabilizada sino que sigue evolucionando y excavándose donde corresponde ese comportamiento. De esta manera se producen constantes modificaciones en las formas de los cauces, evoluciones en su trazado e incluso capturas fluviales. Entre ellas cabe citar la del tramo alto del Aragón, que en su tiempo debió pertenecer a la cuenca del Gállego, o la mucho más reciente de la cuenca del Oca en la Bureba sobre los afluentes del Duero en la zona del río Ubierna.

También existen capturas subterráneas de significativo interés como la del alto Ésera por el Garona o la del alto Escá (Belagua) por el francés Gave de Santa Engracia.

Los niveles de glacis, y también los de terraza, además de constituir excelentes terrenos de cultivo aprovechados desde muy antiguo, suelen presentar elevadas permeabilidades y dan lugar a acuíferos libres de interés vulnerables a la contaminación. Tal es el caso del plio-

cuaternario de Alfamén o del de la fosa del alto Jiloca, ambos en la cuenca del Jalón; o de los aluviales de los ríos, como el que orla la parte baja del Gállego, la parte baja del Aragón, el del Glera o el del propio río Ebro.

Excepción hecha de los depósitos detríticos citados, el resto de los materiales aflorantes en la depresión pueden ser considerados como de baja o muy baja permeabilidad, su naturaleza no ha permitido el desarrollo general de acuíferos de interés. Únicamente ofrecen cierta permeabilidad y alcanzan importancia hidrogeológica las calizas terciarias, en particular las situadas en la zona oriental: calizas de Tárrega, que se extienden por la comarca ilerdiense de La Segarra.

Paralelamente a la excavación de la depresión actual, los materiales transportados por el río Ebro se fueron acumulando en la desembocadura dando lugar al crecimiento de un magnífico delta, de considerable tamaño si se compara con otros deltas mediterráneos. (Fig.1.9)

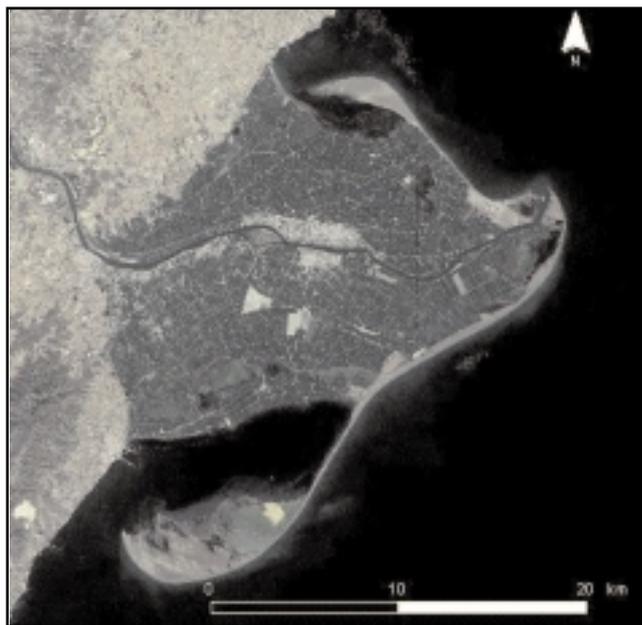


Fig. 1.9. Imagen en falso color del delta del Ebro, obtenida por combinación de escenas SPOT-PAN y Landsat V-TM, correspondientes al año 1995.

1.2.1.2. La cadena Ibérica y los Catalánides

El margen meridional de la depresión se materializa por la presencia de la alineación montañosa que forman las cadenas Ibérica y Catalana. Estas montañas, intracontinentales o intra-placa, se extienden desde el macizo de la Demanda en la provincia de Burgos hasta el Priorato tarraconense y hasta el Mediterráneo en

Castellón, en el extremo oriental; en ellas podemos reconocer una gran complejidad litológica y estructural propia de la evolución de las cadenas intracontinentales. Aparecen materiales que representan toda la columna estratigráfica, desde los precámbricos que pueden ser visitados en el valle del Jalón a los cuaternarios más recientes en sedimentos actuales. Este ámbito incluye rocas plutónicas, metamórficas y sedimentarias, y entre éstas, detríticas, evaporíticas y carbonatadas.

Los conjuntos de rocas carbonatadas de la cadena Ibérica más notables son los mesozoicos, y entre ellos cabe destacar: facies Muschelkalk (Triásico medio), grupo renales (Jurásico inferior), formación carbonatada de Chelva (Jurásico medio), formaciones del Jurásico superior y bancos calcodolomíticos del Cretácico superior. En total casi 1000m de rocas susceptibles de karstificación y que, en general, albergan excelentes acuíferos de interés regional que contribuyen eficazmente a modular el caudal de los ríos y a garantizar unos flujos de base con aguas de excelente calidad.

Los rasgos estructurales de la cadena son alpinos pero sin los grandes mantos que caracterizan este estilo en las cadenas europeas. Parece ser que la estructura, la sedimentación y la distribución de facies en el orógeno alpino han estado condicionadas por el movimiento relativo de ciertos bloques del basamento limitados por fracturas de desgarre originadas a finales del Paleozoico (Álvaro *et al.*, 1978).

El tránsito entre las cadenas meridionales y la depresión del Ebro ha sido suavizado por los agentes geodinámicos externos responsables del modelado, pero no obstante se reconoce la existencia de límites geológicos claros entre uno y otro dominio. La cadena cabalga sobre la depresión mediante unas fracturas inversas que facilitan su movimiento hacia el norte. Aunque no está identificada la continuidad absoluta de esta estructura noribérica, diversos trabajos de prospección geofísica y varios sondeos distribuidos por el margen ibérico han permitido dibujar este límite desde la cabecera del río Oca en Burgos, continuando después por el borde norte de la Demanda y los Cameros, pasando después bajo Tarazona (Zaragoza) y cruzando el río Jalón a la altura de Lumpiaque y el Huerva por Botorrita. Hacia el este el frente noribérico está situado más al norte, avanzando hasta la cabecera del río Ginel y dirigiéndose hacia el Ebro en la zona meandriforme de Sástago. Un relevo a esta estructura viene

más al sur, rodeando la sierra de Arcos y cruzando el río Martín a la altura de Albalate del Arzobispo (Teruel). Nuevamente se reconoce otra estructura en relevo por el norte de Puigmoreno, cruzando el río Guadalupe a la altura del embalse de Caspe, en el que se han identificado fracturas relacionadas con estos cabalgamientos de fondo, y el Matarraña al norte de Maella (Teruel).

1.2.1.3. Los Pirineos

Al norte de la depresión está la Cordillera Pirenaica, la alineación montañosa más destacada de la cuenca, que se extiende a lo largo de 1.000 km entre la plataforma cantábrica y la Provenza, formada entre el Cretácico superior y el Mioceno inferior a resultas de la convergencia entre las placas Ibérica y Europea (A. Teixell, 1.996). Geológicamente incluye a las parameras y sierras burgalesas, a las montañas Vasco-Cantábricas y a los Pirineos propiamente dichos. A diferencia del caso de las cadenas intracontinentales Ibérica y Catalana, los Pirineos sí que responden al modelo de evolución de una Cordillera con desaparición de la corteza oceánica que soportaba la cuenca de sedimentación y con la intrusión de las raíces graníticas que destacan en las más altas cimas de la zona axial: macizos de La Maladeta-Aneto, de Panticosa, o de Andorra y alto Segre, dando lugar a un notable engrosamiento de la corteza continental que mediante una sucesión de fracturas inversas se ha ido apilando sobre sí misma.

En los Pirineos hay un elemento estructural mayor que es la falla Norpirenaica, relacionada con una fractura transformante oceánica, desgarré que articula el movimiento de la península (placa Ibérica) respecto al continente europeo, separando dos ámbitos, el norpirenaico al norte que se extiende hasta la cuenca de sedimentación de Aquitania y el surpirenaico, mucho más ancho, hacia el Ebro.

En la cuenca pirenaica la sedimentación está íntimamente ligada a la evolución tectónica de la cadena. Cuando se produjo el giro de la península, antes citado, abriendo el golfo de Vizcaya o de Gascuña y levantándose con ello la zona axial, se creó el surco de Jaca, donde el mar persistió durante el Paleógeno; la parte oriental se ocupó por el manto del Montsec, y en la zona central y occidental se desarrollaron ambientes desde deltaicos (Ribagorza) a turbidíticos (Jaca - Pamplona), quedando al sur una plataforma carbonatada que terminará dando lugar a las calizas de Guara en las sierras exteriores aragonesas.

El relleno molásico del surco pirenaico se produjo durante el Eoceno, terminando con una progresiva continentalización del medio, retirándose el mar hacia el sur y quedando abierto hacia el cantábrico. Todo el sistema fue progradando hacia el oeste con rapidez, aunque se fueron dejando algunas cuencas endorreicas limitadas: Yesos de Barbastro, Potasas de Navarra, anticlinal del Llobregos.

Cuando se produce la implantación "definitiva" del manto de Gavarnie, al final del Oligoceno, el recorrido del frente es del orden de 20 km. Después todos los productos de la erosión son molasas: conglomerados de Riglos, Fm. Sariñena y otras, que inician el relleno de la depresión del Ebro.

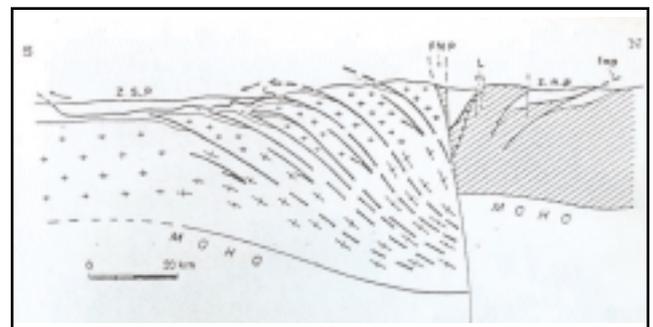


Fig. 1.10. Sección a través de los Pirineos centrales, donde se muestra el engrosamiento de la corteza continental ibérica y la fracturación inversa vergente hacia el sur. Cruces: Corteza continental de la placa Ibérica. Rayado oblicuo: Corteza continental de la placa Europea. Blanco: Materiales posthercínicos, de la zona suppirenaica (z.s.p) parcialmente alóctona y de la norpirenaica (z.n.p.). FNP: Falla Norpirenaica, que atraviesa toda la corteza, relacionada con la transformante de Gibbs. fip: Frente de cabalgamiento nordpirenaico. MOHO: Discontinuidad de Mohorovicic que separa la corteza terrestre del manto superior. Figura tomada de M. Durand-Delga, 1.983; levemente modificada.

El tránsito entre Pirineos y Depresión del Ebro, viene marcado por un plano de falla inversa. Este frente surpirenaico se reconoce desde la cuenca del Duero, donde enlaza con el desgarré del Urbel, rodeando por el sur la zona plegada de Rojas - Sta. Casilda, cuenca del Oca, ya en el Ebro; se sigue reconociendo por los frentes meridionales de los Montes Obarenes y la Sierra de Cantabria para el Ebro en las Conchas de Haro (La Rioja - Álava), pasa por el sur del diapiro de Estella, cruza el Arga a la altura de Puentelarreina (Navarra), y aflora al sur de la sierra de Aláiz. Después toma el relevo el frente de Gavarnie (o de la unidad del Guarga) al sur de las Sierras Exteriores Aragonesas, de Sto. Domingo - Guara, y Marginales Catalanas. Al este del Cinca, sobre el manto de Gavarnie aparece la unidad surpirenaica central, limitada al Este por el accidente sinextral del Segre y al oeste por la virgación

dextral del Cinca relacionada con movimientos de zócalo (Pocoví y Martínez, 1.984) y después el frente del manto de Pedraforca, donde aflora el cabalgamiento por el sur de la sierra de Port del Compte - Cadí, saliendo ya de la cuenca del Ebro e internándose en la del Llobregat, en las vecinas cuencas internas de Cataluña.

1.2.2. Rasgos geomorfológicos generales

Al igual que al estudiar los rasgos geológicos para tratar los aspectos geomorfológicos debe considerarse la existencia de tres grandes ámbitos territoriales que ofrecen distinta respuesta a los agentes de la geodinámica externa: la depresión del Ebro, la Cadena o Cordillera Ibérica y los Pirineos.

1.2.2.1. Depresión del Ebro

Sobre el ámbito físico de la depresión se vienen diferenciado clásicamente diversas regiones morfoestructurales (Gutiérrez y Peña, 1994) con rasgos del relieve singulares y límites entre una y otra no muy precisos. Así, se reconocen tres áreas: 1) oriental o catalana, 2) central o aragonesa y 3) occidental o navarro-riojana.

La zona oriental, que se extiende entre los ríos Cinca y Matarraña y las cadenas montañosas periféricas, se caracteriza por una importante orla de conglomerados en un relieve con estructuras levemente plegadas, sucediéndose formas desde los perfiles "montserratinos", a las cuestas en las comarcas ilderdenses de la Segarra y las Garrigas, y finalmente, extensas acumulaciones de glaciares y terrazas que se extienden en los llanos de Lleida y de la Litera.

La zona central aragonesa se prolonga desde el río Cinca hasta las Bardenas y el río Queiles. En ella el rasgo geomorfológico más significativo son las notables plataformas carbonatadas neógenas a cuyo pie aparecen grandes sistemas acumulativos cuaternarios seccionados por la red fluvial. Son las muelas y los sasos característicos de esta parte de la depresión.

Por último, la zona occidental o navarro riojana se extiende desde las Bardenas hacia el corredor de la Bureba. Aquí son significativos nuevamente los relieves de conglomerados, que se identifican en el borde de la Demanda y los Cameros, dando paso a piedemontes que se extienden hasta el Ebro. En la otra margen, aparecen los relieves plegados de la zona navarro riojana.

1.2.2.2. Cordillera Ibérica

Puede considerarse como una unidad elevada en la que destaca como rasgo geomorfológico más sobresaliente el extenso desarrollo de superficies de erosión terciarias que arrasaron los materiales mesozoicos y paleógenos. Estos aplanamientos, elaborados en la mayor parte de los casos sobre rocas carbonatadas, traen consigo la configuración de típicos paisajes kársticos. Las áreas más elevadas superan los 2.000 m. de altura, lo que permitió, durante las fases más frías del Cuaternario la elaboración de un modelado glacial y periglacial. Así, en la zona nordoccidental de la cadena (Demanda, Urbión, Cebollera y Moncayo) se reconocen circos y formas periglaciares asociadas. Sin embargo, en el sector central y oriental, se manifiesta el influjo de los procesos periglaciares que alcanzan, en algunas zonas (Serranía de Albarracín) un espectacular desarrollo.

1.2.2.3. Pirineos

Principal cordillera de la península Ibérica y de la demarcación, presentan diferenciación morfológica tanto en sentido longitudinal como transversal a la cadena. Por ello cabe distinguir: 1) Pirineo occidental o vasco-cantábrico, 2) Pirineo central o aragonés y 3) Pirineo oriental o catalán

Los Pirineos occidentales se extienden al Oeste del río Aragón, manteniendo continuidad por los montes vascos y cantábricos. Constan de una zona axial y de un prepireneo. La zona axial está formada por macizos paleozoicos: Oroz-Betelú, Quinto Real y Cinco Villas, que constituyen las máximas elevaciones, superando levemente los 1.300 m., y conforman la divisoria entre la cuenca del Ebro y las diversas cantábricas. El prepireneo occidental muestra unas sierras interiores, una depresión media y unas sierras exteriores. Las sierras interiores son carbonatadas, cretácicas y eocenas, con gran desarrollo kárstico (macizo de la Piedra de San Martín). Las depresiones medias se localizan en dos surcos: Pamplona y Treviño-Villarcayo. La primera de ellas, muy rica en materiales margoevaporíticos incluye la cuenca potásica de Pamplona. Por último, las sierras exteriores occidentales: desde Leyre a los montes Vascos ofrecen una clara disminución altitudinal hacia el oeste, reduciéndose a altitudes que apenas sobrepasan los 1.000 m.

Los Pirineos Centrales se extienden desde el río Aragón hasta el Segre, incluyendo la zona aragonesa y la occidental catalana. Es la zona más elevada de la cadena en

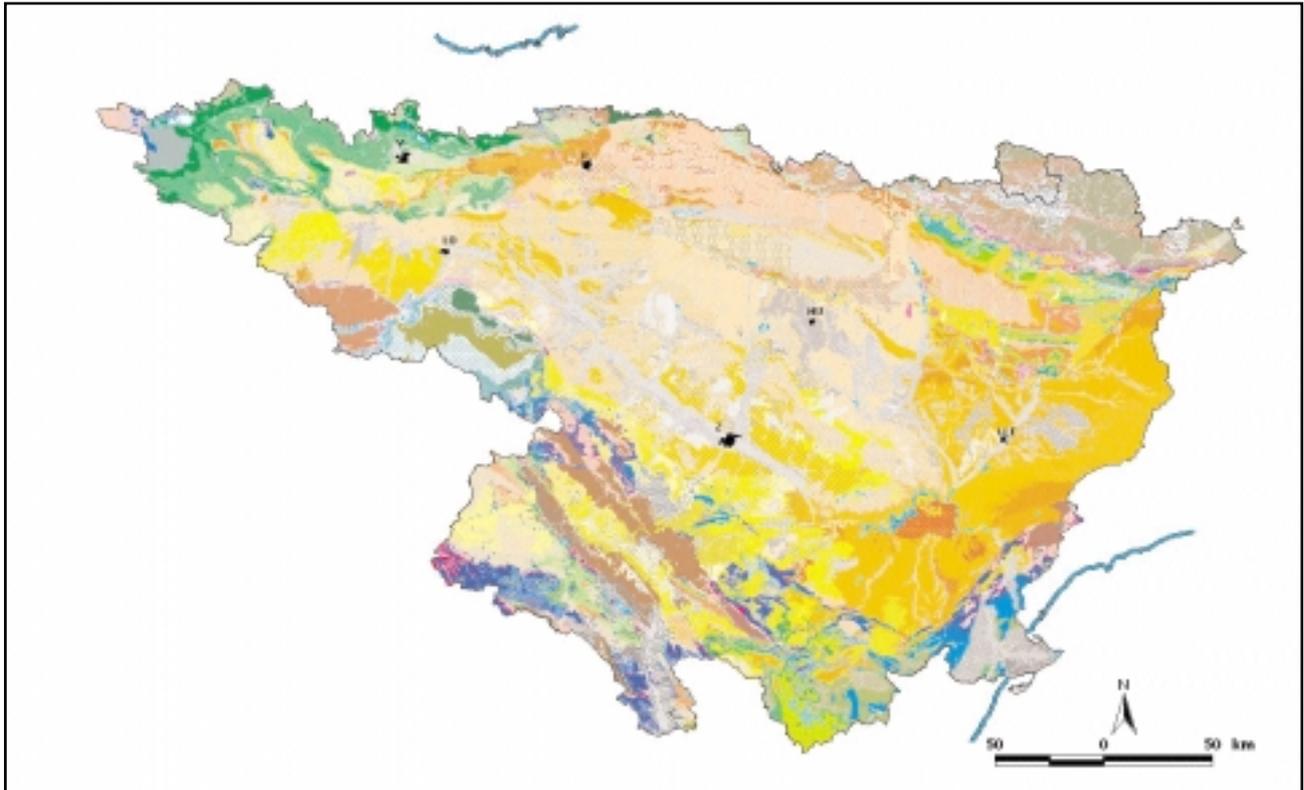


Fig. 1.11. Mapa geológico de la cuenca del Ebro.

la que también se distingue una zona axial, una depresión media y unas sierras exteriores. La zona axial de los Pirineos centrales incluye los grandes macizos granodioríticos y graníticos de las Maladetas y de Panticosa-Cauterets, con altitudes que superan los 3.000 metros (Aneto, 3.404 m., constituye la cúspide de la Cordillera). Las Sierras Interiores Aragonesas, de litologías carbonatadas, con cumbres que también superan los 3.000 m., están claramente afectadas por la morfología glacial, de la que todavía se encuentran aparatos relictos, y han sido sometidas a una fortísima kárstificación que ha facilitado el encajamiento de la red de drenaje. Estas sierras interiores: Ezcaurre, Collarada, Telera, Tendeñera, Marboré - Monte Perdido... dan lugar a los más bellos y abruptos paisajes de la Cordillera. La depresión media pirenaica responde a una configuración estructural en forma de sinclinorio constituido por materiales no muy competentes, pero no es tal geomorfológicamente, ya que junto a las grandes canales y vales incluye relieves montañosos de cierta importancia: Peña Oroel, San Juan de la Peña, Cancias... cuyas cumbres se encuentran en la banda comprendida entre los 1.500 y los 2.000 m. Por último, las Sierras Exteriores Aragonesas y Marginales Catalanas, desde Santo Domingo en el extremo occidental, después Pusilibro, Gratal, Gabardiella, Guara...

hasta Montsec, conforman el límite con la depresión del Ebro.

Finalmente, el Pirineo Oriental, al este de los ríos Segre y Valira, se extiende en territorio catalán hasta el Mediterráneo, más allá de la divisoria de la cuenca del Ebro con las cuencas internas de Cataluña. También aquí se reconoce una zona axial y un prepirineo. La zona axial del Pirineo Oriental viene a corresponder con el macizo andorrano, en la cuenca del Valira, y la alineación montañosa de la Tossa Plana de Llès - Puigpedrós- Campquerdós, que llegan a ofrecer cumbres que se aproximan todavía a los 3.000 m. (Coma Pedrosa, 2.942 m.), formadas por granodioritas y rocas metamórficas paleozoicas con relieves alomados. Entre ellas aparecen depresiones tectónicas, como las de Urgellet y de la Cerdanya rellenas con materiales terciarios. El Prepirineo oriental está formado por alineaciones montañosas continuas: Sierra de Cadí, Port del Comte, Pedraforca y otras hacia el Este. El límite meridional de estas unidades está marcado por los relieves conglomeráticos de la depresión del Ebro.

1.2.3. Delta del Ebro

A su llegada al Mediterráneo el Ebro ha desarrollado un magnífico delta que, en su zona emergida, ocupa

una extensión de 320 km², lo que lo convierte en el mayor delta peninsular y uno de los más importantes deltas mediterráneos.

El delta es un edificio geológico tremendamente dinámico. Sus cambios morfológicos en los últimos siglos son evidentes y claramente apreciables a escala de décadas.

En el delta se reconocen diversos ambientes geológicos relacionados con la pugna entre los aparatos sedimentarios y las zonas de erosión. No obstante, el delta actual puede considerarse como un sistema cerrado en lo que respecta al balance de sedimento.

El delta recibe los impactos de todo lo que ocurre en la cuenca y su evolución depende de su naturaleza e intensidad. Actualmente, en el último medio siglo, el delta ha pasado de estar claramente dominado por la dinámica fluvial a estarlo por la costera. Puede decirse que las exigencias de nuestra sociedad en cuanto al control de la escorrentía y con ella del sedimento, han provocado que el motor fluvial que generó el delta esté prácticamente inactivo y sea ahora el mar quien se esté ocupando de él. Para considerar su situación podemos tratar dos sistemas diferenciados: el delta propiamente dicho con sus bahías y el estuario del Ebro.

El agua que empapa el delta procede de diversas fuentes, tanto naturales como artificiales. Entre las primeras cabe citar la entrada subterránea desde los acuíferos de las zonas litorales (mesozoicos y cuaternarios poligénicos del Ebro-) y que se encuentran en carga, y también la buena conexión con las aguas marinas y de transición que lo rodean. Las entradas de aguas artificiales de mayor significación son las destinadas a la atención de los cultivos (arrozales especialmente) que se extienden por la llanura deltaica. Este agua se conduce por los canales de la derecha y de la izquierda que derivan las aguas del Ebro en el azud de Cherta (Tarragona) y la distribuyen a través de una tupida red de acequias de diverso orden. El agua de retorno es evacuada del delta a través de grandes colectores desde los que es bombeada al mar en estaciones de bombeo especialmente preparadas para este propósito.

El río no tiene una significativa conexión con el delta. Las aguas del Ebro discurren sobre su canal, tapizado de finos sedimentos, y apenas se establece relación entre las aguas del río y las del delta. Por el canal del Ebro se introduce una cuña de agua marina, mucho más densa que la dulce que corre por encima. La penetración de esta cuña es un hecho natural, su posición depende de los caudales del río y de la morfología del canal. Cabe suponer que en un régimen natural esta

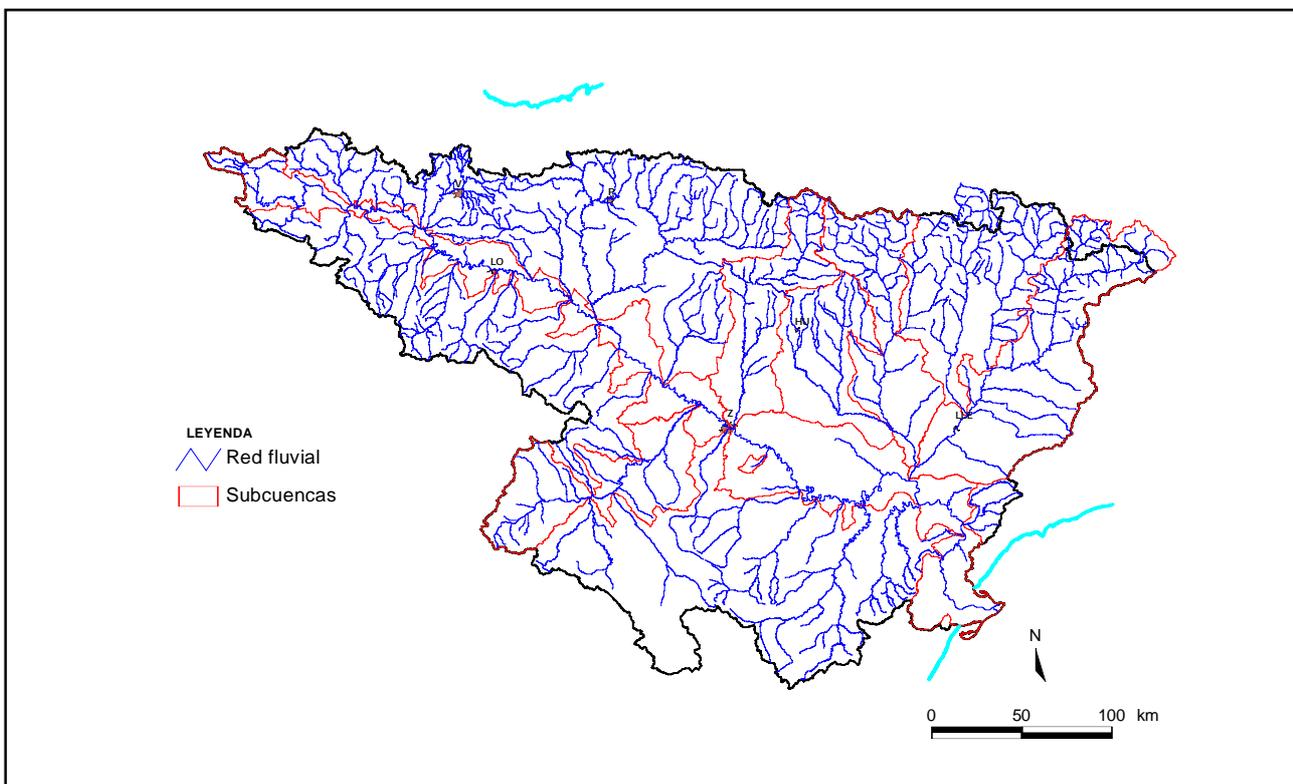


Fig. 1.12. Mapa de la red fluvial y principales subcuencas.

cuña sufriría grandes oscilaciones, siendo expulsada y renovada con las fuertes crecidas primaverales y penetrando notablemente en los fuertes estiajes de final de verano en un río como el Ebro, de marcado carácter mediterráneo. En la actualidad, la escasez de avenidas favorece la persistencia de la cuña, y con ello, la generación de problemas de eutrofización y anoxia. Por consiguiente, puede decirse que la situación actual del estuario del Ebro también es consecuencia de la reducción de caudales de avenida y de la contaminación creciente.

Sobre la plataforma del delta hay dos amenazas principales: la subsistencia del soporte físico y la contaminación. Reanimar el motor fluvial del delta del Ebro para garantizar su persistencia física implica necesariamente facilitar la descarga de las avenidas naturales y el transporte de sedimentos que ello conlleva. Si esto no se hace el delta continuará dominado por el Mediterráneo y su evolución en los próximos años conducirá a un incremento de superficie en las zonas de Parque Natural, tanto costero como en las lagunas interiores, y posiblemente a un lento y progresivo abandono de las superficies de cultivo. Sobre este problema de subsistencia física está el de la carga contaminante que se acumula en las aguas del delta y en las bahías, la forma de vencerlo es claramente el control de los vertidos puntuales y difusos y el aporte de agua limpia desde el Ebro.

En general, dado el vigor geomorfológico y ambiental de este entorno, parece preciso plantear una progresiva reducción de presiones sin que resulte prioritario actuar activamente en programas de restauración geomorfológica sobre el territorio, esperando que si se permite actuar por sí mismo sea él quien recupere su funcionalidad de la forma más correcta y natural.

1.3. Ciclo hídrico

1.3.1. Condiciones climáticas

Las condiciones topográficas del ámbito de la demarcación condicionan un clima mediterráneo continentalizado en gran parte de la cuenca del Ebro, con una clara degradación semiárida en el centro de la depresión. El extremo noroeste, la mitad oeste del ámbito pirenaico y la parte septentrional de la Ibérica, son zonas con clima oceánico, pero hay que tener en cuenta que la transición entre éste y el clima mediterráneo es progresiva.

La disposición topográfica aísla al sector central de la cuenca de las influencias oceánicas, que quedan retenidas en gran medida por las cordilleras periféricas, aumentando así la continentalización en el resto de la cuenca y disminuyendo notablemente la precipitación. Por ello, la aridez es uno de los principales rasgos que definen el clima del centro de la cubeta. Las condiciones áridas alcanzan su máximo exponente en el triángulo que definen Zaragoza, Alcañiz y Lleida, y van desdibujándose progresivamente al alejarse.

La precipitación media anual de la cuenca del Ebro en el periodo de 82 años comprendido entre octubre de 1920 y septiembre de 2002 es 622 mm/año. El valor mínimo anual corresponde al año hidrológico 1949/50 con 452 mm/año y el máximo anual al año 1935/36 con 840 mm/año (Figura 1.13a). Destaca la elevada variabilidad intermensual e interanual que hace frecuente observar largos periodos en los que no se observa precipitación alguna. Este efecto es más propio de invierno y final de otoño en las zonas no montañosas.

La precipitación anual máxima observada en la cuenca del Ebro ha sido de 3.813 mm/año (estación P9269I - Arruazu, en 1964/65). En muchas estaciones situadas en el sector central de la cuenca del Ebro se han detectado precipitaciones anuales menores que 100 mm/año. La distribución espacial de las precipitaciones presenta los valores máximos en las zonas montañosas de los Pirineos centrales y los valores mínimos en el sector central de la depresión del Ebro (Figura 1.13 b y c).

El reparto mensual de la precipitación (Figura 1.14) depende de la procedencia de los frentes que las generen definiéndose tres regímenes mensuales típicos (atlántico, mediterráneo y mediterráneo continentalizado) con una gran cantidad de estados transicionales entre ellos. En general cabe decir que las precipitaciones se concentran especialmente en las estaciones equinocciales (primavera y otoño). En verano e invierno se registran mínimos pluviométricos, más marcado el estival en el sector occidental, mientras en el oriental el principal es el mínimo de invierno.

En el sector occidental de la cuenca domina un régimen oceánico con precipitaciones bien repartidas durante todos los meses con un único máximo en diciembre y enero y mínimo en el mes de julio. La influencia atlántica afecta a los Pirineos siendo muy clara en la mitad occidental (hasta el río Gállego). También afecta a la zona septentrional de la Ibérica (Demanda), debilitándose bruscamente desde el Moncayo hacia el este. Ello

provoca que en el sector ibérico central y meridional las precipitaciones sean bastante escasas e irregulares.

El régimen mediterráneo se circunscribe a la zona oriental, afectando a la Cordillera Costero Catalana y al extremo sudeste de la Ibérica (Maestrazgo), sierra que impide su penetración hacia el interior. La cercanía del Mediterráneo permite una abundancia relativa de las precipitaciones, especialmente en otoño. El régimen general viene caracterizado por dos máximos equinocciales, en otoño y primavera, y mínimos solsticiales en invierno y verano. La parte oriental de los Pirineos, cuencas del Cinca y del Segre, presenta un régimen algo más continentalizado que el mediterráneo con un yetograma bastante regular, con máximo en primavera y mínimo en invierno.

El análisis estadístico anual de las precipitaciones de las 29 series naturales más prolongadas de la cuenca del Ebro (CHE, 2001a; García Vera et al., 2001) con datos anuales desde 1916 hasta 2000 permite diferenciar ocho zonas en función de la evolución temporal de las lluvias. Esta evolución temporal se representa en cada zona por una curva obtenida con un método de suavizado denominado "lowess" semejante al de las medias móviles (Figura 1.15). Las ocho zonas diferenciadas son:

- Sector occidental de la cuenca con las regiones A y B.

- Asociada a la influencia del sistema Ibérico se define la región C.

- En la Franja pirenaica se distinguen las regiones D y F.

- En el sector central de la cuenca del Ebro, región E.

- En el área más oriental la región G.

- En el área más meridional la región H.

Dentro de la evolución general de todos los grupos destaca la existencia de dos patrones de evolución diferentes. El primero está caracterizado por la presencia de

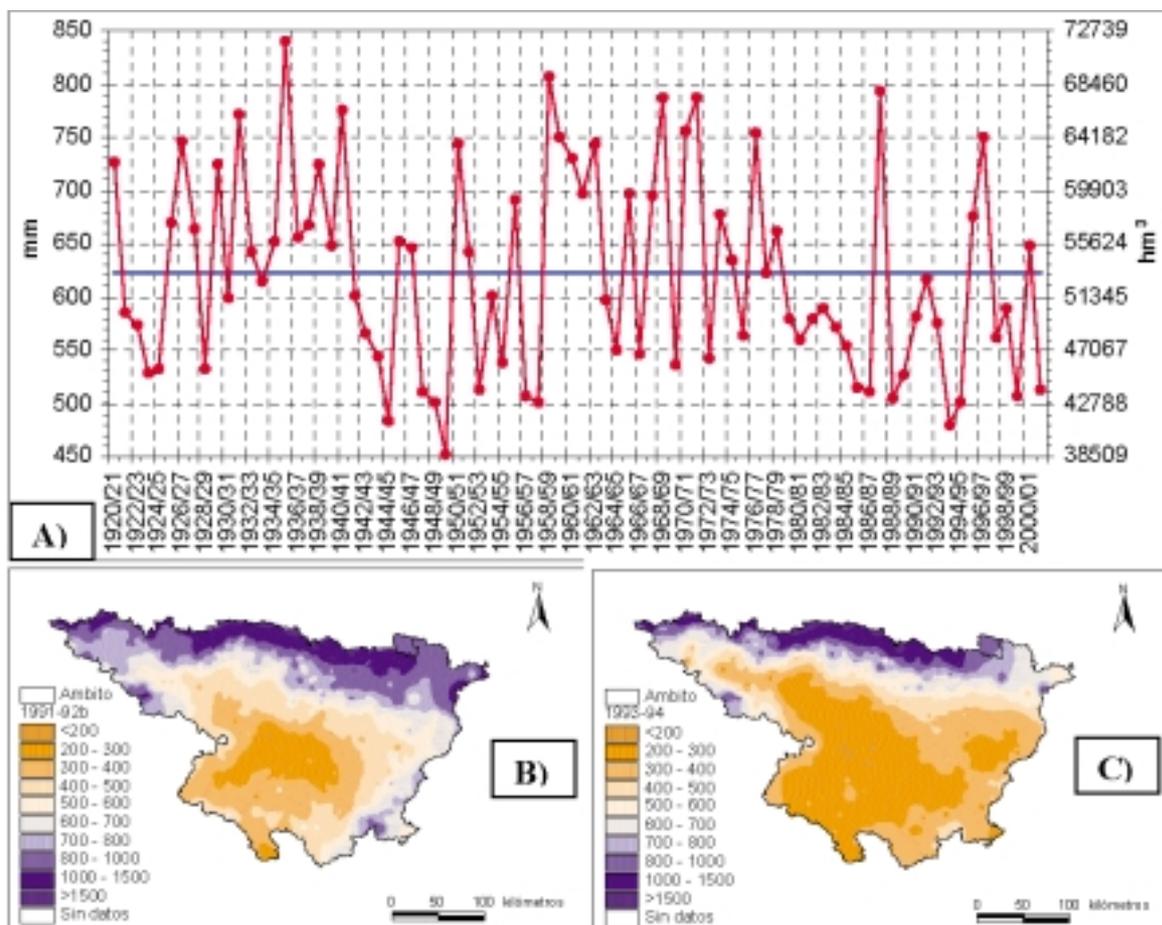


Figura 1.13: Las precipitaciones en la cuenca del Ebro: a) evolución anual; b) distribución espacial de las lluvias en el año 1991/1992, correspondiente al percentil 54 %; y c) distribución espacial de las lluvias el año 1993/1994, correspondiente al percentil 2 %.

tres máximos relativos en la década de los 30, 50 y 70 y tres mínimos en las décadas de los 40, 60 y 80. Se identifica en el noroeste de la cuenca y la margen derecha asociada al sistema Ibérico (regiones A, B, C y H). El máximo periodo húmedo se presenta en la década de los años 30 en la región B y C (Navarra media, Rioja Baja y margen derecha del Ebro aragonesa). En las otras regiones del primer patrón no se observan diferencias apreciables entre los máximos de los años 30 y 70.

El segundo patrón de evolución afecta al resto del territorio no incluido en el primero, y está caracterizado por la existencia de dos máximos en las décadas de los 30 y 60 siendo el más húmedo el de la década de los 60, y dos mínimos en las décadas de los 40 y 80.

Respecto a los dos periodos secos más grandes (década de los 40 y 80) en la mayor parte de las regiones son de una magnitud similar, a excepción de la región A (noroeste de la cuenca) con una mayor gravedad del periodo seco de la década de los 40, y las regiones C y

G con una mayor importancia del periodo seco en la década de los 80.

Con respecto a la tendencia decreciente desde el máximo de los 60 hasta el final de la serie, en algún momento al final de la década de los 80 se atenúa el descenso o, incluso, en varias regiones se convierte en una fase creciente.

En general, cabe concluir que del análisis del intervalo temporal comprendido entre 1916 y 2000 no hay una evidencia clara para afrontar la existencia de una tendencia general decreciente en las precipitaciones de la cuenca del Ebro. La lluvia sufre oscilaciones dentro de un régimen que cabe calificar como estable.

Lo dicho anteriormente tiene una excepción, que corresponde a la margen derecha aragonesa (región C), donde se observa una tendencia decreciente que se mantiene desde el final de los años 30. Esta tendencia es coherente con la observada en los caudales de los ríos y manantiales, en los niveles piezométricos de los

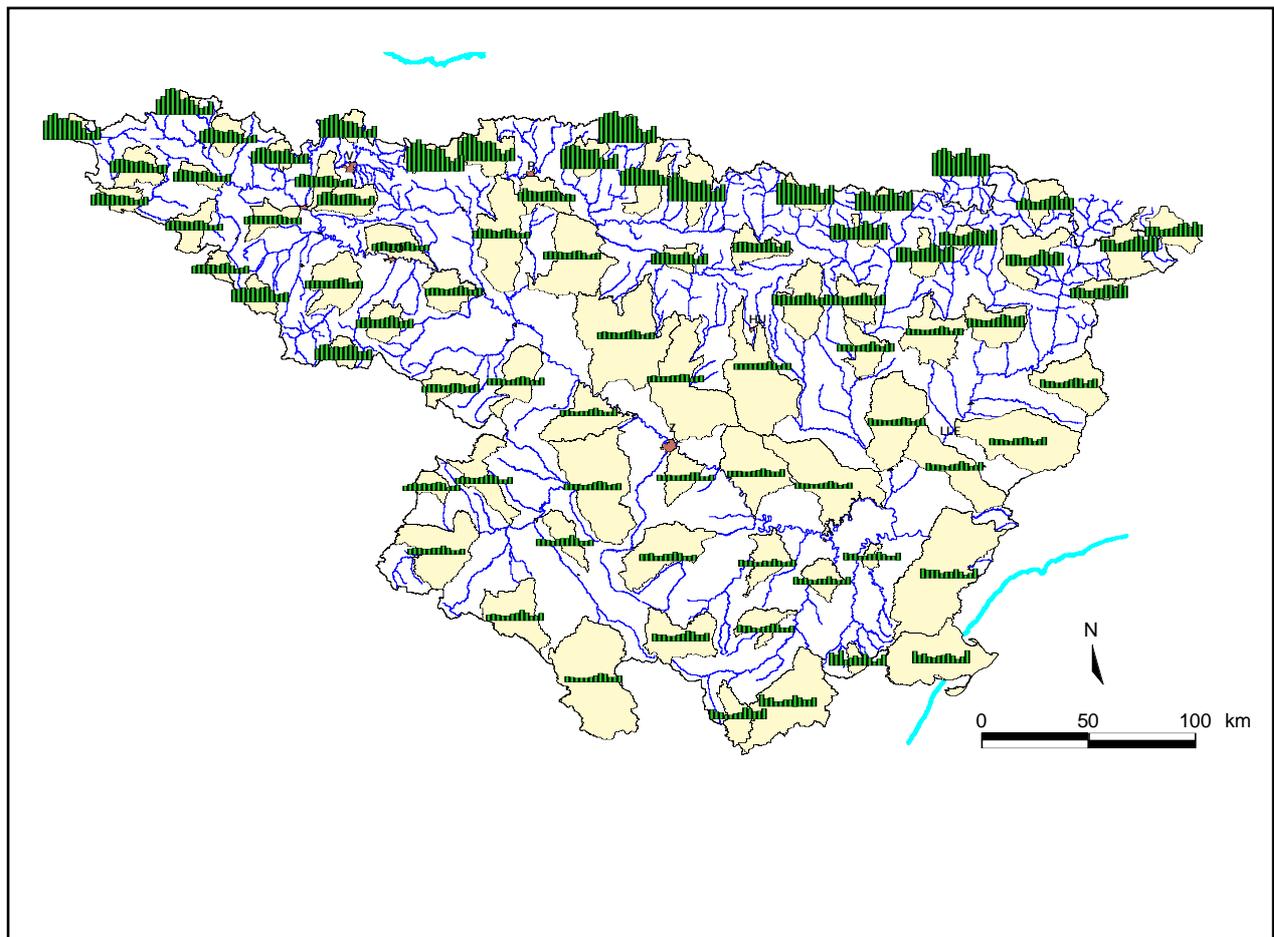


Figura 1.14: Régimen mensual de las precipitaciones en algunas subcuencas distribuidas por la cuenca del Ebro en el periodo 10/1940-9/1986. Datos tomados de CHE (1993).

sondeos y en la altura de agua en los grandes humedales como, por ejemplo, la laguna de Gallocanta.

La disposición en cubeta de la cuenca repercute también en las condiciones térmicas (Figura 1.16). El efecto suavizador que ejercen los océanos sobre las temperaturas se limita a la mitad occidental de la orla montañosa septentrional. En el resto, especialmente en la depresión, se observa una fuerte continentalización que se traduce en elevadas temperaturas estivales, con máximas sofocantes y fríos intensos en invierno. Es muy frecuente que la depresión se vea ocupada en invierno por una masa de aire frío y estable, con la consiguiente aparición de nieblas, que afectan con especial frecuencia e intensidad al corredor central del Ebro, Hoya de Huesca, norte de Monegros, bajo Cinca, bajo Segre, área de Caspe y cuenca de Calatayud. Entre los veranos cálidos y los fríos inviernos, las estaciones equinocciales suelen ser breves y con bruscos cambios de temperatura.

El viento es otro elemento destacado especialmente en el corredor central del Ebro. El sentido más frecuente es noroeste-sureste. Se trata del llamado "cierzo", vien-

to frío y seco que aparece cuando en el Mediterráneo occidental se forma una borrasca, mientras el Atlántico oriental está ocupado por altas presiones. Puede presentarse en cualquier época del año, pero su mayor ocurrencia es en primavera. Otro viento característico es el llamado "bochorno", de sentido opuesto. Es menos frecuente y mucho más suave. Se trata de un viento seco y muy cálido si sopla en verano (estación en la que es bastante frecuente) y templado y húmedo si lo hace en el resto del año. Está relacionado con la formación de un área de bajas presiones en el interior de la Península o al oeste de la misma.

1.3.2. Rasgos hidrológicos

La red fluvial del ámbito territorial de la demarcación del Ebro está integrada, básicamente, por la correspondiente a la cuenca del Ebro y a la parte española de la cuenca del Garona. El río Ebro, como colector principal, se acomoda al esquema morfológico del conjunto: dos cordilleras, la Ibérica y los Pirineos, convergentes en el noroeste dejando entre sí la denominada Depresión Central o del Ebro, de mayor anchura al

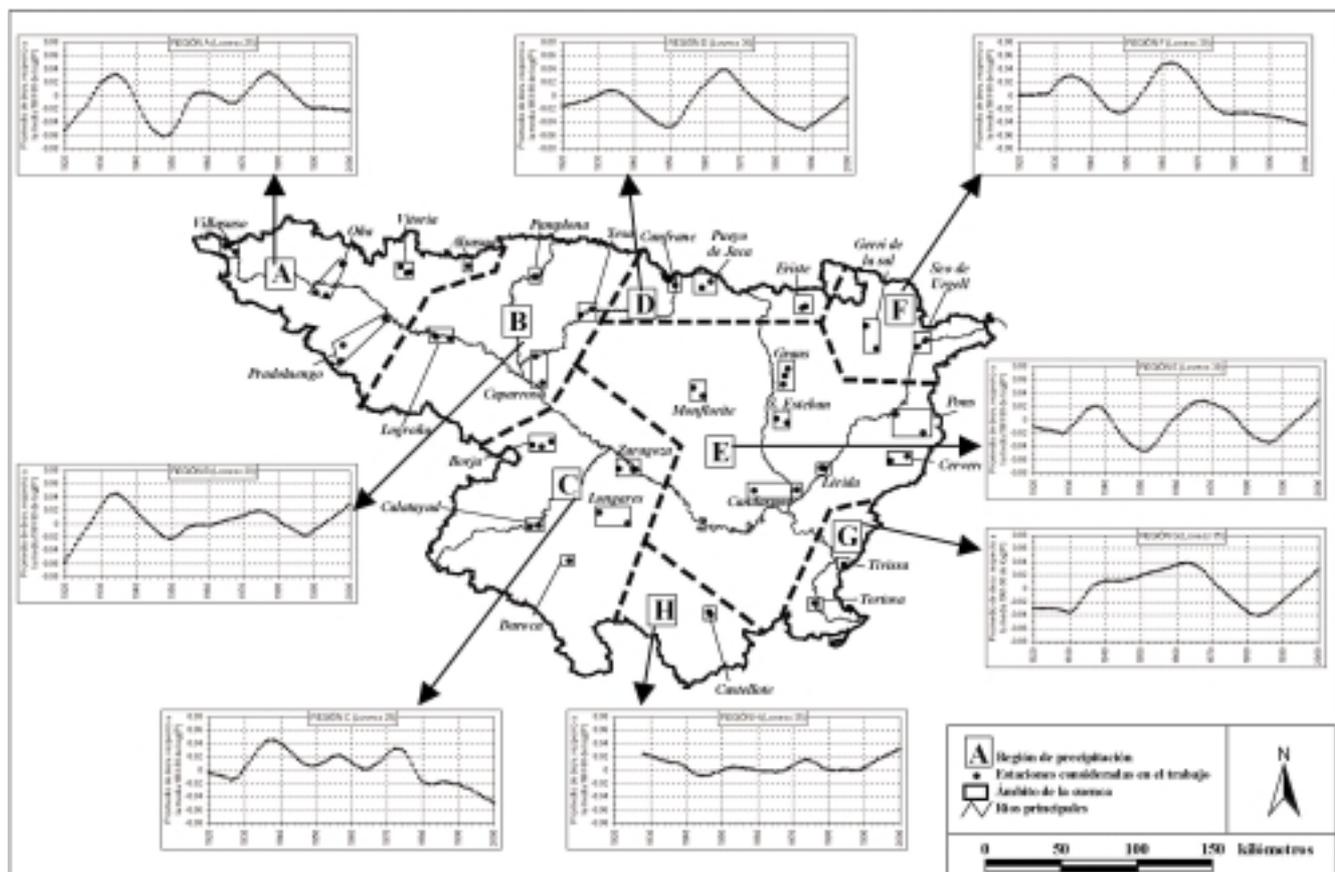


Figura 1.15: Tendencia media de la lluvia mediante suavizado "Lowess" en las distintas regiones diferenciadas en la cuenca del Ebro (CHE, 2001a).

avanzar hacia el Este. Cerca del Mediterráneo el río corta transversalmente la Cadena Costero Catalana por el conocido "Paso del Asno".

La citada red fluvial principal tiene una longitud de unos 13.000 km. (910,5 km. en el cauce principal). En conjunto muestra una forma de "espina de pez" aunque se encuentran diversas configuraciones en los diferentes sectores de la cuenca. En este sentido destaca el marcado paralelismo de los ríos riojanos recogidos perpendicularmente por el Ebro, generándose una red de tipo subparalelo. Lo mismo ocurre en el sector oriental de la cuenca del Aragón, o con los afluentes de la margen derecha del Jalón. En otras áreas la red muestra una tipología dendrítica. Son los casos de los ríos del conjunto Cinca-Segre, los de la cuenca del Aragón antes de Sangüesa (Navarra), la cuenca del Arba, la del Nela, o las cabeceras aragonesas de los ríos Aguas Vivas, Martín y Guadalope.

En el cuadro adjunto (Tabla 1.4) se indican las subcuencas más significativas desde el punto de vista superficial y de aportación media interanual en régimen natural, es decir, suponiendo el río en su estado

natural, descontando los efectos de las detracciones de agua, aportaciones ajenas por retornos o trasvases y el efecto de la regulación y evaporación de los embalses.

La disposición de la cuenca, drenando la vertiente sur de las cordilleras que la limitan por el norte y la vertiente noreste de las que la limitan por el sur, así como la ubicación entre el Atlántico y el Mediterráneo con sus diferentes influencias, hacen que en la cuenca se encuentren varios regímenes fluviales diferenciados. La suma de todas las influencias se difumina en el régimen del colector principal, siendo el Ebro uno de los ríos mediterráneos con menos variabilidad interanual de entre los de la península Ibérica. Por otra parte, los acuíferos afectan al régimen de caudales suavizándolo, lo que resulta especialmente evidente en los ríos aragoneses de la margen derecha del Ebro.

Los afluentes cantábricos y pirenaicos del Ebro, en el sector occidental hasta la cuenca del Irati, muestran un régimen esencialmente pluvial oceánico. Se observa influencia de la retención nival en el Nela y en el Irati, por lo que en estos casos se habla de un régimen pluvionival oceánico. Al este del Irati predomina un régi-

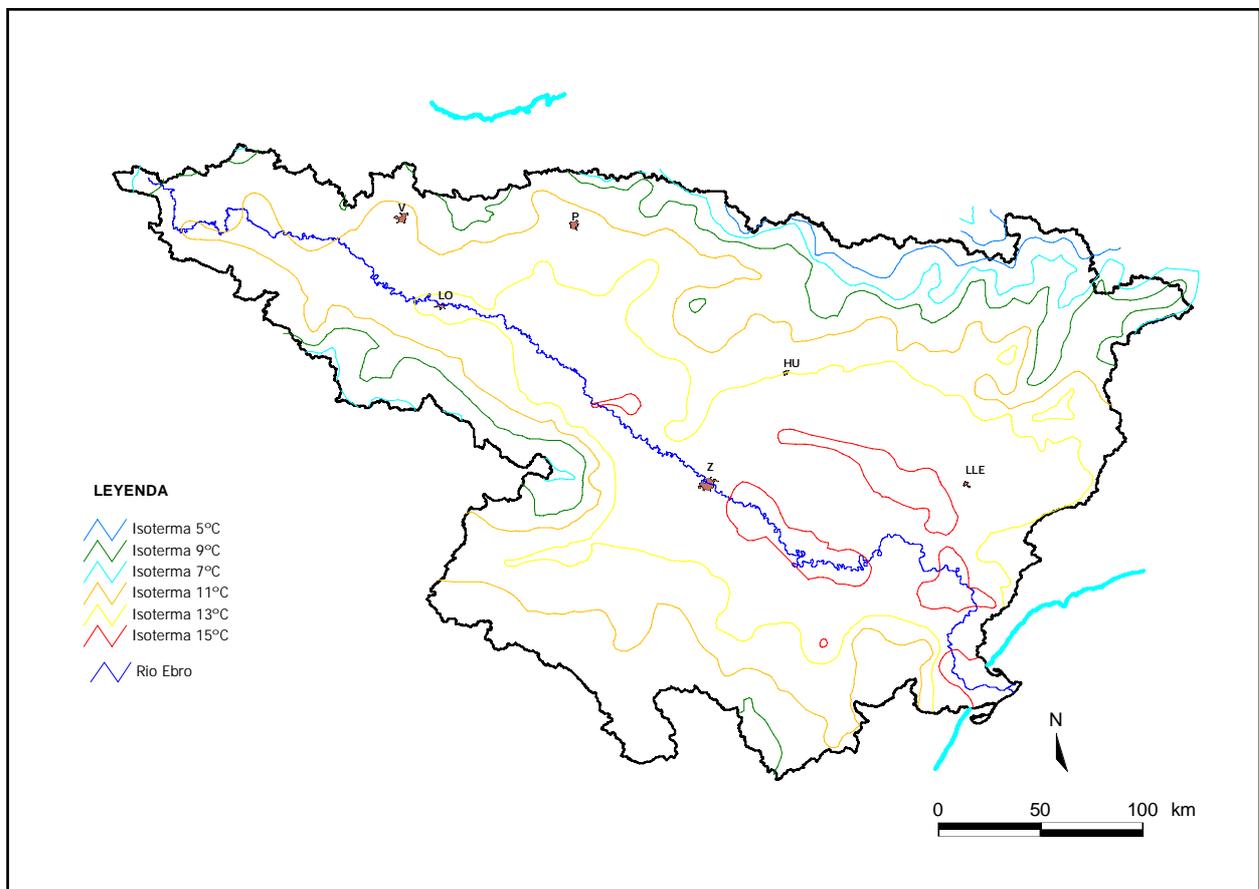


Fig 1.16 Isotermas medias mensuales en el periodo 10/1940-9/1986.

men de corte nivopluvial debido a la importante retención nival invernal de la cordillera pirenaica. Se advierte, además, un matiz de continentalización a medida que se avanza hacia el este.

Por la margen derecha del Ebro, los ríos del noroeste reciben influencias oceánicas, aunque con cierta retención nival en sus cabeceras que define un régimen pluvionival oceánico. Más hacia el sureste desaparece la influencia atlántica y se acentúa la mediterránea con marcado carácter continentalizado, además de desaparecer la retención nival como hecho significativo. Se trata, por lo tanto, de un régimen pluvial mediterráneo, claramente equinoccial en el caso de los ríos más orientales: Guadalope, Matarraña, Algás, Canaleta.

Los citados rasgos hidrológicos están inducidos especialmente por las condiciones climáticas que controlan los balances de agua y la escorrentía dando lugar al caudal generador de los cauces. Estos caudales condicionan, junto con las circunstancias topográficas y litológicas del sustrato, la evolución y desarrollo geomorfológico de valles y cauces.

Esta morfología ha sido estudiada recientemente (CHE, 2003c y 2004) por geomorfólogos de las Universidades de Zaragoza y del País Vasco. El trabajo desarrollado ha cubierto dos etapas: 1) tramificación y 2) catalogación.

La tramificación ha consistido en la división de la red fluvial principal en tramos morfológicamente homogéneos (con longitud superior a 2 km), utilizando tres

Cuenca	Superficie	
	km ²	%
Segre total – Cinca	22.798 9.816	26,8% 11,5%
Jalón total	9.607	11,3%
Aragón total - Arga	8.604 2.805	10,1% 3,3%
Gállego	3.995	4,7%
Guadalope	3.819	4,5%
Arba	2.218	2,6%
Martín	1.959	2,3%
Resto de subcuencas	32.175	38,7%
Total ámbito	85.175	100%

Cuenca	Aportación	
	hm ³	%
Segre total -Cinca	6.356 2.915	34,9% 16,0%
Aragón total -Arga	4.521 1.697	24,8% 9,3%
Gállego	1.087	6,0%
Zadorra	592	3,2%
Garona	(589)	(3,2%)
Jalón	551	3,0%
Nela	527	2,9%
Resto de subcuencas	4.587	25,2%
Total Ebro	18.217	100%

Tabla 1.4. Importancia de las principales subcuencas de la demarcación hidrográfica del Ebro.

criterios básicos para diferenciar los tramos: pendiente del cauce, geomorfología del cauce y geomorfología del valle. Es decir, cada cambio significativo observado en al menos uno de estos tres descriptores ha supuesto considerar un cambio de tramo. Esta labor se ha realizado mediante técnicas de gabinete, tales como la consulta de mapas topográficos a escala 1:50.000, ortofotos del GIS-Oleícola (1998-2000) a escala 1:5.000 y un modelo digital del terreno con celdas agrupadas en una malla de 500 m. de lado.

La catalogación se ha hecho aplicando a cada tramo una clasificación morfológica de valles y cauces preparada para este fin. Se han diferenciado cinco tipos de valle (abierto extenso, abierto encajado o semiencajado, encajado de fondo cóncavo, encajado de fondo plano y cerrado en cañón) y diez tipos de cauce (pendiente, recto, sinuoso de pendiente alta, sinuoso de pendiente baja, trezado de pendiente alta, trezado de pendiente baja, meandriforme de pendiente media, meandriforme de pendiente baja, anastomosado y alterado o no clasificable). En ocasiones se observa que el cauce ha cambiado de circunstancias y se encuentra en transición de un tipo a otro observándose características combinadas de ciertos tipos. Los resultados básicos de esta clasificación se plasman en el mapa de la Fig. 1.17.

Con carácter general pueden hacerse las siguientes consideraciones para cada tipo de cauce:

Muy pendiente (P):

Típico de cabeceras muy pendientes (>10%), donde son frecuentes las cascadas y una estructura longitudinal de saltos y pozas (step-pool). Son ríos muy encajados (baja relación de anchura-profundidad) y tienen una gran capacidad de transporte dando lugar a una importante erosión lineal. Es el correspondiente al tipo Aa+ de la clasificación de cauces de Rosgen. Estos ríos son relativamente singulares en la cuenca del Ebro (representan un 17,9% de los segmentos estudiados entre los tipos básicos), y su dinámica es activa. Aparte de su alto valor geomorfológico, es reseñable su alto valor escénico, que suele ir acompañado de espectaculares saltos de agua.

Se localizan en los ámbitos montañosos más destacados: Pirineos, desde la cabecera del Iratí al Segre, y estribaciones de la Sierra de la Demanda. Algunos tramos fluviales de longitud relevante, que se ajustan a este tipo son:

En la margen izquierda, la cabecera de Urederra, del Salado, tramo inicial del Ulzama, del Anduña (Salazar) y de otros afluentes del Aragón en cabecera, zonas de la cabecera del Gállego, en particular Caldarés, Aguilero y Sía. También alto Cinca en Pineta, cabecera del Cinqueta, afluentes del Alto Ésera por la izquierda (Cregüeña, Vallibierna y Remascaro) y del alto Noguera Ribagorzana por la derecha (Salenca, Llauset) y Bizberri. Cabecera del Noguera de Tor, del San Nicolas y río Foixas. Alto Flamisell, con las cabeceras de Sarroca y Valiri. Diversos tramos en la cabecera del Pallaresa: Unarre, Peguera, Espot, Tabescan, Estahón, N. de Cardós y Vallfarrera, y otros tramos en la cabecera del Segre: Aransa, Capiscol, Cadí, Villanova y Guardia.

En la margen derecha los tramos de este tipo son más escasos: Alto Urbión en la cabecera del Tirón, diversos barrancos de la cabecera deñ Najerilla, como el río Briera y otros de pequeña entidad dispersos.

Fuera de los ámbitos montañosos citados la aparición de este tipo morfológico es muy rara, se da de forma dispersa y discontinua en cabeceras como la del Zayas en Álava o la del río Pena en Teruel.

Recto (R):

Exclusivamente reservado a cauces con forma en planta recta asociados a seguimiento de fracturas, estratos; es decir, a cauces sometidos a un control estructural. No tiene correspondencia con la tipología de cauces de Rosgen. Son muy singulares (0,9% de los tramos). Su dinámica es baja al tratarse de cauces encajados. Al igual que el anterior tipo no presentan alteraciones relevantes. También es de destacar sus altos valores geomorfológicos y escénicos.

Entre los escasísimos tramos fluviales rectos cabe destacar el que presenta el río Zadorra entre Nanclares y la Puebla de Arganzón, o el río Balces o Isuala en los cañones de Guara. También aparecen algunos tramos rectos que merecen ser mencionados en la cabecera del Ara en Bujaruelo o el Bellós en su tramo alto.

Sinuoso de pendiente alta (S+) y sinuoso de baja pendiente (S)

Estructura longitudinal de saltos y pozas o badinas (step-pool) y rápidos, con pendientes elevadas a moderadas y muy baja sinuosidad. Se puede emparejar con los tipos A, Ba, B o G de la clasificación de cauces de

Rosgen. En el caso de los de baja pendiente su estructura longitudinal de rápidos y remansos, comienza a describir algunas sinuosidades, pudiendo presentar barras laterales ocasionales; éstos corresponden a los tipos Bc y Gc de la clasificación de cauces de Rosgen.

Los ríos sinuosos son los más comunes en la cuenca del Ebro (55,3%) y su dinámica y valor geomorfológico pueden considerarse como medios.

Los cauces sinuosos en valles abiertos o encajados de fondo plano son los que más alteraciones artificiales reciben, sufriendo cambios en su morfología a causa de rectificaciones, ahondamientos del cauce y canalizaciones; es debido generalmente al uso agrícola y urbano de los fondos del valle.

Los cauces sinuosos en valles encajados soportan menos afecciones; éstos suelen ir ligados al paso de infraestructuras lineales que aprovechan estos estrechos y al uso agrícola en la estrecha llanura de inundación. El tipo sinuoso de alta pendiente responde tanto a cursos de cabecera en valles glaciares pirenaicos como a cabeceras en valles abiertos del Sistema Ibérico; en general no están afectados por la acción antrópica.

Los abundantísimos tramos sinuosos conforman la mayor parte de la red de la cuenca del Nela, el eje del Purón, también Omecillo y Húmedo, cabecera del Bayas, cabecera del Zayas y Zadorra hasta Vanclares, bajo Zadorra, Ayuda y tramo medio y bajo del Inglares. Odrón y Linares hasta su confluencia. La práctica totalidad de la red del Ega. Cabecera del Araquil hasta Alsarna, ejes del Larrarín y Elorz y Arga y Ulzama hasta su confluencia. Altos Iratí, Urrobi y Erro, Areta, Tramos altos y medio del Salazar, Esca y Binies, Veral, Onsella y Zidacos. También son sinuosos los Arbas hasta Ejea. Diversos segmentos del alto Gállego y la red del Sotón. En la subcuenca del Cinca, la mayor parte de la red del Alcanadre, el Vero y la Clamor de Fornillos, la mayor parte de la red principal del Ésera e Isábena y tramos discontinuos por la cabecera del Cinca. En el Segre los tramos sinuosos predominan en el alto Noguera Ribagorzana y aguas debajo de Santa Ana; también es predominantemente sinuosa la red del Pallaresa y del Flamisell, así como la cabecera del Segre hasta Olíana, y los cauces de los afluentes de la zona de Urgell: Sío, Cervera, Corb y Sed, allá donde no han sido fuertemente modificados.

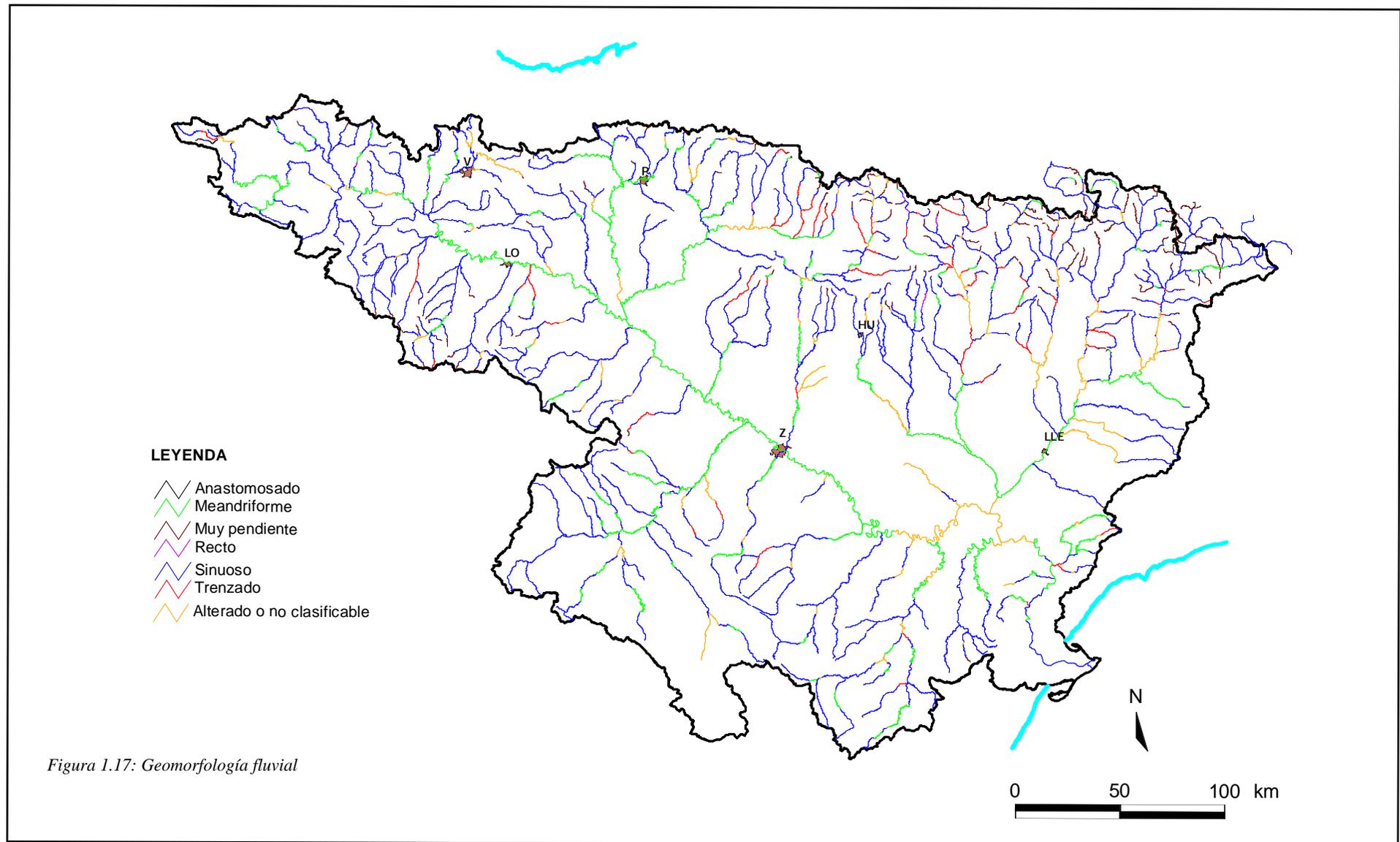
En la margen derecha son sinuosas las cabeceras de Vallierra, San Antón y Moradillo en la cuenca del Ridrón, la práctica totalidad de la red del Oca, el Molinar y el Oroncillo, la red del Tirón excepto el tramo medio del Glera u Oja; la mayor parte de las redes de Najerilla e Iregua, los tramos altos de Leza y Jubera, la cabecera del Cidacos y su tramo bajo del Huecha. En la subcuenca del Jalón toda la cabecera hasta Alhama, zonas de la cuenca del Piedra, el Jiloca desde la incorporación del Pancrudo, el Perejiles, el Ribota y ciertos segmentos del Grío. También ciertas zonas del Huerva y la mayor parte de la cabecera del Aguas vivas, la práctica totalidad de la red del Martín y del Regallo, así como segmentos discontinuos en los tramos alto y medio de la red del Guadalope. Es sinuoso el Matarraña, incluyendo sus afluentes de cabecera y su eje principal hasta Maella, también el alto Algás, aguas arriba de Horta de San Juan.

En el Ebro existen diversos tramos sinuosos, en particular en el tramo bajo a partir de Miravet y en zonas de la cabecera aguas arriba de Miranda de Ebro. También es sinuosa la mayor parte de la red del Garona en España.

Trenzado de pendiente alta (T+) y Trenzado de pendiente baja (T):

Cuando la carga de material sólido es elevada, el cauce se ve obligado a dividirse y a depositar barras e isletas que resultan inestables o móviles en cada crecida. Estos múltiples cauces están englobados en un cauce mayor prácticamente rectilíneo, o con orillas escarpadas y erosivas, a veces muy deleznable. El perfil transversal del cauce es ancho y poco profundo, es decir, la relación anchura profundidad es muy alta. Generalmente en valles extensos, la llanura de inundación suele ocupar el fondo del valle. Correspondiente al tipo Db y D de la clasificación de cauces de Rosgen.

Cuando la pendiente es más baja se encuentra una granulometría más variada que en el caso de la alta pendiente, ya que pueden aparecer materiales finos, presentando también zonas más estables. El corredor fluvial es ancho y con sinuosidades. A los lados de la banda activa o lecho mayor puede haber paleocauces colonizados por la vegetación que a veces se reactivan con el desplazamiento lateral de la banda activa. Correspondiente al tipo Dc de la clasificación de cauces de Rosgen.



Este es un tipo muy singular en la cuenca del Ebro (5,15%); son cauces altamente dinámicos y a eso se le añade la imprevisibilidad del cambio en su dinámica, lo que les confiere un valor geomorfológico muy alto. Al igual que los meandriformes en valles abiertos, presentan una alta movilidad lateral y están muy alterados: se ha constatado la presencia de dragados y remoción de sedimentos para conseguir la presencia de un sólo cauce, extracciones de áridos, escolleras para evitar su movilidad lateral, presas de retención de sedimentos para evitar la temprana colmatación de embalses (lo que provoca la incisión de un sólo cauce debido al elevado poder de erosión del caudal líquido), canalización en un cauce menor sinuoso para estabilizar el cauce mayor, diques en el cauce mayor para desviar la corriente a un cauce más estrecho y estabilizar ese espacio. La particularidad de este tipo de cauces es que dada su alta dinámica, una vez eliminadas las presiones a los que se ven sometidos ofrecen un potencial de recuperación muy alto.

Existe un escaso número de cauces trenzados en valles encajados, pero dada su peor accesibilidad están menos alterados y suponen los casos más singulares de tipos de cauce trenzado en la cuenca del Ebro.

Entre los tramos fluviales trenzados que se conservan en nuestra demarcación, cabe citar los siguientes: tramos bajos de Veral, del Subardán en Osía y del Estarrón; tramo medio y bajo del Aurín en la subcuenca del Gállego, también de Basa y Guargua en esta misma subcuenca; en el Cinca cabe destacar el tramo trenzado situado aguas debajo de la presa de El Grado hasta la confluencia del Vero, y, en cabecera, la mayor parte del valle de Pineta. En la subcuenca del Segre estos tramos son muy escasos, cabe destacar el tramo bajo del río Conques. En la margen derecha uno de los cauces trenzados más importantes de la cuenca se da en el tramo medio del Glera. Otros tramos trenzados aparecen en el bajo Leza, el alto Huecha, la rambla de Cariñena y el tramo medio del río Cámaras.

Meandriforme de pendiente media (M+) y Meandriforme de pendiente baja (M):

El primer tipo aparece por la progresiva migración lateral del cauce y presencia de barras de meandro (point-bars). Su estructura longitudinal ofrece rápidos y remansos (riffle-pool) con mayor importancia de los rápidos. No tiene correspondencia con la tipología de cauces de Rosgen. Cuando la pendiente es más baja la estructura longitudinal de rápidos y remansos (riffle-

pool) tiene mayor importancia y la longitud de los remansos es también mayor. Aumenta el ratio de anchura de la banda de ameandramiento que en el tipo de media pendiente. Consta de un amplio corredor y llanura de inundación, con posible presencia de cauces abandonados o galachos. Los point-bars están más desarrollados superficialmente. Es evidente una gradación granulométrica de los materiales, más grandes en el centro del cauce y más finos en las orillas. Corresponde a los tipos Cb, C, Cc (meandriforme), Fb, F (meandriforme encajado) o Eb, E (meandriforme profundizado, meandriforme tortuoso) de la clasificación de cauces de Rosgen

Es un tipo singular en la cuenca del Ebro (8,4%). Los tipos meandriformes de valles amplios presentan un valor geomorfológico muy alto, con un cauce muy móvil y posibilidad de cortas de meandros. Éstos son los que más alteraciones reciben, debido a que su alta movilidad lateral "choca" con los intereses antrópicos de aprovechamiento de sus recursos y de ocupación de su amplia llanura de inundación: escolleras en orillas cóncavas para la fijación de los meandros, motas en las orillas para evitar la inundación del corredor (ocupado con uso antrópico) en caso de crecida, dragados del cauce para evitar cambios de trazado inesperados, mini-centrales hidroeléctricas que "cortocircuitan" largos tramos del cauce por donde el caudal circulante es mucho menor al natural.

A lo largo del eje del Ebro el cordón de meandros se extiende desde las Conchas de Haro hasta la cola del embalse de Mequinenza, a lo largo de una longitud de unos 470 km constituyendo una extraordinaria singularidad. También son notables los cordones de meandros libres que aparecen a lo largo de los ejes principales, como el Arga-Araquil, Aragón desde Jaca, tramo medio y bajo de Cinca y Alcanadre, Segre desde la incorporación del Pallaresa y Jalón desde el Piedra. También aparecen segmentos menores en el Montsant y Ciurana, en el Algas y bajo Matarranya, en el bajo Guadalope, zonas del Huerva y alto Ebro.

Anastomosado (A):

Estilo de muy baja pendiente, consta de múltiples y tortuosos canales que son estables, separados por islas de material fino (arena, limos) tapizadas de vegetación herbácea. Además, hay brazos ciegos y zonas encharcadas. En cada cauce hay una estructura longitudinal de rápidos (muy suaves) y remansos (riffle-pool). La llanura de inundación es extensa, ocupando todo el fondo

del valle. Es un modelo típico de lagos glaciares colmatados, en valles tipo U. Correspondiente al tipo DA de la clasificación de cauces de Rosgen.

Son los tipos más escasos de toda la cuenca (0,1%) y dada su baja dinámica son muy vulnerables (baja capacidad de recuperación tras un impacto). El segmento más importante de este tipo se encuentra en el río Izarilla.

Alterado o no clasificable (X):

Se consideran cauces alterados o no clasificables cuando por acción antrópica han perdido su morfología natural inicial, de tal manera que la actual es totalmente artificial: embalses, canalizaciones de hormigón, rectificaciones, dragados.... No tiene correspondencia con la tipología de cauces de Rosgen. Suponen el 12,3% de la longitud fluvial de la red del Ebro, cuyos rasgos morfológicos no correspondan con la dinámica natural.

Una vez presentadas las características hidrológicas generales de la cuenca del Ebro, se pasa a describir la situación particular pormenorizada para las principales subcuencas. Para sistematizar este apartado se resumen las características más destacadas de una serie de subcuencas que completan la red fluvial del Ebro repasando sus características naturales y de gestión hidrológica más destacadas. También se hacen algunos comentarios con los que se pretende lograr una sencilla caracterización de los regímenes hidrológicos durante el periodo de registro en las estaciones de aforo.

Las subcuencas se van describiendo ordenadamente; desde cabecera se va recorriendo la cuenca del Ebro en el sentido de giro de las agujas del reloj, comenzando de este modo por la del Nela y finalizando con la del Eje del Ebro.

1.3.2.1. Descripción de cuencas

1.3.2.1.1 Cuenca del Nela

La cuenca del Nela es la más occidental de las subcuencas de la margen izquierda del Ebro, prácticamente en su totalidad está incluida en la provincia de Burgos. Drena una buena parte de la cadena Cantábrica hacia el Ebro, cubriendo una extensión de 1.093 km² que vienen a coincidir groseramente con el sinclinal de Villarcayo, en cuyos flancos afloran calizas del Cretácico en las que ha tenido lugar un espectacular desarrollo kárstico.

El eje principal del Nela recibe por su margen izquierda a sus dos afluentes principales, los ríos Trema y Trueba. En el río Trueba sobresalen los afluentes de su margen izquierda Cerneja y Salón. El caudal medio anual en régimen natural evaluado para toda la cuenca del Nela en el PHE es 16,6 m³/s (526,7 hm³/año).

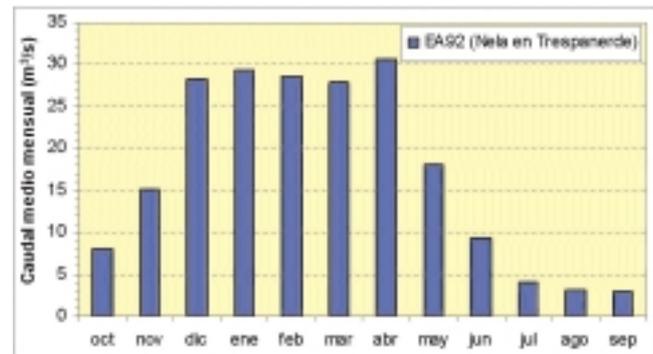


Figura 1.18: Hidrograma medio mensual en la estación de aforos 92 (Nela en Trespaderne) en 30 años hidrológicos completos desde el año 1963/64 hasta el año 1994/95.

Los escasos usos de agua de la cuenca justifican la inexistencia de embalses de regulación. Únicamente destaca un trasvase de aguas desde el río Cerneja, pequeño afluente de cabecera del río Trueba, hacia el río Ordunte, fuera de la cuenca del Ebro. El objetivo de este trasvase es mejorar la regulación del embalse de Ordunte, que abastece parcialmente al Gran Bilbao. El trasvase se puso en funcionamiento en 1961 y su canal tiene una capacidad máxima de 600 l/s.

El régimen hidrológico real de la cuenca queda reflejado en la estación de aforos 92 (Nela en Trespaderne). El caudal medio registrado en esta estación de aforos en 30 años hidrológicos completos desde el año 1963/64 hasta el año 1994/95 es 17,5 m³/s. El hidrograma medio mensual (Figura 1.18) presenta un periodo de aguas altas entre diciembre y abril, sin existir un máximo claramente definido en este periodo, y el periodo de aguas bajas se presenta entre julio y septiembre con el mínimo en septiembre.

1.3.2.1.2. Cuenca del Jerea

El Jerea drena una estrecha franja de la zona cantábrica hacia el Ebro. Esta cuenca estrecha y alargada cubre una superficie de unos 290 km² que casi totalmente se encuentran en la provincia de Burgos. Los terrenos drenados son predominantemente calcáreos atribuibles al Cretácico.

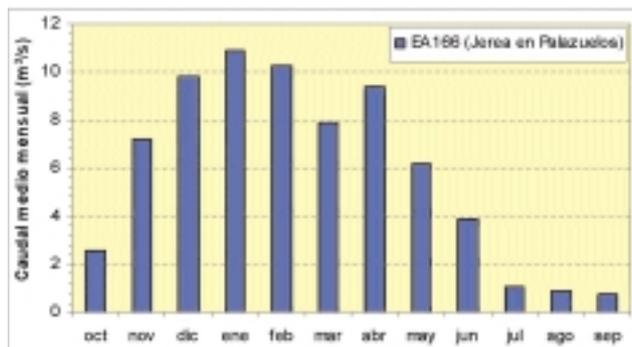


Figura 1.19: Hidrograma medio mensual en la estación de aforos 166 (Jerea en Palazuelos) en 20 años hidrológicos completos desde el año 1965/66 hasta el año 1989/90.

El único afluente significativo del Jerea es el río Nabón, situado en la margen izquierda del Jerea. El caudal medio anual en régimen natural evaluado para toda la cuenca en el PHE es 4,1 m³/s (127,8 hm³/año).

No existe ninguna infraestructura de regulación en la cuenca. Los abastecimientos a poblaciones presentan algunos problemas de suministro en verano, cuando el río se seca.

El comportamiento hidrológico en régimen real se registra en la estación de aforos 166, que recoge la práctica totalidad de agua circulante en la cuenca. El caudal medio registrado en esta estación de aforos en 20 años hidrológicos completos, desde el año 1965/66 hasta el año 1989/90, es 5,84 m³/s. El hidrograma medio mensual (Figura 1.19) presenta un periodo de aguas altas entre diciembre y abril con el máximo en enero y el periodo de aguas bajas se presenta entre julio y septiembre con el mínimo en septiembre.

1.3.2.1.3. Cuenca del Omecillo

La cuenca del río Omecillo se encuentra en la vertiente mediterránea del puerto de Orduña. Cubre una superficie de 346 km² en las provincias de Álava y Burgos. Este río presenta en su margen izquierda un único afluente de importancia, el río Húmedo.

El PHE establece para la cuenca del Omecillo un recurso total en régimen natural de 4,4 m³/s (139,6 hm³/año). Las demandas totales de agua de la cuenca suponen una dotación de 4,08 hm³/año. Con esta dotación se abastece a 1.421 habitantes (0,26 hm³/año) y 1.299 ha de regadío (3,81 hm³/año). En el barrio del Puente se encuentra una central hidroeléctrica con un

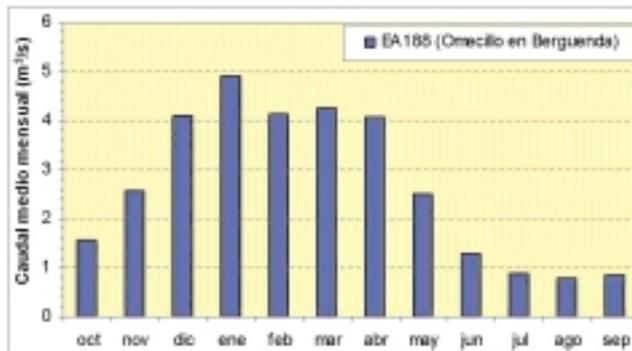


Figura 1.20: Hidrograma medio mensual en la estación de aforos 188 (Omecillo en Bergüenda) en 14 años hidrológicos completos desde el año 1981/82 hasta el año 1996/97.

caudal de equipamiento de 0,75 m³/s. No existen infraestructuras de regulación en la cuenca.

El régimen hidrológico en régimen real se registra en la estación de aforos 188, que recoge la práctica totalidad de agua circulante en la cuenca. El caudal medio registrado en esta estación de aforos en 14 años hidrológicos completos, desde el año 1981/82 hasta el año 1996/97, es 2,73 m³/s. El hidrograma medio mensual (Figura 1.20) presenta un periodo de aguas altas entre diciembre y abril con el máximo en enero y el periodo de aguas bajas aparece entre julio y septiembre con el mínimo en agosto.

1.3.2.1.4. Cuenca del Bayas

La del Bayas es otra cuenca estrecha y alargada. Desciende desde el Parque Natural del Monte Gorbea hacia el Ebro, por territorio predominantemente alavés. Su superficie es 319 km². A lo largo de su recorrido el Bayas atraviesa las rocas calcáreas del Cretácico (calizas de Subijana) que facilitan la transferencia subterránea de parte de sus caudales hacia la vecina cuenca del Zadorra en Nanclares.

El río muestra un recorrido orientado predominantemente de norte a sur y no presenta afluentes de importancia. El PHE valora un recurso total en régimen natural para toda la cuenca del Bayas 5,2 m³/s (165,42 hm³/año).

El régimen hidrológico real se registra en la estación de aforos 165 (Bayas en Miranda de Ebro). El caudal medio registrado en esta estación de aforos en 13 años hidrológicos completos, desde el año 1976/77 hasta el año 1996/97, es 6,26 m³/s. El hidrograma de caudales medios mensuales (Figura 1.21) presenta el periodo de aguas altas entre diciembre y abril con el máximo en

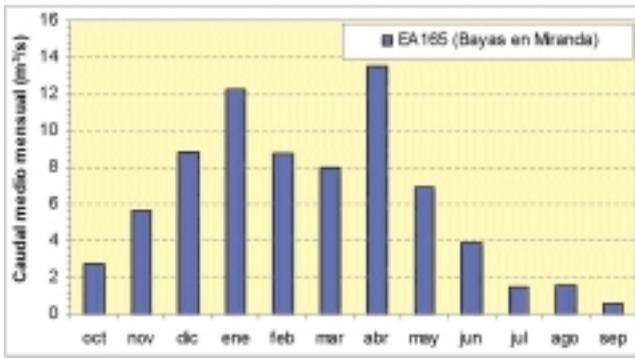


Figura 1.21: Hidrograma medio mensual en la estación de aforos 165 (Bayas en Miranda de Ebro) en 13 años hidrológicos completos desde el año 1976/77 hasta el año 1996/97

abril y un periodo de aguas bajas entre julio y septiembre con el mínimo en septiembre.

1.3.2.1.5. Cuenca del Zadorra

La del Zadorra es la gran cuenca mediterránea del País Vasco. Drena la zona central alavesa y los montes circundantes y finalmente desemboca en el río Ebro en Miranda de Ebro. La cuenca de drenaje es de tipo rectangular y cubre una extensión de 1.357 km². Sus principales afluentes por la margen derecha son los ríos Santa Engracia y Zayas o Subialde. En la margen izquierda destacan los ríos Alegría y Ayuda. Este último drena el enclave burgalés del Condado de Treviño. A su vez, el río Zayas está acompañado en su margen derecha por el río Suibarri.

El PHE calcula para toda la cuenca un recurso hídrico en régimen natural de 18,7 m³/s (592,2 hm³/año). La demanda total se evalúa en torno a 280 hm³/año.

El régimen hidrológico real de la cuenca viene definido por la estación de aforos 74 (Zadorra en Arce), situada muy próxima a la desembocadura al río Ebro. El caudal medio registrado en esta estación de aforos en 44 años hidrológicos completos, desde el año 1951/52 hasta el año 1996/97, es 13,76 m³/s. El hidrograma de caudales medios mensuales en esta estación (Figura 1.22) se encuentra notablemente afectado por la importante regulación del río. Presenta el periodo de aguas altas entre diciembre y abril con el máximo en enero y un periodo de aguas bajas entre julio y septiembre con el mínimo en septiembre. El hidrograma del río Santa Engracia en Urrunaga es característico de la cabecera del río Zadorra antes de la construcción de

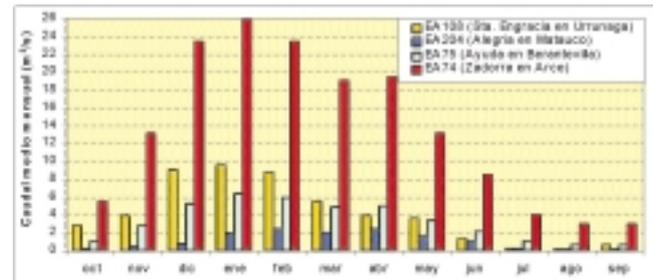


Figura 1.22: Hidrograma medio mensual de estaciones de aforos de la cuenca del río Zadorra; 1) estación 108 (Santa Engracia en Urrunaga) en 8 años hidrológicos completos antes de la construcción del embalse de Urrunaga; 2) 204 (Alegría en Matauco) en 10 años hidrológicos del periodo 1970/71-1979/80; 3) 75 (Ayuda en Berantevilla) en 43 años completos en el periodo 1950/51-1998/99; y 4) 74 (Zadorra en Arce) en 44 años completos en el periodo 1951/52-1996/97

los embalses. Destaca un periodo de aguas altas entre diciembre y febrero con el máximo en enero.

Los indicadores biológicos y los registros llevados a cabo por el Gobierno Vasco también reflejan la situación descrita. El principal foco de contaminación se encuentra en la zona de Vitoria, el río mejora algo a la altura de Nanclares de Oca para volver a deteriorarse en las inmediaciones de Miranda de Ebro.

La fauna piscícola refleja la existencia de dos zonas diferenciadas, una por encima de Vitoria con una cierta riqueza de especies y abundancia de individuos, y otra por debajo de Vitoria claramente empobrecida. Por toda la cuenca, incluida la del Ayuda, está presente *Chondrostoma toxostoma miegii* y *Barbus graellsii*. Por encima de Vitoria se detecta la presencia de salmónidos (*Salmo trutta*) tanto en el Zadorra como en el Zayas, siendo particularmente abundante en la cabecera de este último; la trucha está siempre acompañada por *Phoxinus phoxinus*. *Rutilus arcasii* aparece en el bajo Subialde y el tramo del Zadorra por debajo de los embalses. En el bajo Subialde también aparece *Cobitis paludica* y *Carassius auratus*. Por debajo de la capital alavesa permanecen en el Zadorra ciertas poblaciones de *Rutilus arcasii*, en particular, en las inmediaciones de Nanclares se encuentran ejemplares de *Gobio gobio* y de *Carassius auratus*. En el Ayuda aparece, junto a la ya citada madrilla, *Phoxinus phoxinus* junto con *Salmo trutta* que es la especie mayoritaria en este cauce. Finalmente, *Barbatula barbatula* está presente en algunas zonas del Zayas y Zadorra.

1.3.2.1.6. Cuenca del Inglares

Entre la Sierra del Portillo y la de Cantabria, el río Inglares se dirige por territorio alavés hacia el Oeste hasta confluir con el Ebro. Su cuenca tiene una extensión de tan solo 91 km², buena parte de los cuales se encuentran en zonas con un alto valor ambiental, siendo espacios naturales considerados como en vías de declaración por la comunidad autónoma del País Vasco, tal es el caso de las sierras de Cantabria y Toloño en la margen izquierda, o la Portilla y el Monte del Prado en la derecha del Inglares.

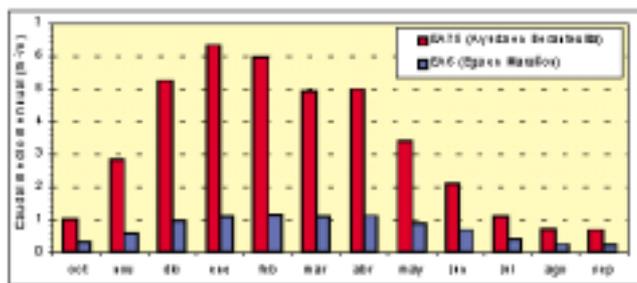


Figura 1.23: Hidrograma medio mensual de estaciones de aforos con un régimen similar al de la cuenca del Inglares: 1) estación 75 (Ayuda en Barentevilla) en 10 años hidrológicos del periodo 1970/71-1979/80; y 2) estación 6 (Ega en Marañón) en 47 años hidrológicos del periodo 1949/50-1997/98.

El PHE estima que el recurso total del río Inglares es 0,56 m³/s (17,83 hm³/año). La demanda total de la cuenca es 3,47 hm³/año, de los que 0,12 hm³/año son para abastecimiento y 3,35 hm³/año son para riego de 1.920 ha. No existen canales ni embalses de importancia. Destaca únicamente la central hidroeléctrica de Berganzo con un caudal concesional de 1 m³/s.

No existen datos de aforos de la red foronómica de primer orden de la CHE, no obstante cabe esperar que el régimen mensual sea semejante al registrado en la vecina cuenca del río Ayuda y en la cabecera del Ega (Figura 1.23). El hidrograma de ambas estaciones es muy semejante y presenta un periodo de aguas altas entre diciembre y abril con el máximo no muy diferenciado respecto al resto de meses. El periodo de aguas bajas se produce entre julio y octubre con el mínimo en septiembre.

1.3.2.1.7. Cuenca del Linares

Esta cuenca cubre una superficie de unos 300 km², entre los montes de Santa Cruz de Campezo (Sierra de Codés) y el Ebro, en territorio navarro. El Linares cuenta con un afluente por la margen izquierda, el Odrón. El recurso total en régimen natural determinado para el río Linares en el PHE es 0,93 m³/s (29,6 hm³/año). La

demanda total se destina únicamente para el regadío de 680 ha con un recurso de 3,38 hm³/año que no se satisfacen totalmente. El déficit de la cuenca se ha valorado en 0,31 hm³/año.

No existe ninguna infraestructura significativa en la zona, ni tampoco centrales hidroeléctricas ni piscifactorías.

No existen datos de aforos directos en el cauce del Linares. Por su proximidad a la cuenca del Ega cabe esperar un hidrograma semejante al de la estación de aforos de cabecera del río Ega (Figura 1.24). El periodo de aguas altas se presenta entre diciembre y abril con el máximo no muy diferenciado respecto al resto de meses del periodo. El periodo de aguas bajas se produce entre julio y octubre con el mínimo en septiembre.

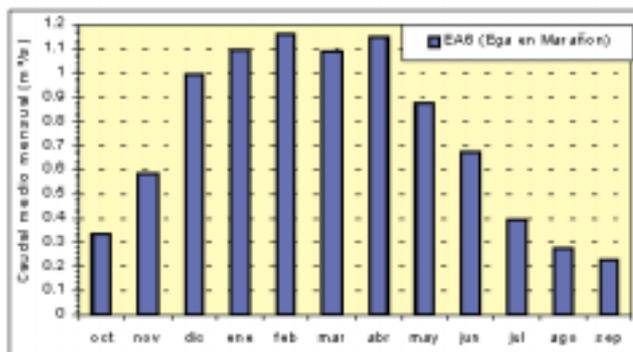


Figura 1.24: Hidrograma medio mensual de la estación de aforos 6 (Ega en Marañón) en 47 años hidrológicos del periodo 1949/50-1997/98, con un régimen similar al de la cuenca del Linares.

1.3.2.1.8. Cuenca del Ega

La cuenca del Ega está ubicada en la zona oriental navarra incluyendo algo de territorio alavés. Drena los sectores orientales de los Montes de Vitoria y de la Sierra de Toloño, dirigiéndose desde Santa Cruz de Campezo hacia Estella por el Sur de la Sierra de Urbasa. Después se dirige hacia el Sur hasta encontrar al Ebro a la altura de San Adrián. La cuenca del Ega cubre una extensión de 1.445 km².

Los principales afluentes del Ega se encuentran en su margen izquierda. Son los ríos Ega II, Urredera e Iranzu.

El recurso total en régimen natural es, según el PHE, 15,5 m³/s (492,5 hm³/año). La demanda total es 40,37 hm³/año que se destina al abastecimiento de 7.890 habitantes (4,02 hm³/año), 7.139 ha (32,07 hm³/año) y

demanda industrial de 4,28 hm³/año. El régimen hidrológico y la situación actual de las infraestructuras implican, de acuerdo con los modelos de simulación realizados, que no se satisfagan 6,02 hm³/año de la demanda total.

La estación de aforos 3 (Ega en Andosilla) recoge el agua que circula en régimen real en toda la cuenca. El caudal medio registrado en esta estación de aforos en 57 años hidrológicos completos, desde el año 1913/14 hasta el año 1997/98, es 13,56 m³/s. El régimen medio mensual es semejante en las cuatro estaciones de aforos presentes en la cuenca lo que indica que no hay afecciones importantes del régimen hidrológico del río. El periodo de aguas altas se registra entre diciembre y abril con el máximo en febrero y el periodo de aguas bajas entre julio y septiembre (Figura 1.25).

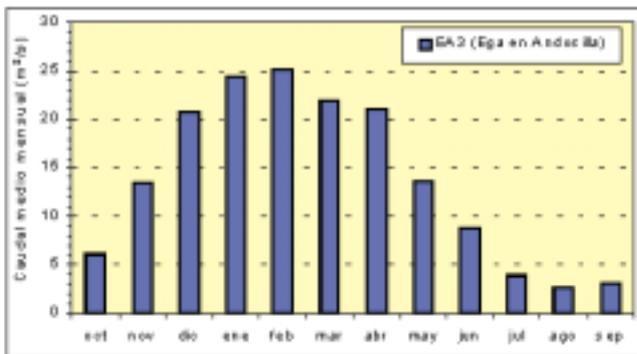


Figura 1.25: Hidrograma medio mensual de la estación de aforos 3 (Ega en Andosilla) en 57 años hidrológicos del periodo 1913/14-1997/98

1.3.2.1.9. Cuenca del Arga

La del Arga es la gran cuenca navarra con una superficie de 2.731 km², incluyendo una pequeña parte en el País Vasco. Desde su nacimiento, próximo a la frontera francesa, el Arga recibe por su margen derecha a los ríos Ulzama, Araquil y Salado. El río Ulzama en su margen derecha tiene un pequeño afluente, el río Arquil, y el río Araquil presenta en su margen izquierda varios afluentes que nacen en la sierra de Aralar entre los que destacan los ríos Alzania y Larraun. El río Salado drena la vertiente meridional de la sierra de Andía y en su margen derecha fluye el río Ubagua. Por la margen izquierda del Arga se recibe al Elos en las inmediaciones de Pamplona. Finalmente se reúne con el Aragón cerca de la localidad de Funes para juntos entregar sus aguas al Ebro.

El recurso total en régimen natural para la cuenca del río Arga se evalúa en el PHE en 53,5 m³/s (1.697 hm³/año). La estación de aforos 4 (Arga en Funes) recoge el agua que circula en régimen real en toda la cuenca. El caudal medio registrado en esta estación de aforos en 56 años hidrológicos completos desde el año 1913/14 hasta el año 1998/99 es 51,85 m³/s. El régimen medio mensual de esta estación representa el régimen medio del río. El periodo de aguas altas se registra entre diciembre y abril con el máximo en enero y el periodo de aguas bajas entre julio y septiembre con el mínimo en agosto.

El régimen hidrológico del río Arga se encuentra afectado aguas abajo de las obras de regulación principales. Tal es el caso del embalse de Euguí, que se pone en funcionamiento en octubre de 1970 y cuya regulación induce un cambio del régimen del río que se registra en la estación de aforos 152 (Arga en Euguí) y 159 (Arga en Huarte). El nuevo régimen se caracteriza por la menor variabilidad de los caudales en el río, desapareciendo los mínimos estivales propios de la época anterior al embalse (Figura 1.26).

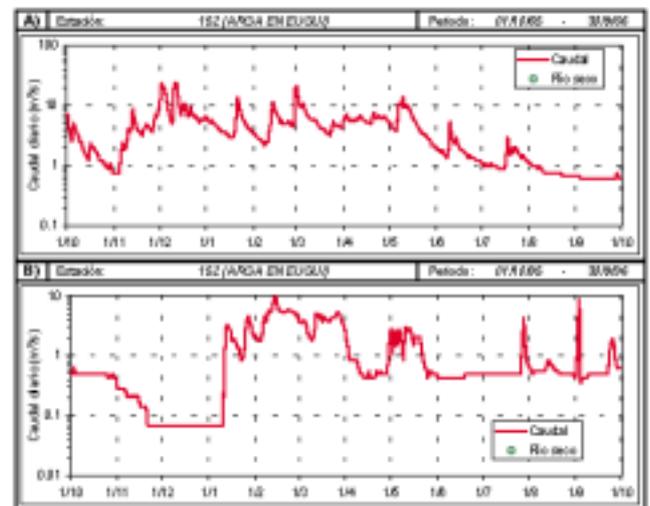


Figura 1.26: Hidrogramas diarios de la estación 152 (Arga en Euguí) antes (a) y después (b) de la construcción del embalse de Euguí.

El río Salado aguas abajo de la presa de Alloz manifiesta también un destacado cambio del régimen hidrológico.

1.3.2.1.10. Cuenca del Aragón

El Aragón drena una parte muy importante del sector occidental pirenaico hacia el Mediterráneo. Esta cuenca actúa como colector de los desagües pirenaicos a lo largo de unos 75 km de cuerda montañosa. Entre estos

ejes cabe citar a los ríos: Aragón, Lubierre, Estarrón, Subordán (Valle de Hecho), Veral (Valle de Ansó), Escá (Valle de Roncal) e Irati con Salazar y Urrobi. Fuera ya de la zona estrictamente pirenaica el Aragón recibe al Zidacos por la derecha y al Onsella por la Izquierda. Cerca de confluencia con el Ebro recibe al Arga.

La superficie de esta subcuenca, sin incluir a la Arga, es de 5.864 km², de los cuales 1.561 km² corresponden a la subcuenca del Irati. El recurso hídrico total en régimen natural del río Aragón excluyendo las aportaciones del Arga es evaluado en el PHE en 89 m³/s (2.824 hm³/año).

La estación de aforos 5 del río Aragón en Caparrosa recoge todas las aguas que circulan en régimen real por el río antes de la incorporación al Aragón del río Arga. El caudal medio registrado en esta estación de aforos en 53 años hidrológicos completos desde el año 1918/19 hasta el año 1998/99 es 69,1 m³/s. El régimen medio mensual de esta estación representa el régimen medio del río (Figura 1.27a). El periodo de aguas altas se registra entre diciembre y abril con el máximo en febrero y el periodo de aguas bajas entre julio y septiembre con el mínimo en agosto.

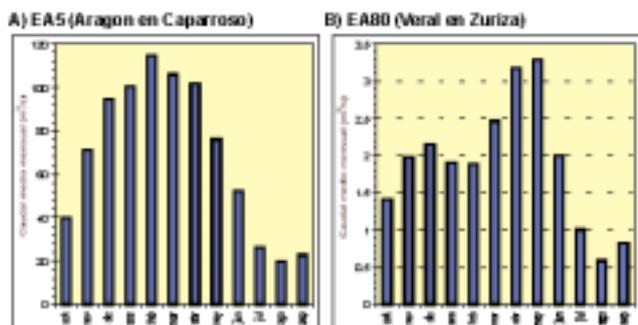


Figura 1.27: Hidrogramas medios mensuales de estaciones de aforos del río Aragón: a) estación 5 (Aragón en Caparrosa) en 53 años hidrológicos del periodo 1918/19-1998/99; y b) estación 80 (Veral en Zuriza) en 33 años hidrológicos del periodo 1951/52-1996/97.

La gran superficie de la cuenca sugiere la presencia de diferencias del régimen hidrológico en distintos ríos de la cuenca. Así, los ríos de cabecera con unas cotas mayores, debido a la retención de la nieve, presentan su periodo de aguas altas entre marzo y junio con el máximo en mayo (Figura 1.27b). Este hidrograma se observa en los ríos Veral, Subordán y cabecera del Aragón.

Además de variaciones del régimen debidas a causas naturales hay que destacar los cambios hidrológicos ligados a los aprovechamientos hidráulicos. Destacan en los ríos de cabecera las disminuciones de caudal en los cauces debido a derivaciones hidroeléctricas y que, en ocasiones, llegan a secar los cauces de los ríos.

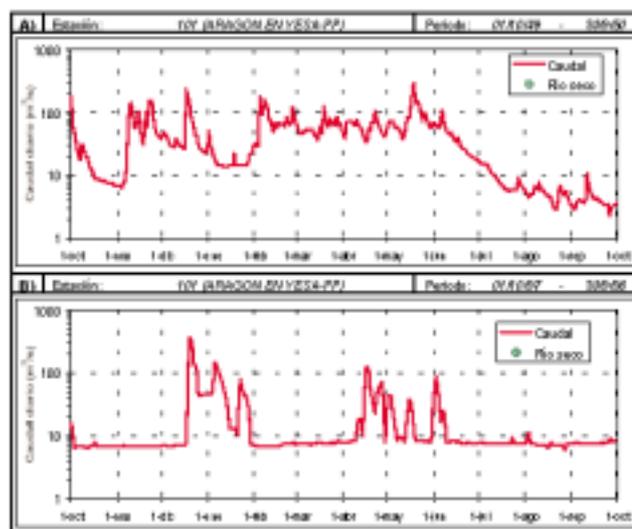


Figura 1.28: Hidrogramas diarios de la estación 101 (Aragón en Yesa-PP) antes (a) y después (b) de la construcción del embalse de Yesa.

La mayor modificación del régimen del río Aragón se debe a la regulación producida por la presa de Yesa (Figura 1.28). Se produce una disminución del caudal medio ligada a la toma para el canal de las Bárdenas y, además, el régimen hidrológico se modifica sustancialmente. Esta regulación modifica el hidrograma del río incluso en la estación de Caparrosa.

1.3.2.1.11. Cuenca del Arba

La cuenca del Arba drena hacia el Ebro el sector occidental del Prepirineo aragonés. Ocupa una extensión de 2.172 km² en Aragón, con un pequeño enclave navarro correspondiente al municipio de Petilla de Aragón. Su nacimiento se produce en la vertiente meridional de la Sierra de Santo Domingo y discurre en dirección norte-sur hasta su desembocadura en el río Ebro en las proximidades de Gallur (Zaragoza). Sus principales afluentes son el río Arba de Biel y el Arba de Riguel (o también río Riguel) en su margen derecha.

El recurso total en régimen natural evaluado por el PHE es 5,6 m³/s (172,8 hm³/año).

El hidrograma medio mensual representativo del régimen natural del río corresponde, por ejemplo, al hidrograma de la estación 155 del río Arba de Luesia en Biota. En los 28 años hidrológicos completos del periodo 1968/69-1996/97 el periodo de aguas altas (Figura 1.29a) está comprendido entre enero y abril con el máximo en febrero. El periodo de aguas bajas abarca desde julio hasta septiembre con el mínimo en agosto.

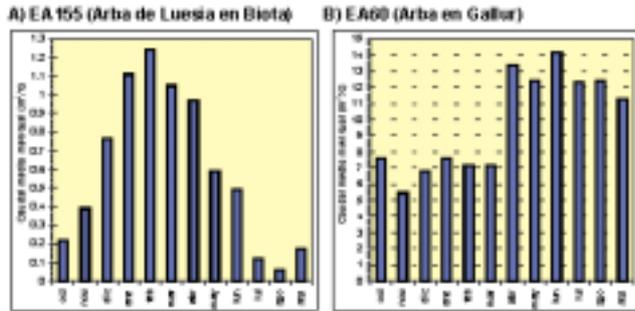


Figura 1.29: Hidrogramas medios mensuales del río Arba de Luesia: a) estación 5 (Arba de Luesia en Biota) en 28 años hidrológicos del periodo 1968/69-1996/97 representativa del régimen natural del río; y b) estación 60 (Arba en Gallur) en 15 años hidrológicos del periodo 1981/82-1996/97 representativos del régimen afectado por los retornos de Bárdenas.

Los retornos de los riegos con aguas del canal de las Bárdenas modifican el régimen de los ríos en régimen natural. En el PHE se evalúa que en la situación actual estos retornos suponen una aportación a los cauces de 59 hm³/año. Estos retornos se producen fundamentalmente en los meses estivales, provocando una inversión del hidrograma medio mensual con respecto al que sería de esperar en régimen natural (Figura 1.29b).

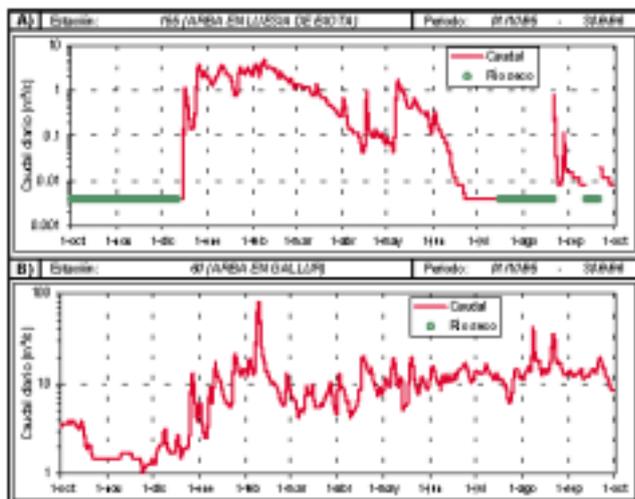


Figura 1.30: Influencia de los retornos de riego de las Bárdenas en la cuenca de los Arbas: a) estación 155 (Arba de Luesia en Biota); b) estación 60 (Arba en Gallur).

Los hidrogramas diarios muestran claramente la diferencia entre el régimen natural (Figura 1.30a), con periodos prolongados de días con caudal nulo. En las estaciones más próximas a desembocadura no existen días con el cauce seco y, además, destaca el periodo de verano con importantes caudales (Figura 1.30b).

1.3.2.1.12. Cuenca del Gállego

El río Gállego discurre principalmente en dirección norte-sur desde el Pirineo Central (valle de Tena) hasta su desembocadura en el río Ebro en Zaragoza. Su estrecha y alargada cuenca vertiente es de 3.969 km² y se encuentra íntegramente en Aragón. El río tiene numerosos afluentes de pequeña entidad entre los que destacan los ríos Aurín y Asabón en la margen derecha, y los ríos Caldarés, Guarga y Sotón en su margen izquierda.

La aportación total del río en régimen natural es, según el PHE, de 34,2 m³/s (1.087 hm³/año). La demanda total de la cuenca es 523,5 hm³/año con los que se abastece a 55.665 habitantes (5,04 hm³/año), se riegan 54.399 ha (504 hm³/año) y una demanda industrial de 14 hm³/año.

El hidrograma mensual característico del régimen natural del río Gállego viene indicado por la estación de aforos 123 del río Gállego en Anzánigo. En los 44 años hidrológicos completos comprendidos dentro del periodo 1949/50-1996/97 el periodo de aguas altas se presenta entre abril y junio con el máximo en mayo y el periodo de aguas bajas se presenta en los meses de agosto y septiembre (Figura 1.31a).

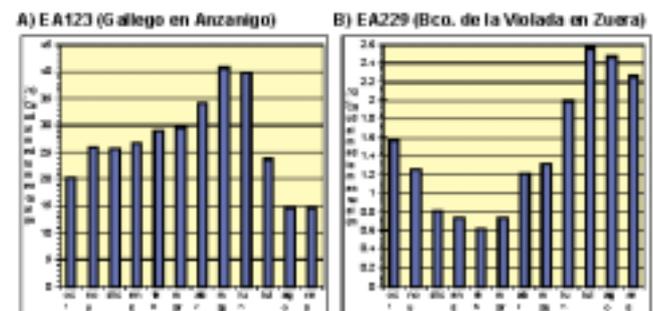


Figura 1.31: Hidrogramas medios mensuales del río Gállego: a) estación 123 (Gállego en Anzánigo) en 44 años hidrológicos del periodo 1949/50-1996/97 representativa del régimen natural del río; y b) estación 229 (Barranco de la Violada en Zuera) en 11 años hidrológicos del periodo 1984/85-1996/97 representativa de un régimen provocado los retornos de regadíos.

Los retornos de riego que condicionan el comportamiento hidrológico de los cauces que vierten al tramo bajo del río Gállego. El hidrograma medio mensual presenta su periodo de aguas altas entre junio y septiembre con el máximo en julio y el mínimo en febrero (Figura 1.31b).

Las afecciones sobre el cauce del Gállego son de varios tipos. Durante todo su recorrido las abundantes derivaciones ligadas a aprovechamientos hidroeléctricos provocan disminuciones destacadas de los caudales en el río junto con modulaciones muy alteradas con respecto a las que correspondería en un régimen no alterado. En la Figura 1.32a se muestra un ejemplo de estas modificaciones del régimen para el caso de la estación 250 (Gállego en Búbal) en la que el caudal que circula por el cauce es mucho menor de lo que correspondería en régimen natural y con una modulación totalmente artificial.

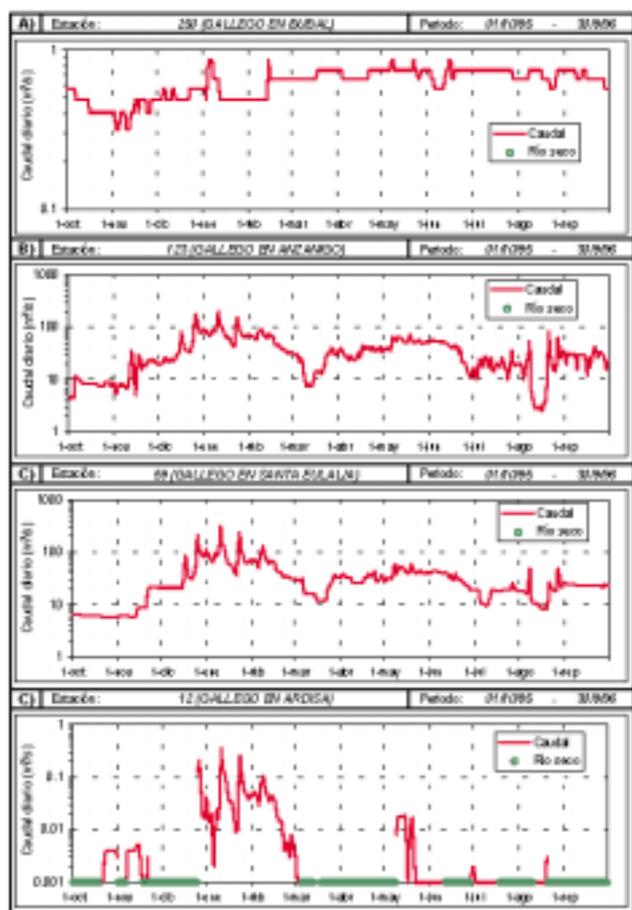


Figura 1.32: Régimen hidrológico en el cauce del río Gállego durante el año hidrológico 1995/1996: a) estación 250 (Gállego en Búbal); b) estación 123 (Gállego en Anzánigo); c) estación 59 (Gállego en Santa Eulalia); y d) estación 12 (Gállego en Ardisa).

Durante el tramo medio del Gállego el régimen se encuentra afectado únicamente por aprovechamientos hidroeléctricos locales que provocan modulaciones de caudal semanales de escasa magnitud. Estas modulaciones se detectan, por ejemplo, en la estación de aforos 123 (Gállego en Anzánigo) durante el periodo estival (Figura 1.32b).

El Embalse de Ardisa constituye una obra hidráulica que transforma el régimen del Gállego desde la presa hasta Zaragoza. La importante derivación que se produce en este punto hacia el embalse de la Sotonera supone fundamentalmente una disminución del caudal que circulará aguas abajo. En algunos tramos puntuales, como el que registra la estación de aforos 12 (Gállego en Ardisa) existe una derivación de la central hidroeléctrica de Ardisa que deja en el cauce unos caudales muy reducidos. Aunque algo más abajo retornan las descargas de otro aprovechamiento hidroeléctrico de entidad (Marracos).

1.3.2.1.13. Cuencas del Alcanadre y Vero

La cuenca del Alcanadre agrupa a un conjunto de ríos singulares que drenan las sierras exteriores aragonesas hacia el Cinca. El Alcanadre y su cortejo de afluentes se extienden por la vertiente Sur de la Sierra de Guara y se reúnen con el Cinca aguas abajo de Ontiñena, cerca de Ballobar, en la provincia de Huesca. El Vero es el cauce más oriental de este conjunto y se dirige directamente al Cinca con quien confluye aguas abajo de Barbastro.

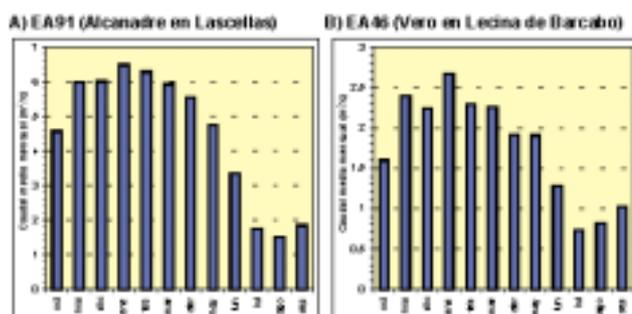


Figura 1.33: Hidrogramas medios mensuales en régimen natural de la cuenca del Alcanadre y Vero: a) estación 91 (Alcanadre en Lascellas) en 37 años hidrológicos del periodo 1953/54-1996/97; y b) estación 46 (Vero en Lecina de Bár cabo) en 32 años hidrológicos del periodo 1942/43-1996/97.

El río Alcanadre tiene una cuenca vertiente superficial de 3.385 km². En su margen derecha presenta dos afluentes principales: el río Guatizalema (362 km²) y el río Flumen (1.545 km²). Todos ellos nacen entre las sie-

rras exteriores pirenaicas de Javierre y Balces. Su recorrido principal toma una dirección norte-sur, aunque en las proximidades de sus desembocaduras (Guatizalema y Flumen al Alcanadre, y Alcanadre al Cinca) tienen una dirección noroeste-sureste. La cuenca vertiente del río Vero es 372 km². Ambas cuencas se encuentran en territorio de Aragón.

La aportación total en régimen natural es 14,2 m³/s (449,9 hm³/año).

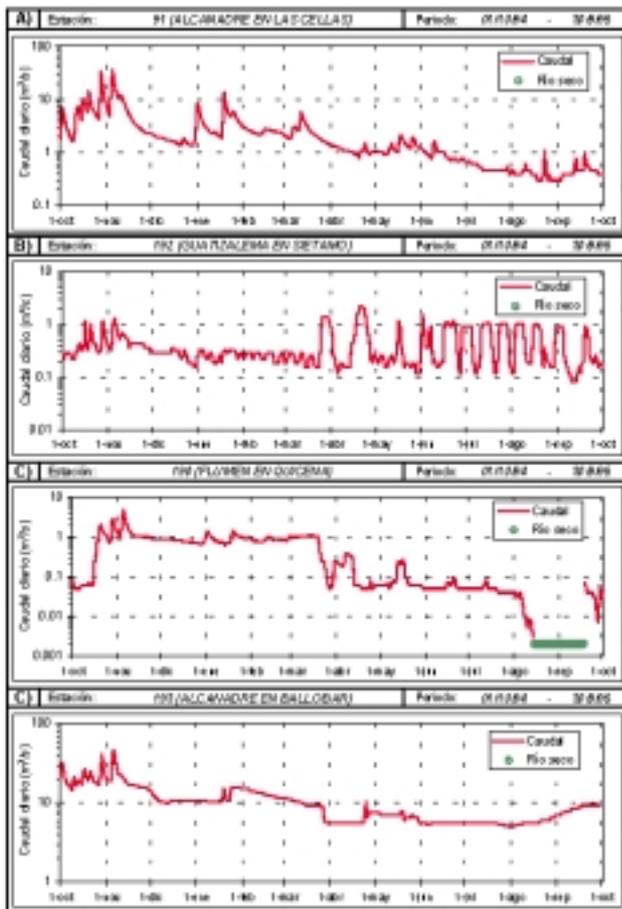


Figura 1.34: Modificaciones del régimen hidrológico en el año 1994/95 en la cuenca del río Alcanadre: a) estación 91 (Alcanadre en Lascellas), río en régimen natural; b) estación 192 (Guatizalema en Siétamo), afectado por el embalse de Vadiello; c) estación 190 (Flumen en Quicena) afectado por el embalse de Arguís; y d) estación 193 (Alcanadre en Ballobar) afectada por los retornos de los riegos.

El régimen mensual de caudales en régimen natural es semejante al registrado en la estación 91 del río Alcanadre en Lascellas (Figura 1.34). En la serie de 37 años hidrológicos completos del periodo 1953/54-1996/97 el periodo de aguas altas se presentan entre noviembre y abril con el máximo en enero y el periodo de aguas bajas entre julio y septiembre con el mínimo en agosto (Figura 1.33a). En la cabecera del río

Vero el hidrograma tiene una evolución semejante (Figura 1.33b), según el registro de la estación de aforos de Lecina.

1.3.2.1.14. Cuenca del Cinca

La cuenca del Cinca drena una parte importante de los Pirineos centrales aragoneses con un notable cortejo de tributarios de singular belleza: Ara, Cinqueta, Barrosa, Ésera e Isábena, que descienden desde las más altas cumbres del Pirineo hasta el Segre cerca ya del embalse de Ribarroja.

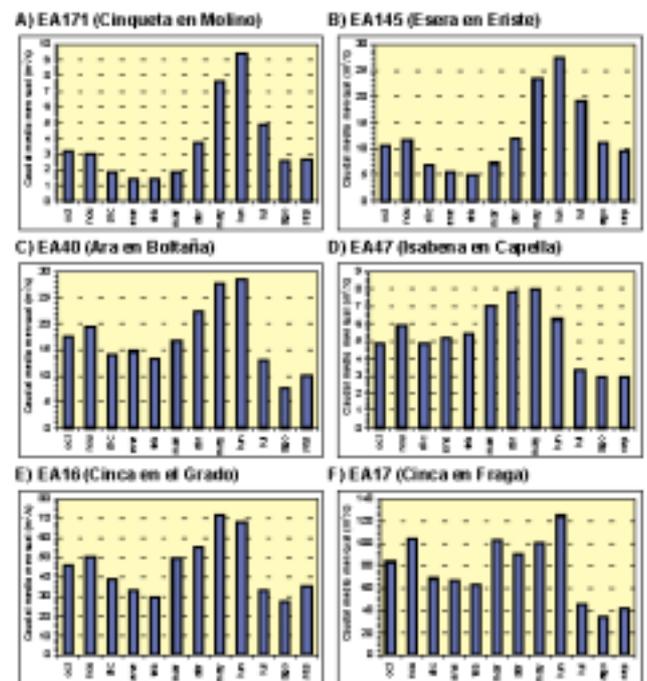


Figura 1.35: Hidrogramas medios mensuales en régimen natural de la cuenca del Cinca: a) estación 171 (Cinqueta en Molino de Gistaín) en 28 años hidrológicos del periodo 1965/66-1992/93; b) estación 145 (Ésera en Eriste) en 16 años completos del periodo anterior a la construcción de la central hidroeléctrica de Eriste (10/1951-9/1969); c) estación 40 (Ara en Boltaña) en 41 años completos del periodo 1952/53-1998/99; d) estación 47 (Isábena en Capella) en 35 años completos del periodo 1051/52-1998/99; e) estación 16 (Cinca en el Grado) en 21 años completos antes de la construcción del embalse del Grado y Mediano (1/1913-10/1966); f) estación 17 (Cinca en Fraga) en 20 años completos antes de la construcción de los embalses del Grado y Mediano.

La cuenca del Cinca tiene una superficie de 4.389 km², excluida las cuencas del Alcanadre y Vero. El recurso total en régimen natural generado en esta cuenca es 71,7 m³/s (2.272 hm³/año).

El hidrograma medio mensual en régimen natural presenta en la cabecera del Cinca y del Ésera un marcado efecto de la retención nival que se manifiesta por un

periodo de aguas altas entre mayo y julio con el máximo en junio y un periodo de aguas bajas entre diciembre y marzo. Este hidrograma se presenta en las estaciones de aforos de cabecera, por ejemplo en la estación 171 (Cinqueta en Molino de Gistaín) y 145 (Ésera en Eriste) antes de la construcción de la central de Eriste (Figuras 1.35a y b).

Conforme disminuye la cota de la cuenca vertiente, la influencia nival va disminuyendo paulatinamente, aumentando en mínimo invernal. Este hecho da lugar a una gradación de hidrogramas medios mensuales conforme el río avanza en dirección sur. El hidrograma de la estación 47 del río Isábena en Capella es indicativo de esta evolución (Figura 1.35d) y el caso de la estación 40 (Ara en Boltaña) pone de manifiesto como conforme se avanza en el recorrido el mínimo deja de ser invernal a ser estival. El caso de las estaciones 16 (Cinca en el Grado) y 17 (Cinca en Fraga) antes de la construcción de los grandes embalses de la cuenca son un ejemplo del mismo efecto (Figuras 1.35e y 1.35f).

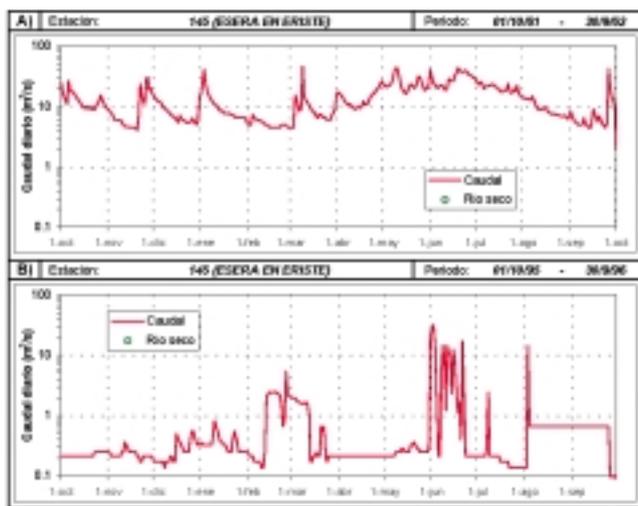


Figura 1.36: Modificación del régimen hidrológico en la estación 145 (Esera en Eriste) motivada por la derivación para uso hidroeléctrico ligada a la presa de Linsoles.

El régimen hidrológico diario de la cuenca del Cinca se encuentra afectado por numerosas infraestructuras ligadas a los usos de agua. De ellas destaca por su importancia en la cabecera de los ríos las derivaciones para aprovechamientos hidroeléctricos que provocan constantes disminuciones de agua en los cauces, secándose o manteniendo caudales mucho menores a los que les correspondería y con modulaciones muy alejadas de su régimen natural. Un ejemplo de estas transformaciones se ha detectado en la estación 145 (Ésera en

Eriste) en la que se reduce el caudal de forma muy destacada aguas debajo de la presa de Linsoles (Figura 1.36).

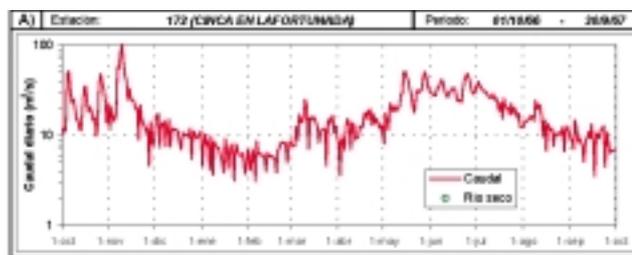


Figura 1.37: Modulación semanal típica de regulación hidroeléctrica en la estación 172 (Cinca en Lafortunada).

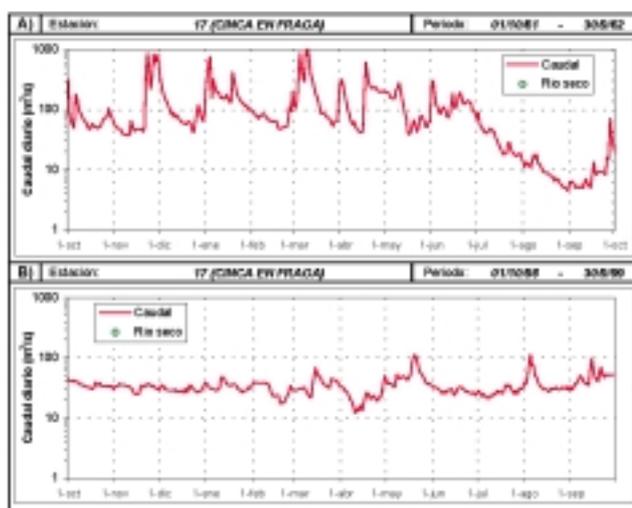


Figura 1.38: Hidrogramas diarios de la estación 17 del río Cinca en Fraga antes y después de la construcción de los embalses del Grado y Mediano

El tramo bajo del Cinca ha sufrido una modificación de su régimen hidrológico a partir de la construcción de los tregrandes embalses de la cuenca. En la Figura 1.35 se presenta el hidrograma diario de dos años hidrológicos de la estación 17 (Cinca en Fraga) antes y después de la construcción de los grandes embalses de El Grado y Mediano. Antes de su construcción era frecuente la existencia de caudales bajos en verano y después de su construcción el hidrograma presenta una menor oscilación debido a la propia regulación de los embalses y a los retornos de toda la zona regable. En otras ocasiones la regulación hidroeléctrica altera el régimen hidrológico con un ritmo semanal en el sentido de que los domingos de cada semana el caudal se reduce de forma destacada porque estos días no se turbinan con tanta intensidad debido a necesidades de consumo. En la Figura 1.37 se muestra el ejemplo de la estación 172 (Cinca en Lafortunada) en la que se pro-

duce esta modulación típica de la regulación hidroeléctrica y muy presente en la cabecera de los ríos pirenaicos.

1.3.2.1.15. Cuenca del Noguera Ribagorzana

El Noguera Ribagorzana drena una cuenca estrecha y alargada de 2.061 km². Su mayor cota es de 3.205 m y la menor no sobrepasa los 300 m. Su nacimiento se produce en el Macizo de la Maladeta y San Mauricio y tiene una dirección predominante norte-sur, desembocando en el Segre en las proximidades de Corbins. Durante la mayoría de su recorrido constituye el límite entre las provincias de Huesca y Lleida, excepto en su tramo final, que se realiza en la Provincia de Lleida. Los principales afluentes en la margen derecha son el Baliera (cuenca vertiente de 104 km²) y el río Guart. En la margen izquierda destaca el Noguera de Tor (240 km²). A su vez, este último tiene un afluente en su margen izquierda, que recoge parte de las aguas de la Sierra de San Mauricio, el río San Nicolau (64 km² de cuenca vertiente). La aportación total en régimen natural es 20 m³/s (639 hm³/año), según el PHE.

portamiento de tipo nivopluvial dada su situación en el Pirineo central. Este régimen se aprecia en la estación 137 (Noguera Ribagorzana en Pont de Suert) con su periodo de aguas altas entre abril y julio con el máximo en junio (Figura 1.39). El periodo de aguas bajas se presenta entre diciembre y marzo, coincidiendo con la época más fría, y el mes con menores caudales es febrero.

La cuenca del río Baliera en Noales presenta un régimen con un hidrograma semejante, aunque el periodo de aguas bajas es estival (Figura 1.39b). Esta diferencia en el mínimo con respecto al hidrograma que se registra en Pont de Suert se puede justificar por una menor importancia de la retención nival en la cuenca del Baliera.

El régimen nivopluvial fue el característico de todo el eje del Noguera Ribagorzana en condiciones naturales. En la estación de aforos situada en la desembocadura del río Noguera Ribagorzana (estación 97, situada en la Piñana) tomando los datos anteriores a la construcción de los embalses de Escales, Canelles y Santa Ana (Figura 1.39c) se reproduce un hidrograma semejante al de Pont de Suert. Sin embargo, si se toman los datos posteriores a la construcción de estos embalses y los canales de riego que llevan asociados, se tiene (Figura 1.39d) que el caudal que recorre el cauce disminuye, y que además la modulación es mucho menor, disponiéndose de un régimen diferenciado con respecto al que se debería esperar en condiciones naturales.

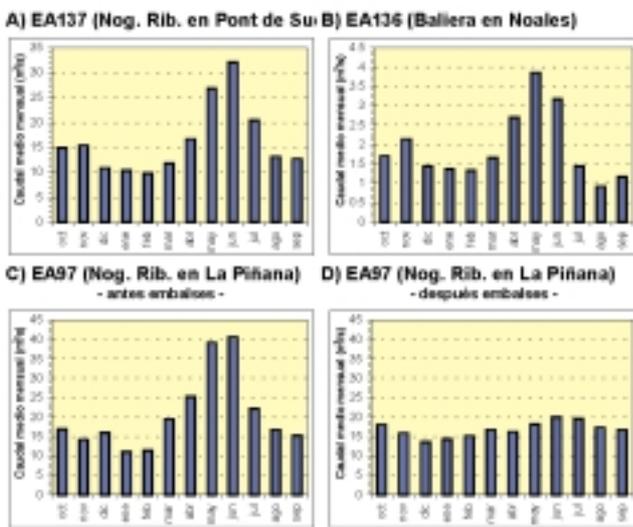


Figura 1.39: Hidrogramas medios mensuales característicos de la cuenca del Noguera Ribagorzana: a) estación 137 (Noguera Ribagorzana en Pont de Suert) en 40 años completos durante el periodo 1953/54-1997/97; b) estación 136 (Baliera en Noales) en 31 años completos durante el periodo 1965/66-1996/97; c) estación 97 (Noguera Ribagorzana en La Piñana) en 7 años completos antes de la construcción de los grandes embalses del eje de Noguera (11/1956-3/1955); y d) la estación anterior en 43 años completos después de la construcción de los embalses (4/1955-9/1999).

El régimen hidrológico natural de la cabecera de la cuenca del Noguera Ribagorzana responde a un com-

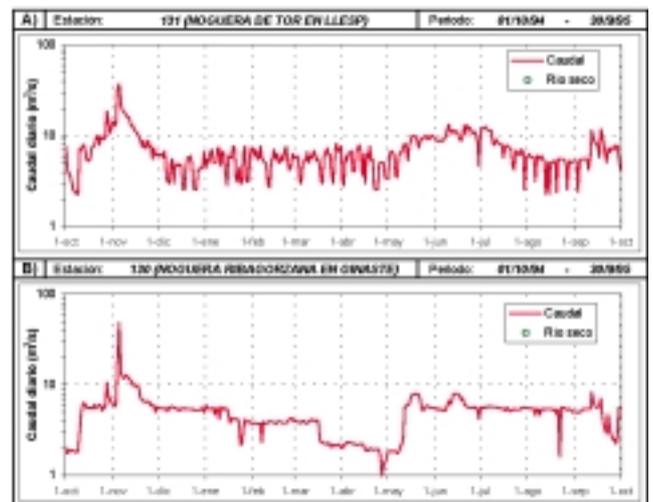


Figura 1.40: Hidrogramas diarios de la cabecera de la cuenca del Noguera Ribagorzana afectados por regulación hidroeléctrica: a) estación 131 (Noguera de Tor en Llesp); b) estación 130 (Noguera Ribagorzana en Ginasté).

El régimen diario presenta importantes modificaciones debido a las infraestructuras de regulación y de transporte. En la cabecera los aprovechamientos hidroeléctricos provocan variaciones importantes del caudal medio de los ríos en función de los lugares de toma y turbinación. Este efecto se encuentra presente en prácticamente todos los ríos de la cuenca. En la cabecera existen canales hidroeléctricos a lo largo del recorrido de los tres grandes ríos (Noguera Ribagorzana, Noguera de Tor y Baliera). En la Figura 1.40 se muestran hidrogramas típicos de estas zonas.

La situación del Noguera Ribagorzana en Ginasté (estación 130) responde a un cauce que se encuentra aguas abajo de un azud de derivación. El azud toma aguas hacia la central de Vilaller, con un caudal máximo de 7 m³/s. El hidrograma que se registra en Ginasté presenta un caudal menor que el que le correspondería en régimen natural y una modulación diaria afectada (Figura 1.40b).

En el río Noguera de Tor en Llesp (estación 131) no existe ningún canal hidroeléctrico paralelo y por ello el caudal es el que corresponde a la cuenca situada aguas arriba. Sin embargo, la modulación diaria se encuentra afectada detectándose una ritmicidad semanal puesto que los domingos no se turbinan el agua, recogiendo en los embalses (Figura 1.40a).

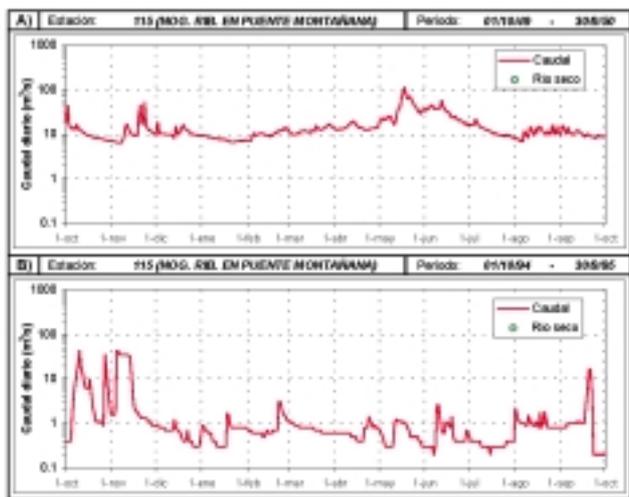


Figura 1.41: Hidrogramas diarios de la estación 115 (Noguera Ribagorzana en Puente Montañana) antes (a) y después (b) de la construcción del embalse de Escalles.

Una situación similar a la de Ginasté se detecta en la estación de aforos 115 del Noguera Ribagorzana en Puente Montañana. En el tramo del río Noguera desde el embalse de Escalles hasta el de Canelles, hay una derivación hidroeléctrica que turbinan en la central de

Puente Montañana con un caudal máximo de 28,5 m³/s. En la Figura 1.41a se muestra el hidrograma en régimen natural y en la Figura 1.41b se indica como el régimen se encuentra afectado mostrando un caudal de mucha menor magnitud que la que le correspondería en régimen natural y una modulación notablemente afectada.

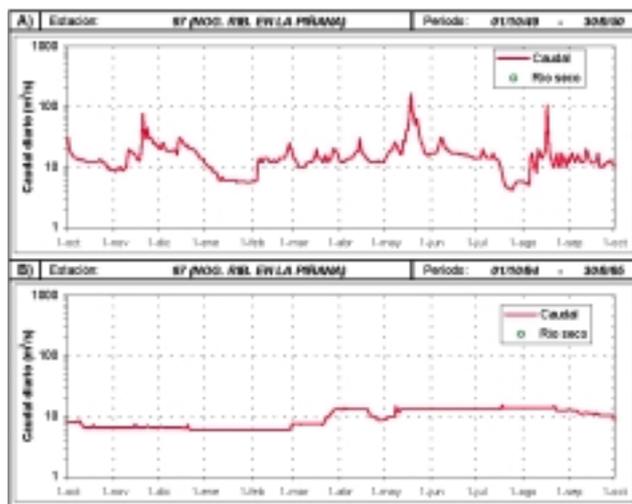


Figura 1.42: Hidrogramas diarios de la estación 97 (Noguera Ribagorzana en La Piñana) antes (a) y después (b) de la construcción de los embalses de Escalles, Canelles y Santa Ana.

El canal de Aragón y Cataluña toma sus aguas en el embalse de Santa Ana. La detración del agua hacia los canales de riego provocan una disminución de caudal en el cauce del río Noguera Ribagorzana aguas abajo de la presa, así como una alteración de la modulación diaria. En la Figura 1.42a se presenta el régimen diario en la estación de la Piñana antes de la construcción de los grandes embalses de regulación del río Noguera Ribagorzana y un hidrograma diario cuando estos embalses están en funcionamiento.

1.3.2.1.16. Cuenca del Noguera Pallaresa

La cuenca del Noguera Pallaresa discurre íntegramente por territorio catalán, cubre una extensión de 2.807 km² desde el eje pirenaico hasta el Segre en Camarasa, aguas arriba de Balaguer (Lleida). La cota mayor de su cuenca es 2.906 msnm y la menor no supera los 300 m. El nacimiento se produce en los Pirineos, entre Aigües Tortes y la Sierra de Moteixo.

Los principales afluentes en la margen derecha son el arroyo de San Mauricio y el río Flamisell (cuenca vertiente de 349 km²). En la margen izquierda destacan los ríos Noguera de Cardós (412 km²), Romandrín, Careu,

y Abella. El río Noguera de Cardós tiene dos afluentes principales: el río Lladorré o Valfarrera en la margen derecha (137 km²) y el río Tor en la margen izquierda (60 km²). La aportación total en régimen natural de la cuenca es, según el PHE, 40,3 m³/s (1.279 hm³/año).

El hidrograma medio mensual del río Noguera Pallaresa en condiciones no afectadas presenta un carácter nivopluvial con el periodo de aguas altas entre abril y julio con el máximo en mayo o junio. Existen dos periodos de aguas bajas, uno entre diciembre y febrero con el mínimo en enero, y el otro en agosto y septiembre. Los hidrogramas del tramo medio y alto del Noguera Pallaresa (Figuras 1.43a, b y c) presentan este hidrograma tipo. En los afluentes del tramo medio como el Flamisell el mínimo estival presenta caudales más bajos que el mínimo invernal debido a sus condiciones menos frías que la cabecera (Figura 1.43d).

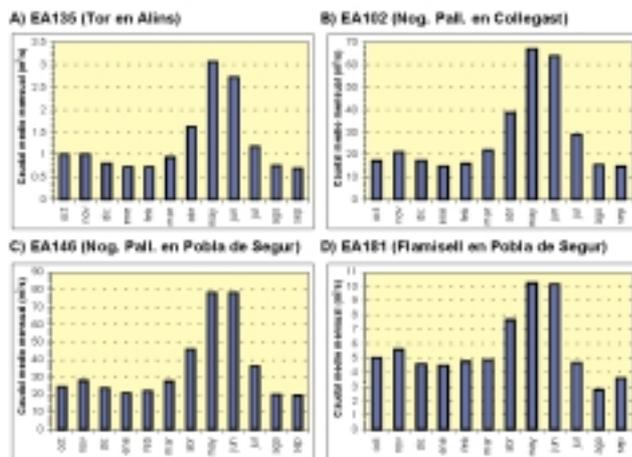


Figura 1.43: Hidrogramas medios mensuales característicos del régimen natural de la cuenca del Noguera Pallaresa: a) estación 135 (Tor en Alins) en 29 años completos del periodo 1965/66-1998/99; b) estación 102 (Noguera Pallaresa en Collegast) en 42 años completos del periodo 1945/46-1991/92; c) estación 146 (Noguera Pallaresa en Pobla de Segur) en 37 años completos del periodo 1952/53-1991/92; d) estación 181 (Flamisell en Pobla de Segur) en 22 años completos del periodo 1965/66-1991/92.

La alteración del hidrograma por la actividad hidroeléctrica tiene varios efectos. Un ejemplo es el río Noguera de Cardós en Lladorre, que se encuentra aguas arriba de una derivación hacia la central de Llavorsí, con 20 m³/s de caudal. En la Figura 1.44 se muestran los hidrogramas de dos años hidrológicos de la estación de aforos situada en Lladorré, uno antes de la construcción de la central y el otro después. Se observa claramente la disminución del caudal circulante, así como la modificación de la modulación del régimen natural.

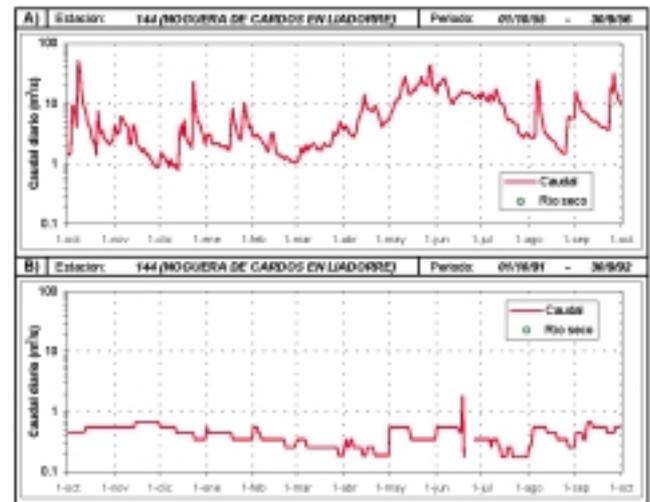


Figura 1.44: Hidrogramas diarios de la estación 144 (Noguera de Cardós en Lladorré) antes (a) y después (b) de la construcción de la central hidroeléctrica de Llavorsí.

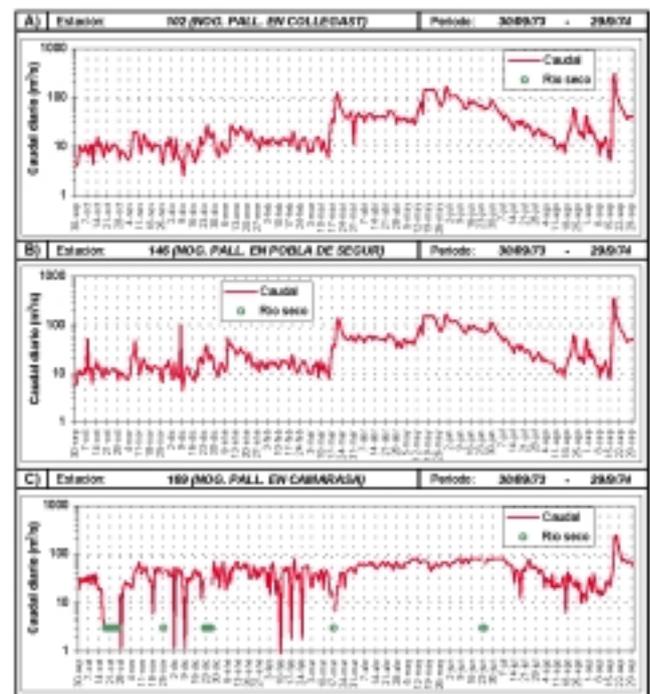


Figura 1.45: Efectos de la regulación hidroeléctrica en el río Noguera Pallaresa.: a) estación 102 (Noguera Pallaresa en Collegast); b) estación 146 (Noguera Pallaresa en Pobla de Segur); y c) estación 169 (Noguera Pallaresa en Camarasa). Los ejes verticales coinciden con los domingos.

En todo del eje del río Noguera Pallaresa, así como en el Flamisell se deja sentir la regulación hidroeléctrica. En la estación de Collegats y Pobla de Segur (Figuras 1.43a y 1.43b) se detecta que los domingos el caudal que circula por el río se reduce. Este hecho es más notable en época invernal, puesto que los caudales cir-

culantes son más bajos. El embalse de Camarasa supone una intensa actividad hidroeléctrica que ha llegado a secar el cauce del río. Además modula el agua para abastecer en verano a los regadíos del Canal Auxiliar de Urgell. En la Figura 1.45c se incluye el hidrograma de la estación de aforos situada aguas abajo de Camarasa y que pone claramente de manifiesto los efectos antes citados.

1.3.2.1.17. Cuenca del Segre

La cuenca del Segre propiamente dicha, sin incluir a la del Cinca, ni sus afluentes principales Ribagorzana y Pallaresa, ocupa una extensión de 8.167 km², incluyendo su cabecera en Francia y la zona del Valira en Andorra.

El Segre desciende desde la zona oriental pirenaica hacia el Ebro recogiendo por su margen derecha los notables afluentes antes indicados y por su margen izquierda los de menor entidad que proceden de la divisoria de la cuenca del Ebro con la de las cuencas internas de Cataluña.

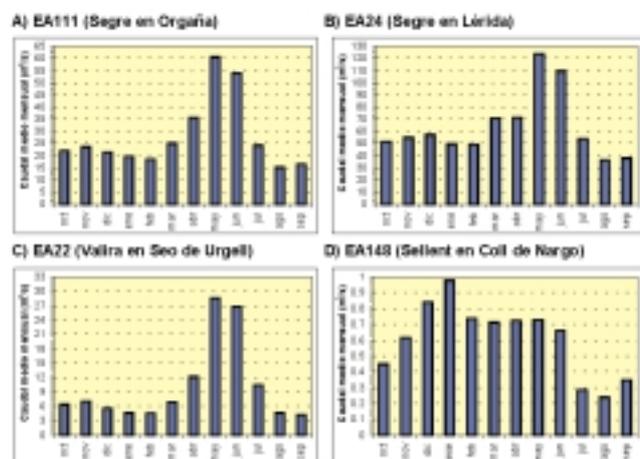


Figura 1.46: Hidrogramas medios mensuales característicos del régimen natural de la cuenca del Segre: a) estación 111 (Segre en Orgañá) en 45 años completos del periodo 1950/51-1998/99; b) 24 (Segre en Lérida) en 15 años completos anteriores a la construcción de los grandes embalses de la cuenca (1/1913-3/1956); c) estación 22 (Valira en Seo de Urgell) en 52 años completos del periodo 1913/14-1998/99; y d) estación 148 (Sellent en Coll de Nargó) en 30 años completos del periodo 1957/58-1997/98.

Los principales afluentes en la margen derecha son el Carol (cuenca vertiente de 157 km²), el Durán, el Valira (562 km²), la Riera de la Guardia, el río Cabo, el Sellent (70 km²), el Rialp, el Boix, el Noguera Pallaresa y el Noguera Ribagorzana. En la margen izquierda los afluentes tienen menor cuenca vertiente y menor cota que los de la margen derecha. Destacan por su mayor

cuenca los ríos Vansa, Ribera Salada, Llobregos, Sío (501 km²), Corp (537 km²) y Set.

La aportación total de esta cuenca en régimen natural es, según el PHE, 88 m³/s (2.790 hm³/año).

El régimen medio mensual correspondiente a las condiciones naturales ofrece un hidrograma nivopluvial con una incidencia de la retención nival menos acusada que en las cuencas situadas en el sector central pirenaico. El periodo de aguas altas en las estaciones de cabecera y del eje del Segre se presenta entre abril y junio con el máximo en mayo. Se detectan dos periodos de aguas bajas. Uno coincide con la época invernal y se registra entre diciembre y febrero con el mínimo en febrero y el otro se presenta en agosto y septiembre. El mínimo absoluto se presenta en verano en el cauce del Segre (Figuras 1.46a y b) y algún cauce pirenaico como el Valira lo registra en invierno debido a la mayor altitud de su cuenca vertiente (Figura 1.46c).

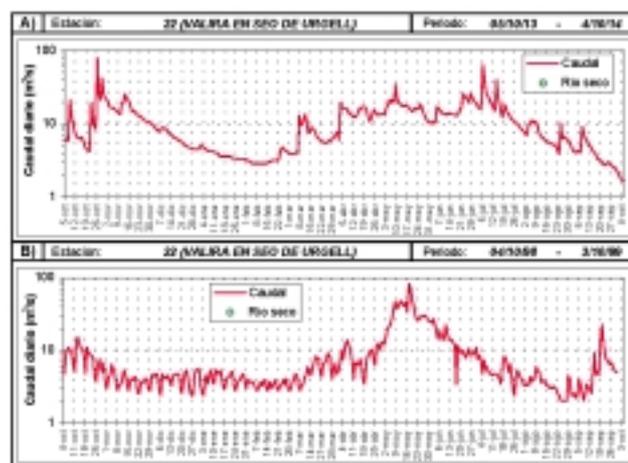


Figura 1.47: Efectos de la regulación hidroeléctrica en el río Valira. Hidrograma de la estación 22 (Valira en Seo de Urgell) antes (a) y después (b) de la construcción de las centrales hidroeléctricas de Santa Lucía y Anseral.

Existe régimen hidrológico claramente diferenciado con el anterior y que es propio de los ríos del tramo medio del Segre y que los representa el Sellent (Figura 1.46d). En esta cuenca el efecto de la retención nival no es importante y cabe destacar que el régimen ha de ser semejante al pluviométrico. El periodo de aguas altas se presenta entre diciembre y junio con el máximo en enero y el periodo de aguas bajas entre julio y septiembre con el mínimo en agosto.

El régimen hidrológico diario se encuentra poco afectado en la cabecera del Segre hasta el embalse de

Oliana. Únicamente el tramo bajo del río Valira presenta alguna señal de actividad hidroeléctrica que se presenta en el cauce a partir de las centrales de Santa Lucía y de Anseral (Figura 1.47a).

El régimen diario del Segre pierde sus características naturales a partir del embalse de Oliana hasta la desembocadura. Este embalse, junto con el recién construido de Rialp, son seguidos por los canales de Urgell y el canal auxiliar de Urgell, además las grandes centrales hidroeléctricas que se emplazan en este tramo del Segre alteran notablemente el régimen del río.

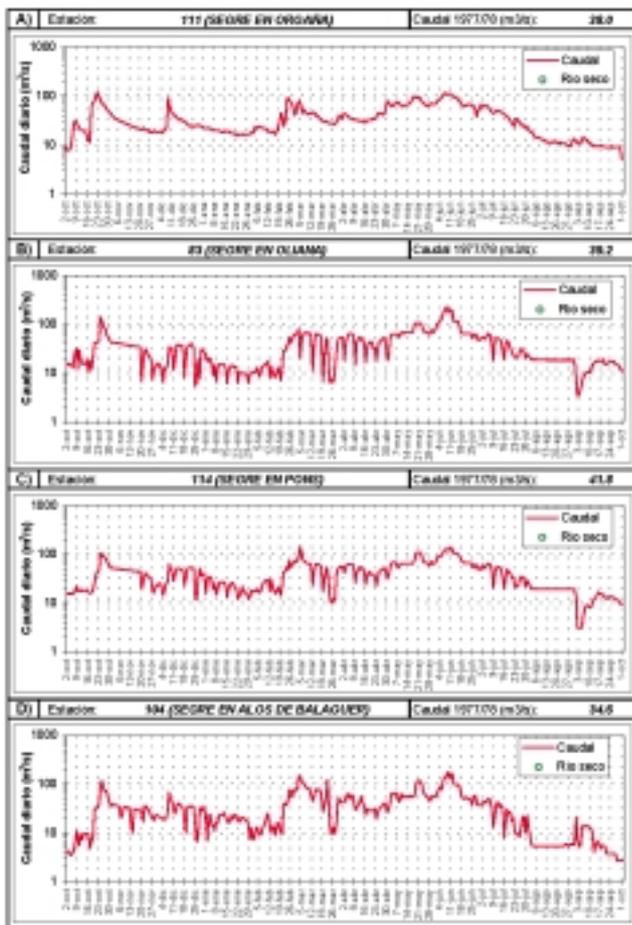


Figura 1.48: Alteración del régimen hidrológico en el cauce del Segre en el año 1977/1978: a) estación 111 (Segre en Orgañá); b) estación 83 (Segre en Oliana); c) estación 114 (Segre en Pons); d) estación 104 (Segre en Alós de Balaguer). Las líneas verticales corresponden a los domingos del año.

En la Figura 1.48 se muestra un recorrido a lo largo del cauce del Segre en las distintas estaciones de aforos en el año 1977/1978. El caudal en régimen natural queda representado por la estación de Orgañá (Figura 1.48a). El embalse de Oliana y el aprovechamiento hidroeléctrico asociado a su presa alteran el hidrograma manifestándose descensos de caudal los domingos de cada

semana (Figura 1.48b). Este hidrograma se mantiene en Pons de forma semejante (Figura 1.48c). En Alós de Balaguer se ha producido la detracción de aguas hacia el canal de Urgell, hecho que reduce el caudal circulante (Figura 1.48d). En la estación de Camarasa se ha recibido la aportación del Noguera Pallaresa, que es un río regulado por actividad hidroeléctrica y que facilita la modulación para los riegos del canal auxiliar de Urgell. Por este motivo el mínimo estival no se presenta en Camarasa (Figura 1.48e). En la estación de Balaguer el caudal se reduce considerablemente (Figura 1.48f) debido a que desde el embalse de San Lorenzo de Mongay, situado aguas arriba se deriva el agua hacia el canal auxiliar de Urgell y el canal de la central de Balaguer, con una capacidad máxima de 50 m³/s. Las estaciones de Lérida y Serós (Figuras 1.48g y h) recogen las aguas del Noguera Ribagorzana y, los retornos de los regadíos de Urgell y La Piñana.

El efecto de los canales de riego no sólo afecta al cauce en los que se produce la toma de agua, sino también a los cauces que atraviesa el canal. El canal de Urgell recorre el tramo medio de las cuencas de los ríos Sío y Corp, a los que se producen vertidos a los cauces que provocan ascensos y descensos muy bruscos del caudal (Figura 1.49a) y caudales de base muy constantes, como es el caso del hidrograma del río Corp (Figura 1.49b).

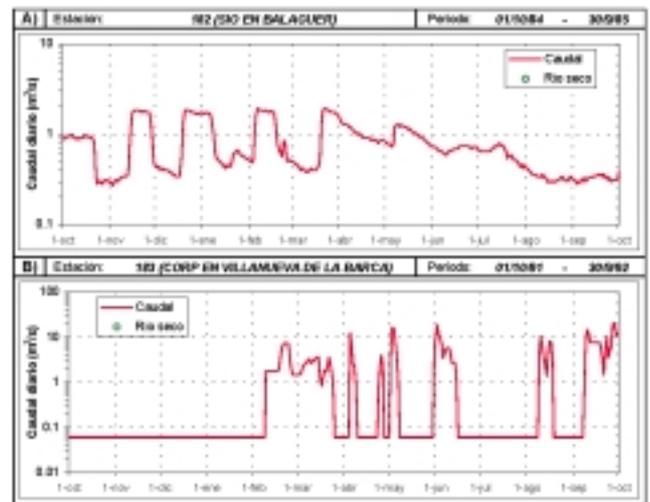


Figura 1.49: Efectos de los vertidos del canal de Urgell en los hidrogramas de los ríos Sío (a) y Corp (b).

1.3.2.1.18. Cuenca del Ciurana

Esta cuenca drena hacia el Ebro un sector de la Cadena Costera Catalana. Ocupa una extensión de 613 km² íntegramente situados en la comunidad de Cataluña. Su

nacimiento se produce en la vertiente sudoeste de la sierra de Montsant y discurre en dirección NE-SO hasta su desembocadura en el río Ebro en las proximidades de Mora de Ebro. El río presenta dos afluentes principales; el río Montsant en su margen derecha, y el río Asmat en su margen izquierda.

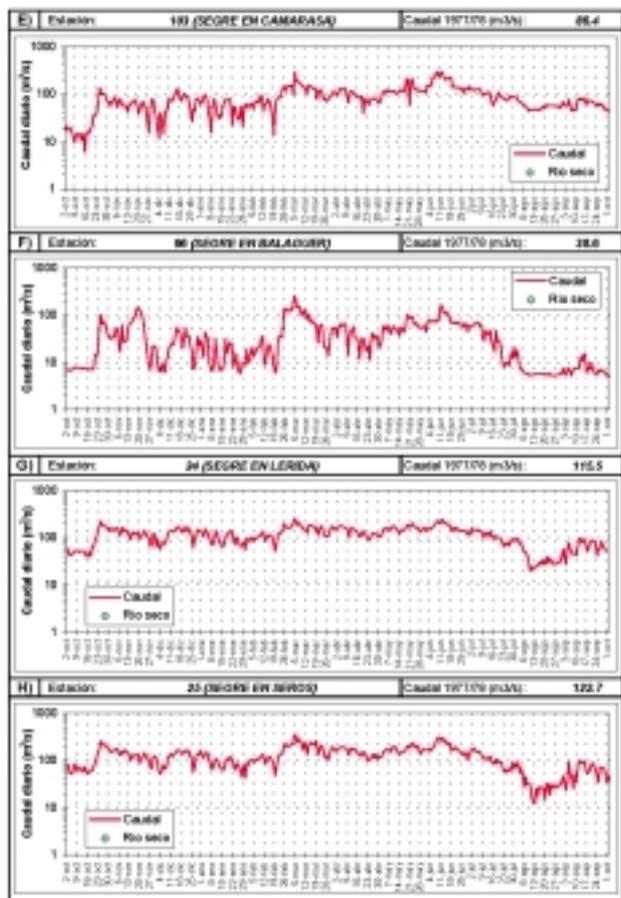


Figura 1.50: Alteración del régimen hidrológico en el cauce del Segre en el año 1977/1978: e) estación 103 (Segre en Camarasa); f) estación 96 (Segre en Balaguer); g) estación 24 (Segre en Lérida); h) estación 25 (Segre en Seros). Las líneas verticales corresponden a los domingos del año.

El recurso total en régimen natural generado en esta cuenca es de 1,5 m³/s (48,2 hm³/año). La demanda a satisfacer es de 17 hm³/año que se destinan para el abastecimiento de 5.459 habitantes (0,47 hm³/año) y riego de 3.654 ha (16,53 hm³/año).

Se desconoce con precisión el régimen hidrológico de la cuenca del Ciurana tanto en régimen natural como en real puesto que no hay ninguna serie histórica de caudales. Los dos embalses existentes en la cuenca suponen sin duda alguna una modificación importante del régimen hidrológico. En el caso del embalse de Guiamets se dispone de series de la estación 132 (Asmat en Guiamets) antes y después de la construc-

ción del embalse. Antes de su construcción el río se encontraba seco con frecuencia (Figura 1.51a), sin embargo, con el embalse no se detectan días con caudal nulo (Figura 1.51b).

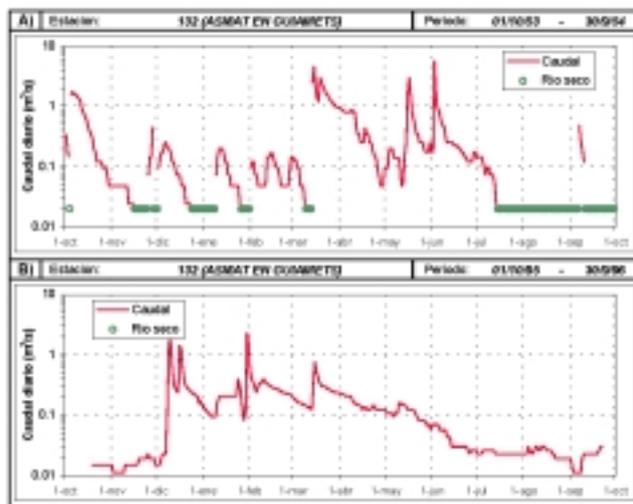


Figura 1.51: Modificación en el régimen fluvial del río Asmat tras la puesta en servicio del embalse de Guiamets.

1.3.2.1.19. Cuenca del Canaleta

La del Canaleta es la más oriental de las cuencas de la margen derecha del Ebro. Está vertebrada por un único cauce principal que desde los puertos de Beceite - Tortosa describe un arco en el sentido de giro de las agujas del reloj hasta el Ebro. Su extensión es de tan solo 127 km², totalmente incluidos en la provincia de Tarragona.

1.3.2.1.20. Cuenca del Matarranya

La del Matarranya es una cuenca de características mediterráneas que se encuentra en la zona oriental de la margen derecha del Ebro, compartiendo territorio de las comunidades de Aragón, Cataluña y, en menor medida, Valencia. Ocupa una extensión de 1.738 km².

Esta cuenca es la principal drenante de los Puertos de Beceite, sobre los que configura su cabecera, desde ellos se alarga hacia el Norte hasta descargar en el embalse de Ribarroja, ya en el Ebro. En su margen izquierda el río Matarranya recoge las aguas de los ríos Pena y Tastavins. En su margen derecha desembocan los ríos Ulldemo y Algas.

El recurso hídrico total generado en la cuenca del Matarranya es, según el PHE, 4,9 m³/s (156,6 hm³/año).

El hidrograma medio mensual del río Matarraña en condiciones no afectadas por las actividades humanas presenta un periodo de aguas altas entre octubre y mayo con dos máximos, uno de ellos se presenta en diciembre y el otro en marzo o abril. El periodo de aguas bajas se presenta entre junio y septiembre con el mínimo en agosto. Este hidrograma se registra en todos los ríos de la cuenca. En la Figura 1.52a se muestra, a modo de ejemplo el de la estación del río Matarraña en Beceite.

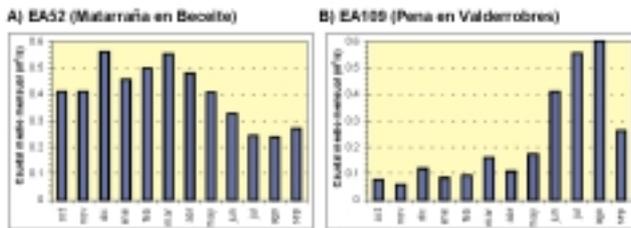


Figura 1.52: Hidrogramas medios mensuales característicos de la cuenca del Matarraña: a) estación 52 (Matarraña en Beceite) en 42 años hidrológicos del periodo 1947/48-1998/99; b) estación 109 (Pena en Valderrobres) en 29 años completos del periodo 1969/70-1998/99.

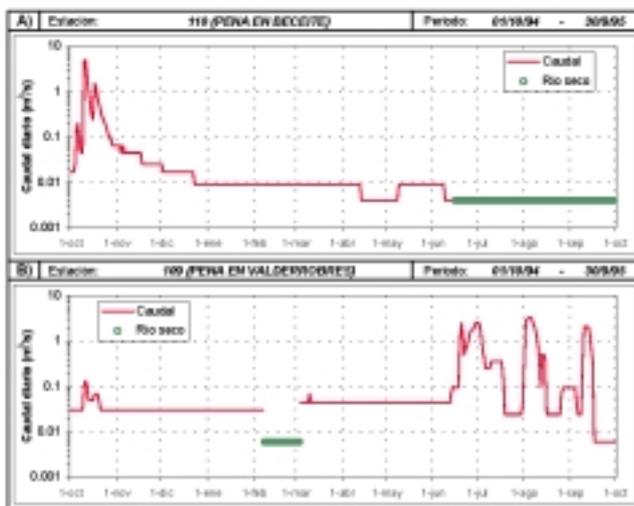


Figura 1.53: Efectos de la regulación del embalse de Pena: a) antes del embalse (estación 110 de río Pna en Beceite); y b) después del embalse (estación 109 del río Pena en Valderrobres).

El hidrograma medio mensual se encuentra afectado aguas abajo del embalse de Pena por la regulación que se produce en este cauce para los riegos de verano. En la Figura 1.52b se presenta el hidrograma de la estación del río Pena en Valderrobres, situada inmediatamente aguas abajo de la presa y en la Figura 1.53 se muestra el efecto de la regulación del embalse de Pena antes y después de la presa.

1.3.2.1.21. Cuenca del Guadalope

La del Guadalope es una de las grandes cuencas de la margen derecha del Ebro, con 3.866 km² repartidos entre las comunidades de Aragón y de Valencia. Su nacimiento se produce en el extremo sureste de la rama aragonesa de la Cordillera Ibérica, entre la Sierra de Sant Just y Monte Turmell. Desemboca al río Ebro en el embalse de Mequinenza, en las proximidades de Caspe. Sus principales afluentes son los ríos Fortanete, Bordón y Bergantes en su margen derecha, y el río Guadalopillo (386 km²) en su margen izquierda.

Los últimos kilómetros del Guadalope quedaron abandonados tras la construcción del embalse de Mequinenza. Allí existe un tramo de cauce entre diques que recoge los retornos de riego de la zona de Rimer (Caspe, Zaragoza) y los vertidos del núcleo urbano caspolino.

En la cuenca del Guadalope se genera un recurso total de 9,9 m³/s (312,6 hm³/año). El régimen mensual de la cabecera del Guadalope presenta un periodo de agua altas de enero a junio con el máximo en abril y el periodo de aguas bajas de julio a septiembre con el mínimo en septiembre (Figura 1.54a). En los ríos del tramo medio de la cuenca (P.ej.: el Guadalopillo) el periodo de aguas altas es un poco más amplio, entre diciembre y junio, y el mes con el máximo caudal medio mensual no se encuentra claramente definido (Figura 1.54b). El río Guadalope en Alcañiz, antes de la construcción del embalse de Calanda, presenta un hidrograma medio mensual (Figura 1.54c) con una combinación de los dos hidrogramas tipo anteriores. Finalmente, destacan las importantes modificaciones del régimen del río en las condiciones actuales debido a los embalses y canales de riego. A modo de ejemplo se presenta en la Figura 1.54d el hidrograma medio mensual obtenido aguas abajo de la presa de Santolea y en el que se detecta la inversión del hidrograma medio mensual para satisfacer los regadíos de aguas abajo.

Los numerosos embalses construidos en la cuenca del Guadalope tienen un destacado efecto en el régimen hidrológico diario de los cauces. A modo de ejemplo, en las Figuras 1.55 y 1.56 se muestra la alteración de los hidrogramas diarios provocada por los embalses de Santolea en el río Guadalope y Galipué en el río Guadalopillo.

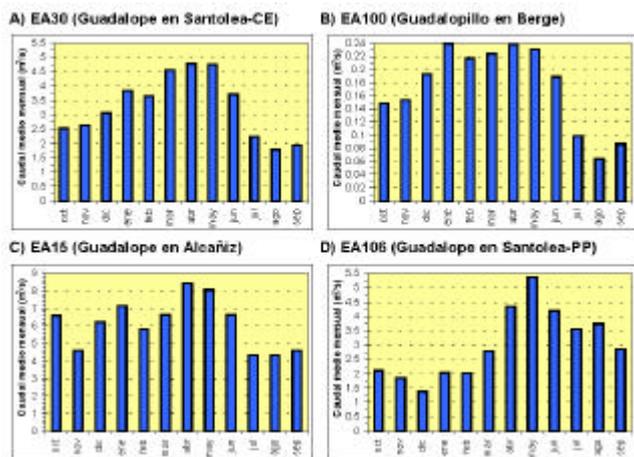


Figura 1.54: Hidrogramas medios mensuales característicos de la cuenca del Guadalope: a) estación 30 (Guadalope en Santolea) en 39 años completos del periodo 1951/52-1998/99; b) estación 100 (Guadalopillo en Berge) en 37 años completos del periodo 1959/60-1996/97; c) estación 15 (Guadalope en Alcañiz) antes de la construcción del embalse de Calanda (periodo 1/1913-12/1981); d) estación 106 (Guadalope en Santolea-PP) en 47 años completos del periodo 1948/49-1997/98.

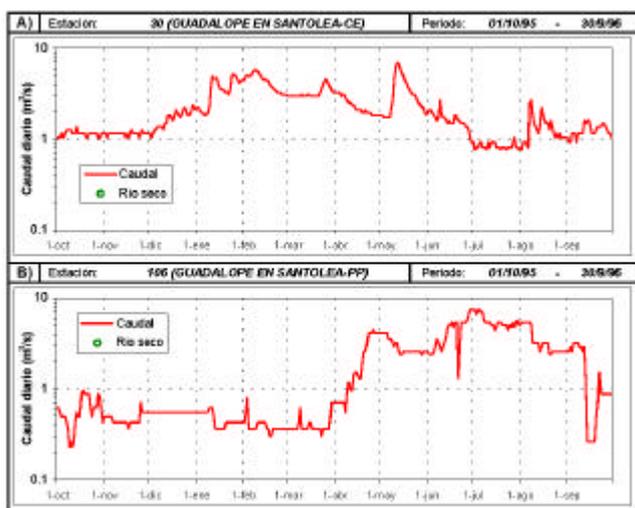


Figura 1.55: Efectos de la regulación del embalse de Santolea: a) aguas arriba del embalse (estación 30 del río Guadalope en Santolea CE); y b) aguas abajo del embalse (estación 106 del río Guadalope en Santolea PP).

Los principales embalses de la cuenca del Guadalope se han construido desde 1927, con el embalse de Gallipué, hasta 1989, con la construcción del embalse de Caspe. La estación de aforos del río Guadalope en Alcañiz aporta información del régimen anterior a la regulación del río. En la Figura 1.57a se presenta el hidrograma del año hidrológico 1915/16 en el que se identifican agotamientos del río que resultan coherentes con un régimen no afectado. No resultaba infre-

cuenta que en estas circunstancias el río se secase. En el hidrograma del año 1992/93 Figura 1.57b) la situación es claramente distinta. El caudal circulante es mucho menor aunque el río tan solo se seca en escasas ocasiones. El régimen responde únicamente a las grandes lluvias o a periodo invernales muy húmedos en los que los embalses se encuentran llenos.

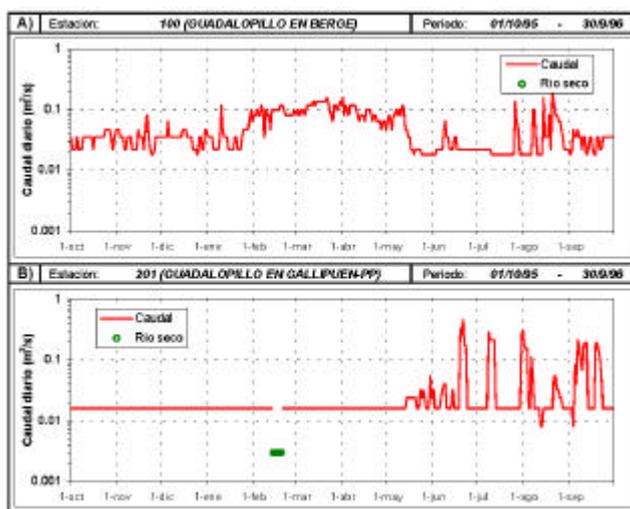


Figura 1.56: Efectos de la regulación del embalse de Gallipué: a) aguas arriba del embalse (estación 100 del río Guadalopillo en Berge); y b) aguas abajo del embalse (estación 201 del río Guadalopillo en Gallipué-PP).

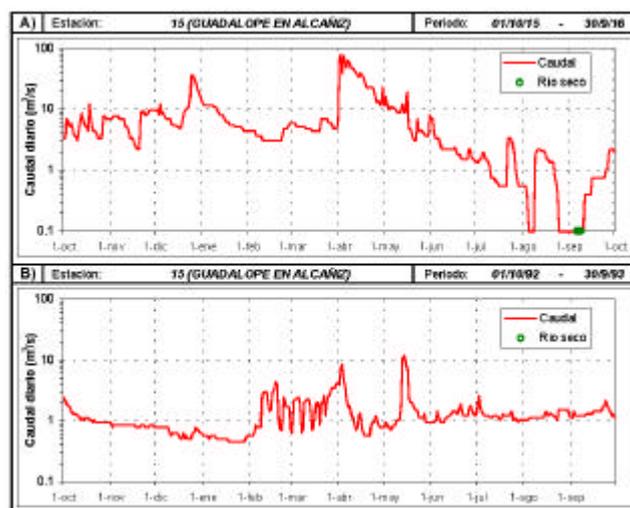


Figura 1.57: Efectos de la regulación del río Guadalope en la estación 15 de Alcañiz antes (a) y después (b) de la construcción de los principales embalses de la cuenca.

1.3.2.1.22. Cuenca del Regallo

La pequeña cuenca del Regallo, con una superficie de 394 km², se encuentra en el valle del Ebro entre las cuencas principales del Guadalope al Este y del Martín al Oeste. Sus características naturales están difuminadas por la actividad agrícola (Valmuel) y el requerido trasvase de aguas desde el Guadalope para llevarlas cabo; también está influenciada por los vertidos de la zona industrial de Andorra (Teruel).

1.3.2.1.23. Cuenca del Martín

La cuenca del Martín, con una extensión de 2.092 km², incluyendo la zona endorreica de La Hoya del Castillo en el Norte, se encuentra en la margen derecha del Ebro dentro de territorio aragonés, ocupando parte de la provincia de Teruel y un poco de la de Zaragoza. Su cabecera se encuentra en la más tradicional zona minera del carbón turolense (Utrillas, Escucha, Montalbán), desde allí se dirige hacia el Norte adentrándose en el valle del Ebro para regar las vegas de Albalate del Arzobispo e Híjar (Teruel) y Escatrón (Zaragoza). Su principal afluente se encuentra en su margen derecha, es el río Escuriza.

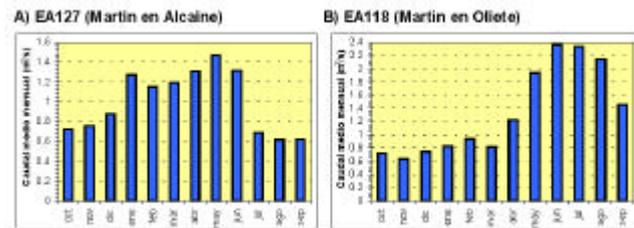


Figura 1.58: Hidrogramas medios mensuales característicos de la cuenca del Martín: a) estación 127 (Martín en Alcaine) en 31 años completos del periodo 1963/64-1996/97; b) estación 118 (Martín en Oliete) en 47 años completos del periodo 1947/48-1996/97.

El recurso hídrico total en régimen natural según el PHE es 2,9 m³/s (97,7 hm³/año). El hidrograma medio mensual de la cabecera del Martín presenta un periodo de aguas altas entre enero y junio con el máximo en mayo. Los meses con menor caudal medio mensual son agosto y septiembre (Figura 1.58a). La regulación producida en el embalse de Cueva Foradada modifica de forma destacada el hidrograma medio mensual, como puede verse en la Figura 1.58b

1.3.2.1.24. Cuenca del Aguasvivas

A caballo del límite provincial entre Teruel y Zaragoza se encuentra la cuenca del Aguasvivas, que ocupa una

extensión de 1.311 km². Su cabecera se encuentra en la Rama Aragonesa de la Cadena Ibérica compartiendo divisoria de aguas con los ríos Huerva y Martín y desde allí se orienta hacia el Noreste hasta el Ebro donde desemboca en las proximidades de La Zaida.

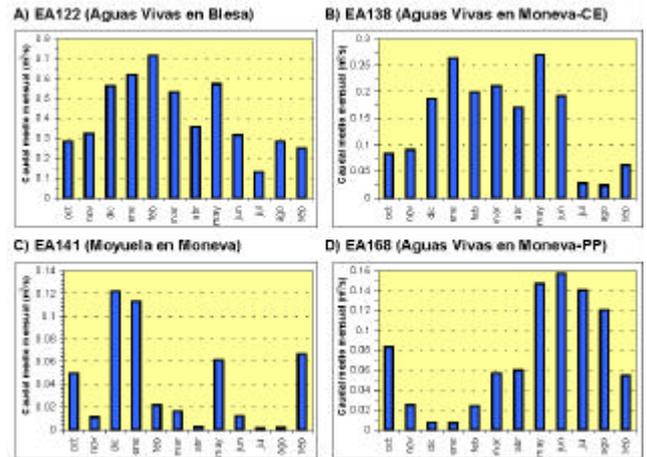


Figura 1.59: Hidrogramas medios mensuales característicos de la cuenca del río Aguas Vivas: a) estación 122 (Aguas Vivas en Blesa) en los 18 años completos anteriores a la construcción del canal alimentador (10/1952-1/1971); b) estación 138 (Aguas Vivas en Moneva-CE) en 34 años completos del periodo 1951/52-1991/92; c) estación 141 (Moyuela en Moneva) en 14 años completos del periodo 1951/52-1970/71; y d) estación 168 (Aguas Vivas en Moneva-PP) en 24 años hidrológicos durante el periodo 1972/73-1996/97.

Sus principales afluentes son los ríos Moyuela y el río Cámaras, ambos en la margen derecha.

El recurso total en régimen natural se evalúa en el PHE en 1,5 m³/s (46,2 m³/s).

El régimen hidrológico mensual viene representado por los ríos de cabecera de la cuenca. El periodo de aguas altas se presenta entre diciembre y junio con dos máximos, uno en invierno (entre diciembre y febrero) y otro en primavera (mayo). El periodo de aguas bajas se presenta entre julio y septiembre. En las Figuras 1.59a, b y c se muestran los hidrogramas tipo de la cabecera del Martín.

El río Moyuela tiene un régimen muy poco regulado puesto que el río pierde agua hacia el acuífero Jurásico y Cretácico de la Cubeta de Oliete. Esta infiltración provoca que en la estación de aforos del río Moyuela en Moneva (Figura 1.59c) únicamente se detecten los episodios con lluvias más importantes. Esta infiltración tiene lugar también un amplio recorrido del río Aguas Vivas arriba de la presa de Moneva provocan-

do que el caudal registrado en la estación de cola del embalse presenta en numerosos días el cauce seco.

La regulación del embalse de Moneva para regadío modifica el régimen aguas debajo de la presa. En la Figura 1.59d se muestra el hidrograma del régimen en este tramo. El régimen presenta sus máximos en época estival para atender a los regadíos de la zona.

La construcción del canal alimentador ha alterado el cauce del río Aguas Vivas entre las localidades de Blesa y Moneva. El caudal medio de la estación de Blesa antes de la construcción del canal es 0,41 m³/s (18 años completos de medidas), mientras que después de su puesta en funcionamiento circulan 0,03 m³/s (26 años completos). En la Figura 1.60 se muestra la modificación en el hidrograma diario después de la construcción del canal alimentador.

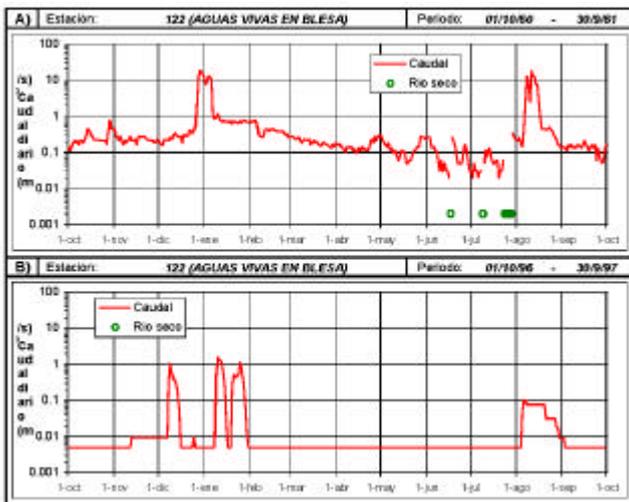


Figura 1.60: Régimen diario en la estación 122 (Aguas Vivas en Blesa) antes (a) y después (b) de la construcción del canal alimentador al embalse de Moneva.

1.3.2.1.25. Cuenca del Ginel

La pequeña cuenca del Ginel, con una extensión de tan solo 77 km², se encuentra en plena zona central de la margen derecha de la cuenca del Ebro. En su interior se ha catalogado un humedal (La Salada) de importancia internacional.

El manantial de Mediana constituye el nacimiento del río Ginel. Desde 1978 hasta 1997 se han tomado 59 medidas de caudal (Figura 1.61) con un caudal medio de 137 l/s.

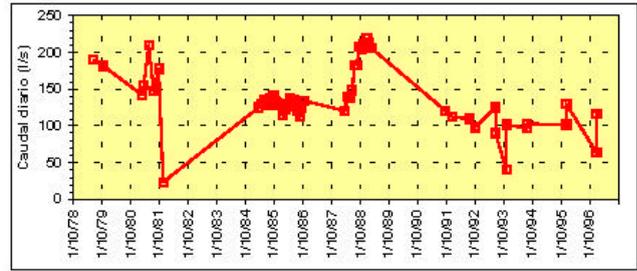


Figura 1.61: Caudal del Manantial de Mediana.

1.3.2.1.26. Cuenca del Huerva

La cuenca del río Huerva, estrecha y alargada, ocupa una extensión de 1.062 km². Sitúa su cabecera en el corazón de la Rama Aragonesa de la Cadena Ibérica y, desde allí, se dirige hacia el Ebro al que entrega su escaso caudal en Zaragoza. No cuenta con afluentes de importancia.

El recurso hídrico generado en la cuenca en régimen no afectado según el PHE es 1,5 m³/s (46,8 hm³/año).

El río Huerva presenta su periodo de aguas altas entre enero y junio con dos máximos, uno invernal en enero y otro primaveral en abril o mayo (Figura 1.62a). Este hidrograma se presenta desde la cabecera del río Huerva hasta aguas abajo del embalse de Mezalocha. El aporte de aguas del Canal Imperial en el tramo final del río supone una alteración del hidrograma mensual (Figura 1.62b) así como un caudal medio notablemente mayor que el que se esperaría en condiciones naturales.

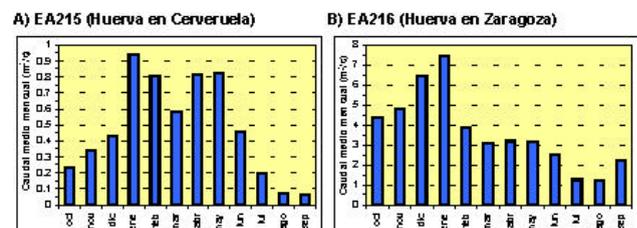


Figura 1.62: Hidrogramas medios mensuales del río Huerva: a) estación 215 (Huerva en Cerveruela) en 11 años completos del periodo 1981/82-1996/97; b) estación 216 (Huerva en Zaragoza) en 20 años completos del periodo 1976/77-1996/97.

El régimen hidrológico diario se encuentra afectado desde el embalse de las Torcas hasta Zaragoza. La regulación de los embalses y las detracciones hacia acequias laterales modifican el hidrograma manteniendo caudales muy reducidos y constantes durante el año

exceptuando los periodos de desembalse (Figura 1.63b y c).

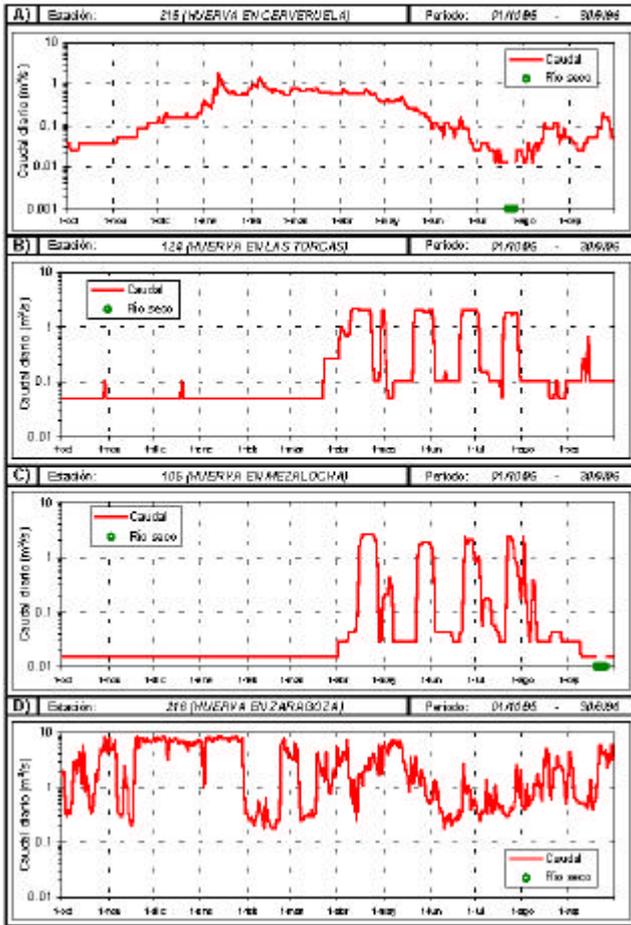


Figura 1.63: Hidrograma diario del año hidrológico 1995/96 en las estaciones de aforos del cauce del río Huerva: a) estación 215 (Huerva en Ceriveruela); b) estación 124 (Huerva en Las Torcas) afectada por el embalse de las Torcas; c) estación 105 (Huerva en Mezalocha) afectada por el embalse de Mezalocha; y d) estación 216 (Huerva en Zaragoza) afectada por el vertido del Canal Imperial de Aragón.

En la entrada del río en Zaragoza el Canal Imperial de Aragón vierte aguas al río con el doble propósito de eliminar sobrantes del canal y sanear el cauce. El régimen hidrológico queda de nuevo alterado. El caudal medio en este tramo es mucho mayor que aguas arriba y la modulación mensual está supeditada a la propia explotación del canal.

1.3.2.1.27. Cuenca del Jalón

La del Jalón es la mayor cuenca de las de la margen derecha del Ebro. Ocupa una extensión de 9.647 km², de los que 2.576 corresponden a su principal subcuenca, la del Jiloca, y 1.545 a la del Piedra.

Mayoritariamente ocupa territorio aragonés, aunque su cabecera también se extiende por Castilla - León (provincia de Soria) y Castilla - La Mancha (Guadalajara). En su interior, entre los valles del Piedra y del Jiloca, se encuentra la zona endorreica de Gallocanta, cuya superficie no ha sido incluida en las cifras ofrecidas. Los afluentes de la margen izquierda del río Jalón son los ríos: Nájima, Deza o Henar, Manubles y el río Aranda. En la margen derecha desembocan los ríos: Blanco, Piedra, Jiloca, Perejiles, Grío y Alpartir o Mediano.

El río Piedra tiene dos afluentes principales, el Mesa en su margen izquierda y el Ortiz en su margen derecha. Estos afluentes desembocan en el Piedra entre Nuévalos y Carenas, donde se construyó el embalse de la Tranquera.

El río Jiloca tiene un afluente principal por la derecha, el río Pancrudo, que aporta sus aguas entre Calamocha y Luco de Jiloca (Teruel).

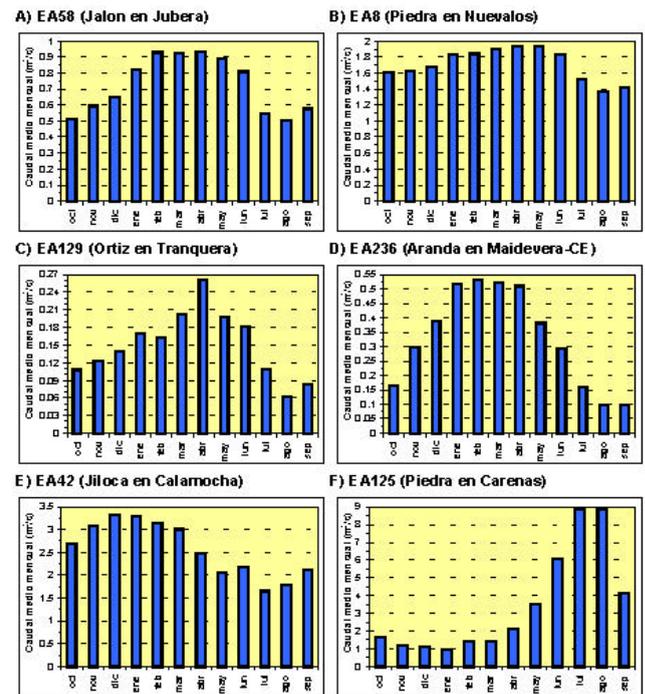


Figura 1.64: Hidrogramas medios mensuales característicos del río Jalón: a) estación 58 (Jalón en Jubera) en 45 años completos del periodo 1951/52-1996/97; b) estación 8 (Piedra en Nuévalos) en 48 años completos del periodo 1913/14-1997/98; c) estación 129 (Ortiz en Tranquera) en 22 años completos del periodo 1972/73-1996/97; d) estación 236 (Aranda en Maidevera-CE) en 19 años completos del periodo 1985/86-1998/99; e) estación 42 (Jiloca en Calamocha) en 37 años completos del periodo 1951/52-1996/97; y f) estación 125 (Piedra en Carenas) en 35 años completos después de la construcción del embalse de la Tranquera (10/1961-9/1997).

El recurso total en régimen natural se evalúa en 17,4 m³/s (551,3 hm³/año).

El régimen medio mensual en estado no afectado de las aguas del río Jalón presenta un periodo de aguas altas desde enero hasta junio y un periodo de aguas bajas que comprende el resto del año con el mínimo absoluto en agosto (Figura 1.64a). En los ríos Piedra y Mesa destaca la elevada regulación natural de sus cuencas, lo que provoca que los hidrogramas presenten muy poca oscilación de los caudales medios mensuales (Figura 1.64b). En estas cabeceras el mes en el que se presenta el máximo anual no está claramente diferenciado.

En las cuencas de cabecera en las que la componente subterránea no es muy destacada, por ejemplo la del río Ortíz (Figura 1.64c), el régimen responde de forma más directa a las precipitaciones. El máximo se presenta claramente diferenciado en abril.

El mismo régimen que se detecta en cabecera se obtiene en otros afluentes del Jalón, como el río Aranda antes del embalse de Maidevera (Figura 1.64d), aunque en este caso el periodo de aguas altas se adelanta un mes (de diciembre a mayo).

El río Jalón presenta usos de agua muy intensos que afectan al régimen hidrológico actual. Este es también el caso en que se encuentra la cuenca del río Jiloca, donde los intensos usos de agua superficiales y subterráneos provocan un desplazamiento hacia invierno del periodo de aguas altas (Figura 1.64e) debido a los aprovechamientos de agua entre abril y septiembre. Este hidrograma alterado se presenta desde el tramo medio del Jiloca hasta su desembocadura en el Jalón.

El embalse de la Tranquera supone el mayor elemento regulador de la cuenca del Jalón. Se puso en funcionamiento en 1962 y a partir de entonces el régimen del río queda modificado con un hidrograma mensual como el de la Figura 1.64c. El periodo de aguas altas se registra entre junio y septiembre con el máximo en julio y agosto. La alteración del régimen se detecta en las estaciones del río Jalón en Cetina, Calatayud y Huérmeda. En la Figura 1.65 se muestra como afecta al hidrograma diario la regulación de la Tranquera en las estaciones del río Piedra en Carenas y Jalón en Ateca.

Los embalses de Monteagudo de las Vicarías en el río Nájima y de Maidevera en el río Aranda (Figura 1.66) suponen afecciones en el régimen del río de la misma manera que las provocada por el embalse de la Tranquera.

Además, hay que destacar que en el tramo final del Jalón, desde Calatayud hasta su desembocadura en Grisen, se produce una pérdida de caudal justificada por los intensos usos de agua tanto superficiales como subterráneos a lo largo del cauce. Estos usos de agua modifican el régimen del río a lo largo del tramo.

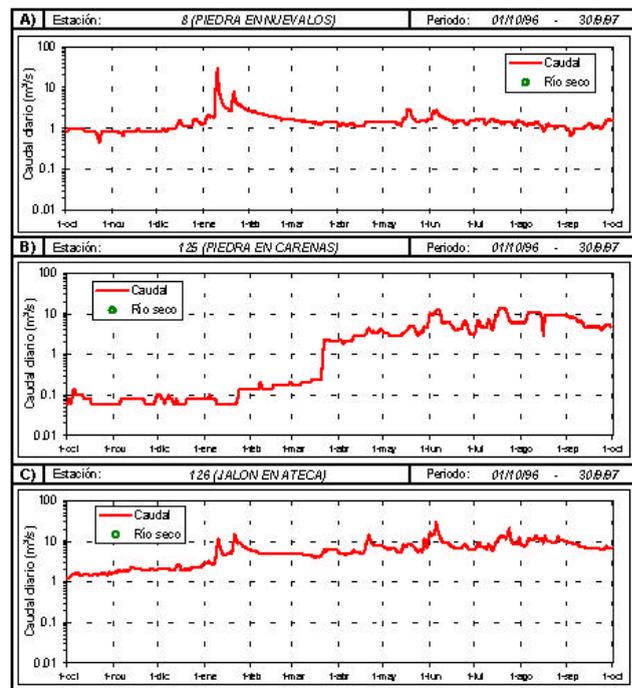


Figura 1.65: Efectos de la regulación del embalse de la Tranquera el año hidrológico 1996/97: a) estación 8 (Piedra en Nuévalos); b) estación 125 (Piedra en Carenas); y d) estación 128 (Jalón en Carenas).

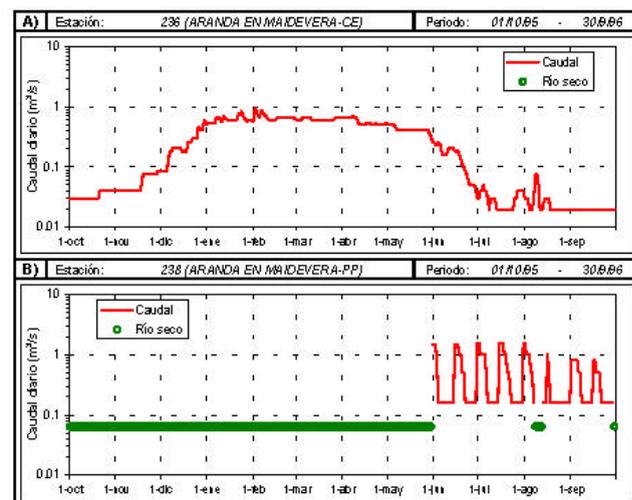


Figura 1.66: Efectos de la regulación del embalse de Maidevera en el río Aranda el año hidrológico 1995/96: a) estación 236 (Aranda en Maidevera-CE); y b) estación 238 (Aranda en Maidevera-PP).

1.3.2.1.28. Gallocanta

La cuenca endorreica de Gallocanta tiene una extensión de 541 km², la mayor parte de los cuales están en la comunidad aragonesa quedando un pequeño sector en Castilla - La Mancha. Se trata de una cuenca en la que apenas existe red fluvial desarrollada, aunque cabe destacar los arroyos de Santed y Used, procedentes del Norte (Sierra de Santa Cruz), y el Barranco de la Hoz que procede del Sur.

No existen series foronómicas prolongadas en estos arroyos que permitan conocer su régimen hidrológico.

1.3.2.1.29. Cuenca del Huecha

La cuenca del Huecha recoge los drenajes de la zona nororiental de la Sierra del Moncayo. Cubre una extensión de 540 km² quedando totalmente incluida en territorio aragonés dentro de la provincia de Zaragoza.

El recurso natural de la cuenca en régimen natural es, según el PHE, 0,7 m³/s (22,0 hm³/año).

No existen datos foronómicos en la cuenca que aporten información del régimen hidrológico. En principio cabe esperar que el caudal de los ríos de cabecera sea semejante a los de los ríos próximos que drenan de la Sierra del Moncayo. Como hidrogramas representativos de los drenajes de la Sierra se puede destacar la estación 236 del río Aranda en Maidevera-CE (Figura 1.67a) y la estación 90 del barranco de los Fayos en los Fayos (Figura 1.67b). Las diferencias entre ambos hidrogramas se justifican por la menor regulación subterránea en el río Aranda.

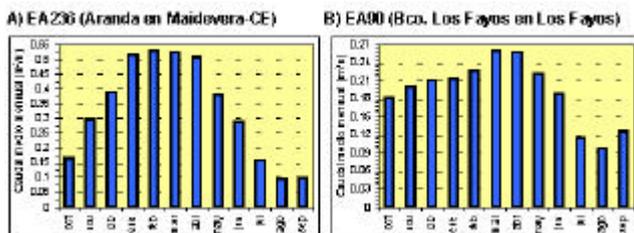


Figura 1.67: Hidrogramas de cauces próximos a la cabecera del río Huecha: a) estación 236 (Aranda en Maidevera-CE) en 13 años completos del periodo 1985/86-1998/99; y b) estación 90 (barranco de los Fayos en los Fayos) en 45 años completos del periodo 1942/43-1975/76.

1.3.2.1.30. Cuenca del Queiles

La cuenca del Queiles está situada en la margen derecha del Ebro compartiendo territorio de Castilla - León (provincia de Soria), Aragón (Zaragoza) y Navarra. Tiene una extensión de 554 km².

El río nace en las sierras del Madero y del Moncayo y discurre en dirección suroeste-noreste a través de la Tierra de Ágreda hasta desembocar en el río Ebro en las proximidades de Tudela. La cuenca está drenada por dos ejes principales, Queiles y Val que se reúnen a la altura de la localidad zaragozana de Los Fayos, en un único cauce que entrega sus aguas al Ebro en Tudela (Navarra).

El recurso hídrico generado en la cuenca en régimen natural es, según el PHE, 1,8 m³/s (58,4 hm³/año).

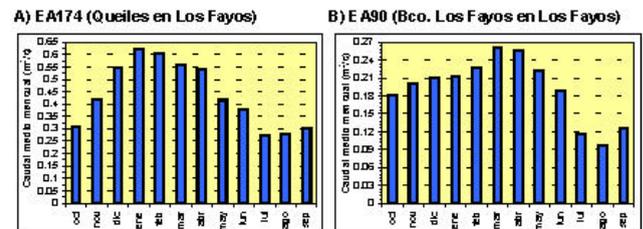


Figura 1.68: Hidrogramas medios mensuales de cabecera en el río Queiles: a) estación 174 (río Queiles en los Fayos) en 9 años completos del periodo 1990/91-1998/99; estación 90 (barranco de los Fayos en los Fayos) en 45 años completos del periodo 1942/43-1975/76.

El caudal del río Queiles está menos regulado que el del Barranco de los Fayos dada la distinta naturaleza de los manantiales que les dan el origen. Este hecho se detecta claramente en los hidrogramas mensuales de las estaciones de aforos situadas en la cabecera de ambos ríos (Figura 1.68a y b). El hidrograma del Queiles responde de forma más directa a las precipitaciones de la cuenca. El periodo de aguas altas se presenta entre diciembre y abril con el máximo en enero. En el Barranco de los Fayos la regulación subterránea desplaza el máximo a marzo y abril.

1.3.2.1.31. Cuenca del Alhama

La cuenca del Alhama abarca una extensión de 1.380 km², cubriendo parte de las comunidades autónomas de Castilla y León, La Rioja y Navarra.

Esta cuenca recoge el drenaje del sector oriental de Los Cameros a través de diversos ejes: Linares,

Alhama, Añamaza, que finalmente entregan sus aguas al Ebro a la altura de Alfaro (La Rioja). En su interior alberga el LIC riojano de la Sierra de Alcarama, que cubre parte de los tramos altos del Alhama y del Añamaza.

El recurso hídrico en régimen natural es, según el PHE, 4,3 m³/s (134,8 hm³/año).

En las cuencas de cabecera del río Alhama el hidrograma medio mensual es función de la importancia de la regulación subterránea. Un buen ejemplo es la comparación del hidrograma del río Linares en San Pedro de Manrique (Figura 1.69a) con el del río Añamaza en Dévanos (Figura 1.69b). El nacimiento del río Añamaza presenta una regulación mayor que el del río Linares dando lugar a que el hidrograma mensual presente una menor variabilidad mensual, que el periodo de aguas altas sea más prolongado en el tiempo, empezando en octubre, y que el máximo se presenta más tarde que en el río Linares. Un hecho similar ocurría entre las cuencas vecinas de la cabecera del río Queiles.

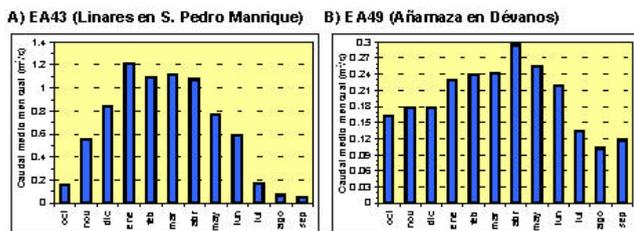


Figura 1.69: Hidrogramas medios mensuales de cabecera en el río Alhama: a) estación 43 (Linares en San Pedro Manrique) en 38 años completos del periodo 1956/57-1996/97; b) estación 49 (Añamaza en Dévanos) en 41 años completos del periodo 1942/43-1996/97.

La estación 185 del río Alhama en Cintruénigo representa el régimen del río al final de su recorrido. El caudal medio anual de los 15 años completos del periodo 1976/77-1996/97 es 0,53 m³/s, mucho menor de los que corresponderían en régimen natural. Esta disminución del caudal está provocada por los importantes consumos de agua en la cuenca y ponen de manifiesto la importante alteración del régimen hidrológico en los tramos medio y bajo del río Alhama.

1.3.2.1.32. Cuenca del Cidacos

La cuenca del Cidacos tiene una extensión de 696 km², ocupando parte de las comunidades de Castilla - León (prov. de Soria) en su cabecera y de La Rioja, en su

parte media y baja. Nace en la sierra Urquilla, dentro del sector noreste de los Picos de Urbión, y recorre en dirección suroeste-noreste la Rioja Baja hasta desembocar en el río Ebro en las proximidades de Calahorra. En su margen izquierda desembocan los ríos Baos, Ostaza y Manzanares.

El recurso hídrico en régimen natural se ha estimado en el PHE en 2,7 m³/s (85,2 hm³/año).

El hidrograma medio mensual del río Cidacos viene representado por la estación 44 del río Cidacos en Yanguas (Figura 1.70). El periodo de aguas altas comprende desde diciembre hasta mayo con el máximo claramente definido en marzo. El periodo de aguas bajas se presenta desde julio hasta septiembre con el mínimo en agosto.

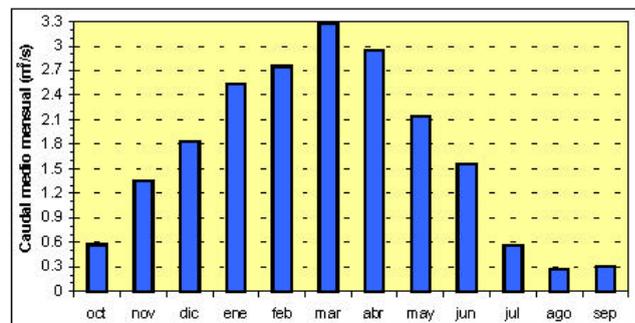


Figura 1.70: Hidrograma medio mensual de la estación 44 (Cidacos en Yanguas) en 47 años completos del periodo 1946/47-1996/97.

A partir de Arnedillo el régimen del río comienza a modificarse debido a las derivaciones para riego. No existen datos de aforos desde esta localidad hasta la desembocadura en el Ebro.

1.3.2.1.33. Cuenca del Leza

Leza y Jubera son los ejes principales de esta subcuenca que ocupa una extensión de 530 km² cubriendo íntegramente territorio riojano, al norte de los Cameros, en la zona conocida como Camero Viejo. Confluyen con el Ebro aguas abajo de Logroño, en las proximidades de Agoncillo (La Rioja).

El río Leza en la cabecera presenta dos pequeños afluentes en su margen derecha (Rabanera y Vadillos), aunque su principal afluente lo constituye el río Jubera, que desemboca en la margen derecha del tramo bajo del río Leza, en la localidad de Murillo de Río Leza.

El PHE evalúa para la cuenca del río Leza un recurso en régimen natural de 2,3 m³/s (71,8 hm³/año).

La estación 197 (Leza en Leza del río Leza) presenta un caudal medio de 1,9 m³/s para 18 años hidrológicos comprendidos dentro del periodo 1976/77-1996/97. En esta estación el río ha recibido sus principales aportaciones y todavía no se han producido detracciones importantes. El periodo de aguas altas se presenta entre enero y junio con el máximo claramente definido en mayo (Figura 1.71). El periodo de aguas bajas se presenta de julio a diciembre con el mínimo en octubre.

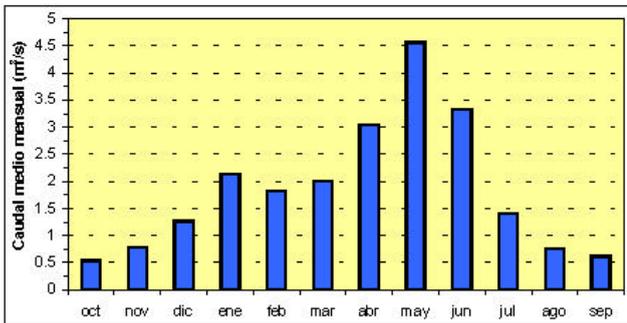


Figura 1.71: Hidrograma medio mensual de la estación 197 (Leza en Leza del río Leza) en 18 años completos del periodo 1976/77-1996/97.

1.3.2.1.34. Cuenca del Iregua

El río Iregua drena la vertiente Norte de la Sierra Cebollera, aproximadamente en el límite administrativo entre Castilla y La Rioja, desde allí se dirige hacia el Norte hasta reunirse con el Ebro en Logroño. Esta cuenca ocupa una extensión de 663 km² casi totalmente en ámbito riojano. Presenta tres afluentes principales: el río Lumbreras en su margen derecha y los ríos Mayor y Albercos en su margen izquierda.

El recurso total en régimen natural, según el PHE, es 6,6 m³/s (209,6 hm³/año).

El régimen hidrológico real se registra en la estación de aforos 36 (Iregua en Islallana). El caudal medio registrado en esta estación de aforos en 48 años hidrológicos completos, desde el año 1948/49 hasta el año 1997/98, es 5,9 m³/s. El régimen mensual del río Iregua viene caracterizado por la estación de cabecera del río Lumbreras en Lumbreras (Figura 1.72a). El periodo de aguas altas se presenta entre enero y mayo con el máximo en abril y el periodo de aguas bajas entre julio y octubre con el mínimo en septiembre. La estación de Islallana (Figura 1.72b) presenta un régimen mensual

semejante al de la estación del río Lumbreras. El máximo se presenta en abril, pero el mínimo se registra en octubre debido a la regulación del río por el embalse de González Lacasa.

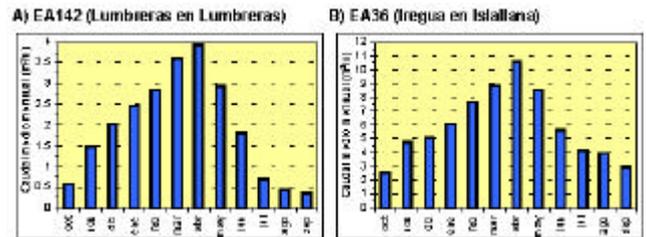


Figura 1.72: Hidrogramas medios mensuales característicos de la cuenca del río Iregua: a) estación 142 (Lumbreras en Lumbreras) en 42 años completos del periodo 1951/52-1996/97; y b) estación 36 (Iregua en Islallana) en 48 años completos del periodo 1948/49-1997/98.

En la actualidad existen dos embalses que modifican el régimen hidrológico original de los cauces de la cuenca del Iregua. La puesta en servicio del embalse de Pajares en 1995 modifica un tramo del río Lumbreras por los desembalses de verano. El embalse de González Lacasa en el cauce del río Albercos y su canal alimentador con la toma desde el río Iregua aguas arriba de la confluencia del río Lumbreras ha supuesto una modificación de los regímenes hidrológicos naturales de los cauces asociados a estas infraestructuras.

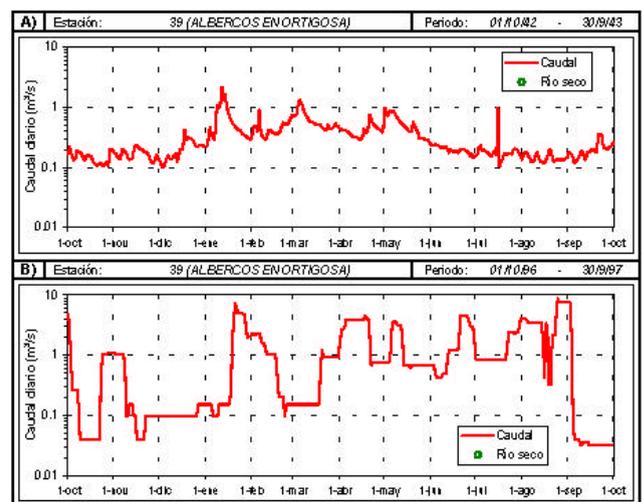


Figura 1.73: Hidrograma diario de la estación de aforos 39 (Albercos en Ortigosa) antes (a) y después (b) de la construcción del embalse de González Lacasa.

A partir de la construcción del embalse de González Lacasa, el cauce del río Albercos sufre un aumento considerable de caudal. En la estación de aforos 39 (Albercos en Ortigosa) el caudal medio anual pasa de ser 0,4 m³/s antes del embalse a 1,5 m³/s después del embalse. La modulación mensual pasa de ser semejante a la del río Lumbreras (Figura 1.72a) a la de un río regulado para servir los máximos caudales en verano y los mínimos en invierno. En la Figura 1.73 se muestra un ejemplo de la modificación del régimen diaria en esta estación.

1.3.2.1.35. Cuenca del Najerilla

La del Najerilla es una de las más notables cuencas de la margen derecha del Ebro. Ocupa una extensión de 1.105 km², entre las comunidades autónomas de Castilla - León y, principalmente, La Rioja.

Su nacimiento se produce en la Sierra de Neila, en el sector sur de la Reserva Nacional de la Sierra de la Demanda. Realiza su recorrido en dirección principal sur-norte, entre la sierra de la Demanda y la sierra de Cámero Nuevo. Desemboca en el río Ebro en las proximidades de la pequeña localidad de Torremontalvo. En el cauce del Najerilla desembocan pequeños afluentes entre los que destacan los ríos Neila, Portilla, Urbión y Yalde en su margen derecha, y el Cárdenas y Tuerto en su margen izquierda.

La aportación total en régimen natural es, según el PHE, 12,8 m³/s (402,4 hm³/año).

Las estaciones de aforos del río Najerilla en Mansilla (estación 34) y Anguiano (estación 48) antes de la puesta en funcionamiento del embalse de Mansilla en 1960 dan idea del funcionamiento del río en régimen no afectado. El hidrograma mensual presenta su periodo de aguas altas (Figuras 1.74 a y b) entre diciembre y abril con el máximo en marzo. El periodo de aguas bajas se registra entre junio y noviembre con el mínimo en agosto y septiembre. El hidrograma de la estación de aforos situado en la desembocadura comparte unas características semejantes al de las estaciones situadas aguas arriba (Figura 1.74c).

La regulación actual del embalse de Mansilla supone una modificación importante en el régimen hidrológico aguas abajo del embalse, resultando mayores caudales en verano, de manera que el mes con el caudal mensual mínimo se registra en octubre (Figura 1.74d). En la Figura 1.75 se muestra cómo afecta la regulación

del embalse al hidrograma diario. Esta regulación se advierte, aunque de forma menos intensa que en Mansilla, en Anguiano.

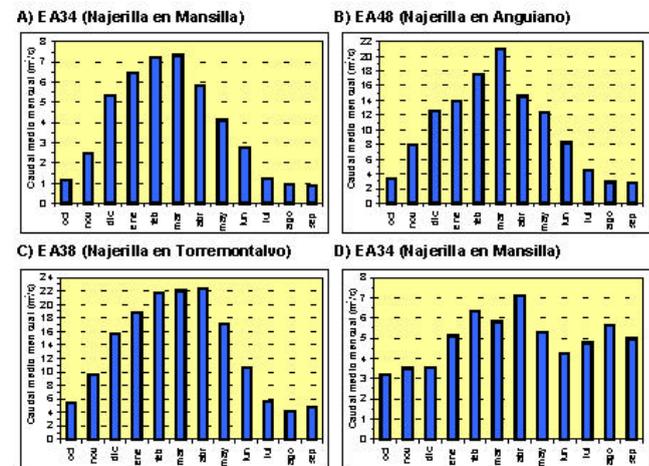


Figura 1.74: Hidrogramas medios mensuales característicos de la cuenca del río Najerilla: a) estación 34 (Najerilla en Mansilla) en 13 años antes del embalse de Mansilla (2/1931-4/1960); b) estación 48 (Najerilla en Anguiano) en 11 años antes del embalse de Mansilla (1/1931-4/1960); c) estación 34 (Najerilla en Mansilla) en 36 años completos después de la construcción del embalse de Mansilla (5/1960-9/1997); y d) estación 36 (Najerilla en Torremontalvo) en 37 años completos del periodo 1949/50-1996/97.

En la estación de aforos de Torremontalvo se recoge un caudal medio de 13,1 m³/s en 37 años completos del periodo 1949/50-1996/97. La regulación del río mediante el embalse y los usos de agua que se suceden a lo largo del cauce producen un hidrograma diario notablemente modificado respecto al régimen natural.

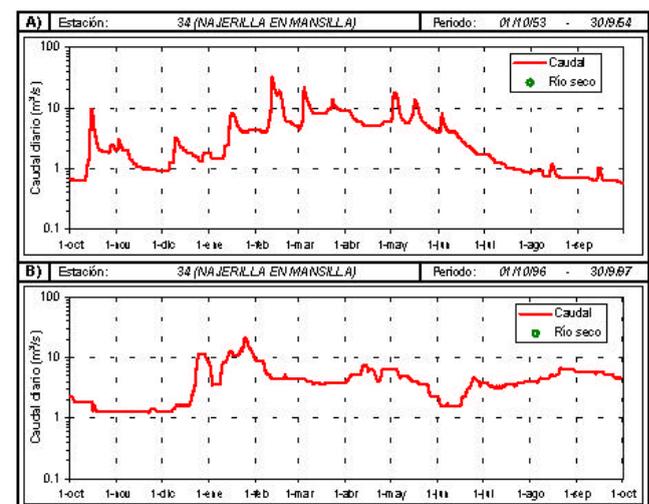


Figura 1.75: Hidrograma diario de la estación de aforos 34 (Najerilla en Mansilla) antes (a) y después (b) de la construcción del embalse de Mansilla.

1.3.2.1.36. Cuenca del Tirón

La cuenca del Tirón drena la vertiente Norte de la Demanda ocupando una superficie de 1.270 km², y cubriendo parcialmente territorio de Castilla - León (provincia de Burgos) y de La Rioja. Entrega sus aguas al Ebro en Haro (La Rioja).

El principal afluente es el río Glera u Oja, situado en la margen derecha. Otros afluentes son el río Urbión, Retorto, Bañuelos y Ea en su margen izquierda; y el río San Julian en la margen derecha.

El recurso total en régimen natural es 9,1 m³/s (286,1 hm³/año).

El régimen medio mensual de la cabecera del río Tirón presenta un periodo de aguas altas entre noviembre y mayo con el máximo en abril y el periodo de aguas bajas entre julio y octubre con el mínimo en agosto (Figura 1.76 a y b). Este hidrograma mensual se mantiene sin grandes modificaciones en las estaciones situadas en la cuenca del río Tirón.

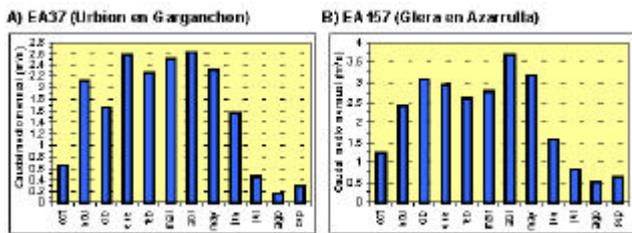


Figura 1.76: Hidrogramas medios mensuales característicos de la cuenca del río Tirón: a) estación 37 (Urbión en Garganchón) en 18 años completos del periodo 1960/61-1977/78; y b) estación 157 (Glera en Azarrulla) en 19 años completos del periodo 1965/66-1996/97.

1.3.2.1.37. Cuenca del Oroncillo

La cuenca del Oroncillo ocupa una extensión de tan solo 228 km² drenando hacia el Este la zona de los Montes Obarenes en las comunidades de La Rioja y Castilla y León. Entrega sus aguas al Ebro en Miranda (Burgos). El principal afluente del río Oroncillo es el río Vallarta, que desemboca en su margen derecha.

El recurso total en régimen natural es, según el PHE, 0,6 m³/s (19,4 hm³/año).

El régimen mensual viene representado por la estación 189 del río Oroncillo en Orón. El periodo de aguas altas se presenta entre enero y abril con el máximo en

abril y el periodo de aguas bajas entre julio y noviembre con el mínimo en septiembre (Figura 1.77).

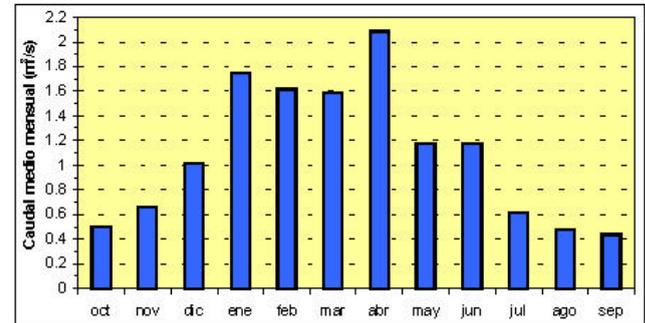


Figura 1.77: Hidrograma medio mensual de la estación 189 (Oroncillo en Orón) en 20 años completos del periodo 1977/78-1996/97.

1.3.2.1.38. Cuenca del Molinar

Esta pequeña cuenca, de tan solo 54 km², está totalmente incluida en el paraje natural de los Montes Obarenes. Entrega sus aguas al Ebro a la altura de Frías (Burgos). No se dispone de datos hidrológicos.

1.3.2.1.39. Cuenca del Oca

La cuenca del Oca cubre una superficie de 1.087 km² en territorio burgalés, en la zona alta de la cuenca del Ebro. Entrega sus aguas al Ebro al Norte de Oña, dejando al Este el LIC de los Montes Obarenes. El afluente más importante es el río Hómimo que se encuentra en su margen izquierda.

El recurso hídrico en régimen natural en la cuenca es, según el PHE, 4,9 m³/s (155,2 hm³/año).

El régimen mensual viene representado por la estación 93 del río Oca en Oña. El periodo de aguas altas se presenta entre diciembre y mayo con el máximo en febrero y el periodo de aguas bajas entre julio y noviembre con el mínimo en septiembre (Figura 1.78). La estación de aforos se sitúa en el tramo bajo del río Oca e indica el régimen real circulante.

El caudal medio en los 34 años completos del periodo 1959/60-1996/97 es 5,11 m³/s, ligeramente superior al caudal en régimen natural. Este hecho indica que el régimen del río Oca se encuentra poco afectado los aprovechamientos hidráulicos.

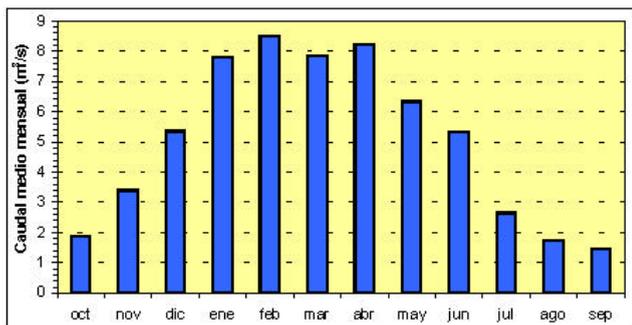


Figura 1.78: Hidrograma medio mensual de la estación 93 (Oca en Oña) en 34 años completos del periodo 1959/60-1996/97.

1.3.2.1.40. Cuenca del Rudrón

La cuenca del Rudrón drena un sector de las parameras burgalesas de la Lora en la margen derecha del alto Ebro. Ocupa una extensión de 522 km², íntegramente en territorio de Castilla - León. Se reúne con el Ebro aguas abajo de Valdelateja (Burgos). En su margen izquierda desemboca el río Valtierra y en la margen derecha los ríos San Antón y Moradillo.

El recurso total en régimen natural es, según el PHE, 3,6 hm³/año (112,5 hm³/año).

No existen datos foronómicos en la cuenca que aporten información de su régimen hidrológico. Los reducidos consumos de agua de la cuenca, así como la similitud de los hidrogramas de las cuencas vecinas hacen pensar en que el régimen mensual comparta sus características. El periodo de aguas altas, a partir de la comparación del hidrograma de la estación 93 (Oca en Oña) y el de la estación 13 (Izarilla en Matamorosa), se presenta entre diciembre y mayo con el máximo en febrero o abril (Figura 1.79). El periodo de aguas bajas se presenta entre julio y octubre con el mínimo en agosto o septiembre.

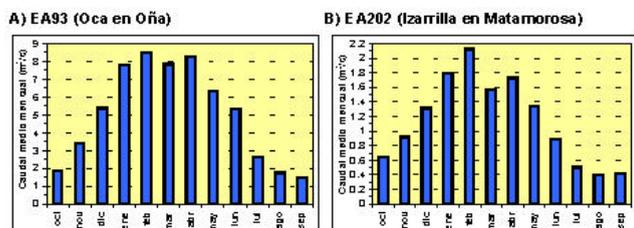


Figura 1.79: Hidrogramas medios mensuales del régimen mensual de la cuenca del río Rudrón: a) Estación 93 (Oca en Oña) en 34 años completos del periodo 1959/60-1996/97; y b) estación 202 (Izarilla en Matamorosa) en 13 años completos del periodo 1972/73-1996/97.

1.3.2.1.41. Cuenca del Polla

La del Polla es una pequeña subcuenca, con una extensión de unos 51 km², drenando territorio cántabro y, en menor medida, castellano leonés.

No existen estaciones de aforos para evaluar los recursos hídricos en esta pequeña cuenca.

1.3.2.1.42. Cuenca del Izarilla

La cuenca del Izarilla se extiende por territorio cántabro en una pequeña zona entre el valle de Híjar y el Ebro. La superficie de la cuenca es 57 km².

El recurso total en régimen natural en la cuenca del Izarilla es, según el PHE, 1,1 m³/año (33,5 hm³/año). La estación de aforos 202 del río Izarilla en Matamorosa presenta un caudal medio mensual para los 13 años completos del periodo 1972/73-1986/87 es 1,16 m³/s. El régimen mensual del río es semejante a las cuencas vecinas. El periodo de aguas altas se presenta entre diciembre y mayo con el máximo en febrero y el periodo de aguas bajas entre julio y octubre con el mínimo en septiembre (Figura 1.80).

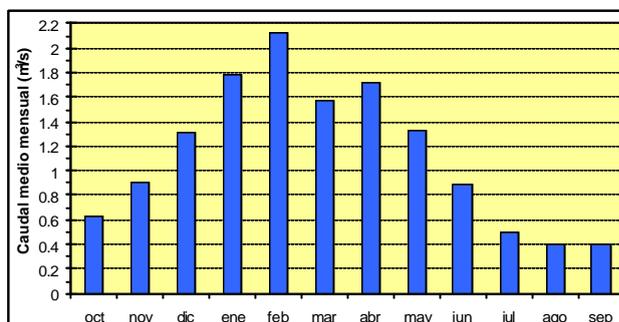


Figura 1.80: Hidrograma medio mensual de la estación 202 (Izarilla en Matamorosa) en 13 años completos del periodo 1972/73-1996/97.

1.3.2.1.43. Cuenca del Híjar

El Híjar es el primer afluente que recibe el Ebro por su margen derecha, procede del Alto Campoo cuyos deshielos conduce hacia la zona de Reinosa por una amplia gravera. Ocupa una extensión de 143 km² toda ella en territorio de Cantabria.

El recurso total en régimen natural de la cuenca del Izarilla es, según el PHE, 4,6 m³/s (144,3 hm³/año). El periodo de aguas altas se presenta entre diciembre y mayo con el máximo en abril y el periodo de aguas

bajas entre julio y octubre con el mínimo en septiembre (Figura 1.81).

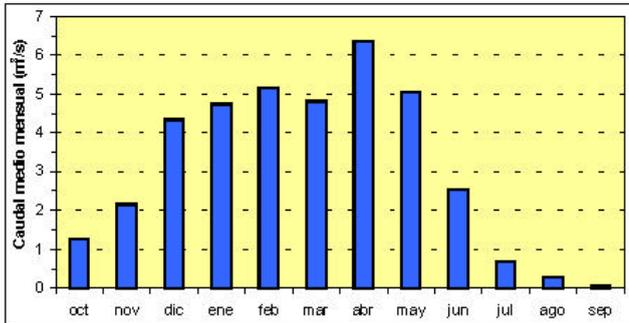


Figura 1.81: Hidrograma medio mensual de la estación 203 (Híjar en Reinos) en 17 años completos del periodo 1976/77-1993/94.

1.3.2.1.44. Eje del Ebro

Desde su nacimiento en Fontibre (Cantabria) hasta su desembocadura en Deltebre (Tarragona) el Ebro recorre más de 900 km atravesando las comunidades autónomas de Cantabria, Castilla - León, País Vasco, La Rioja, Navarra, Aragón y Cataluña.

La cuenca del Ebro tiene una cuenca vertiente total de 85.001 km². Si se excluyen de la cuenca los afluentes ya descritos en este trabajo queda una superficie referida en este apartado de alrededor de 13.495 km². Se contempla todo el Eje del Ebro con sus aluviales y las superficies intercuenas que no presentan drenajes destacados al Ebro.

El régimen mensual del río Ebro en el tramo desde su cabecera hasta el embalse del Ebro presenta un periodo de aguas altas de diciembre a abril con el máximo en febrero y periodo de aguas bajas de julio a octubre con el mínimo en septiembre en el tramo de cabecera y en agosto en el tramo medio. Este hidrograma se registra a lo largo de todo el cauce, como confirman los hidrogramas medios mensuales de Miranda de Ebro (Figura 1.82a), Castejón (Figura 1.82b) y Zaragoza (Figura 1.82c). Entre Miranda y Castejón se produce la detracción del canal de Lodosa y la importante incorporación del río Aragón y entre Castejón y Zaragoza se detrae agua hacia los canales Imperial de Aragón y de Tauste. Los hidrogramas medios mensuales no varían sustancialmente en este tramo.

La regulación del embalse de Mequinenza y, sobre todo, la incorporación del Segre alteran el hidrograma medio mensual prolongando el periodo de aguas altas

de abril a junio debido a la incidencia de la retención nival en las cuencas del Segre. (Figuras 1.82d y e).

El embalse del Ebro supone una importante alteración del régimen hidrológico aguas abajo. El hidrograma medio mensual se invierte, obteniéndose unos mayores caudales en época estival (Figura 1.82f). La aportación de los ríos Nela, Rudrón y Oca enmascaran esta modificación del régimen del río. En la Figura 1.83 se presenta un año hidrológico antes y después de la construcción del embalse.

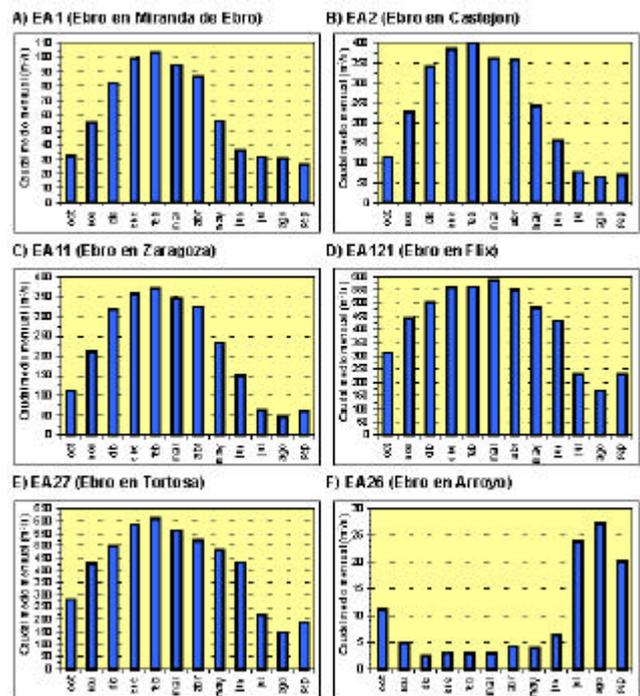


Figura 1.82: Hidrogramas medios mensuales característicos del eje del Ebro: a) estación 1 (Ebro en Miranda de Ebro) en 68 años completos del periodo 1913/14-1998/99; b) estación 2 (Ebro en Castejón) en 48 años completos del periodo 1929/30-1998/99; c) estación 11 (Ebro en Zaragoza) en 63 años completos del periodo 1914/15-1998/99; d) estación 121 (Ebro en Flix) en 39 años completos del periodo 1948/49-1990/91; e) estación 27 (Ebro en Tortosa) en 53 años completos del periodo 1917/18-1998/99; y f) estación 26 (Ebro en Arroyo) en los 49 años completos posteriores a la construcción del embalse del Ebro (1/1947-9/1998).

En el tramo bajo del Ebro la regulación hidroeléctrica de los caudales provenientes del Segre, así como de los grandes embalses del Ebro provoca una modulación semanal que se advierte en el hidrograma diario. En la Figura 1.84 se muestran ejemplos de estos hidrogramas en tres estaciones de aforos. Se observa que los domingos el caudal es menor.

En el eje del Ebro también se incluye un gran número de pequeños afluentes no citados expresamente en los apartados anteriores, de manera general se trata de cauces con escaso caudal, pero que por su singularidad son puntos de agua vitales para la fauna y flora de las zonas. En muchas ocasiones son tramos colectores de vertidos urbanos y retornos de riego.

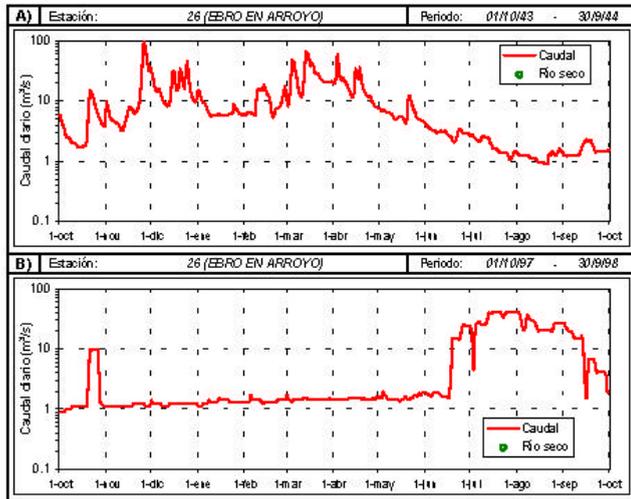


Figura 1.83: Hidrograma diario de la estación 26(Ebro en Arroyo) antes (a) y después (b) de la construcción del embalse del Ebro.

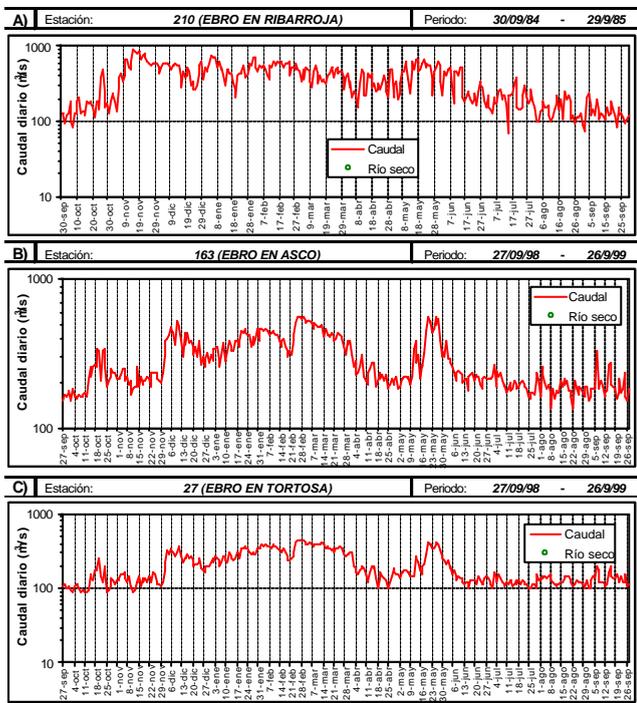


Figura 1.84: Regulación hidroeléctrica en el tramo bajo del río Ebro: a) estación 210 (Ebro en Ribarroja); b) estación 163 (Ebro en Ascó); y c) estación 27 (Ebro en Tortosa). Los ejes verticales corresponden a los domingos de cada semana.

1.3.2.1.45. Garona

La cabecera del río Garona no pertenece a la cuenca del Ebro, aunque forma parte del ámbito del Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro. Comprende una superficie de 547 km² y se encuentra en la vertiente norte del sector centrorienta del Pirineo. La cabecera del río Garona se encuentra en los Pirineos centrales y recorre el valle de Arán. En su margen derecha los afluentes principales son el río Varradós y Toran y en su margen izquierda el río Aiguamoix y Vallarties.

El recurso total en régimen natural de la cuenca es, según el PHE, 18,7 m³/s (589,1 hm³/año).

El régimen mensual se mantiene constante a lo largo del cauce del río Bossots y sus afluentes. El periodo de aguas altas se presenta entre abril y julio con el máximo en junio. Existen dos periodos de aguas bajas, uno estival, con el mínimo en septiembre, y otro invernal debido a la retención nival, con el mínimo en enero. En la Figura 1.85 se presenta en hidrograma de la estación de Bossots.

La modulación mensual es semejante en las tres estaciones de aforos situadas en los cauces de la cuenca, sin embargo, las constantes derivaciones para alimentar a las centrales hidroeléctricas suponen bruscos cambios del caudal y de la modulación diaria en varios tramos de la cuenca. Un ejemplo de estas modificaciones es la variación del régimen en la estación de Arties (Figura 1.86) donde la puesta en funcionamiento de la central de Arties disminuye el caudal circulante por el río, pasando de una media de 5,7 m³/s antes de la central a 0,5 m³/s.

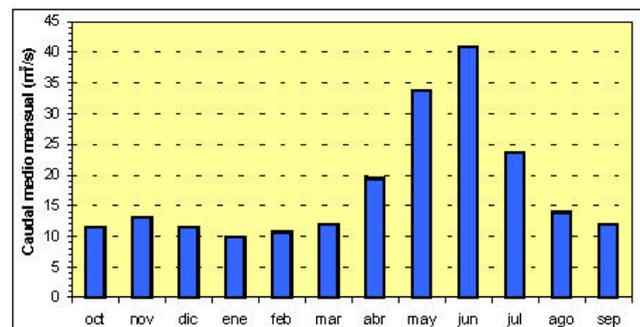


Figura 1.85: Hidrograma medio mensual de la estación 19 el río Garona en Bossots durante 15 años completos del periodo 1965/66-1981/82.

En la estación de Bossots circula todo el agua que produce la cuenca. La modulación diaria en este punto presenta una periodicidad semanal debido a la dismi-

nución del caudal turbinado por las centrales hidroeléctricas los domingos. En la Figura 1.87 se muestra un ejemplo de la regulación de este río. El caudal medio en los 15 años completos del periodo 1965/66-1981/82 es 18,8 m³/s.

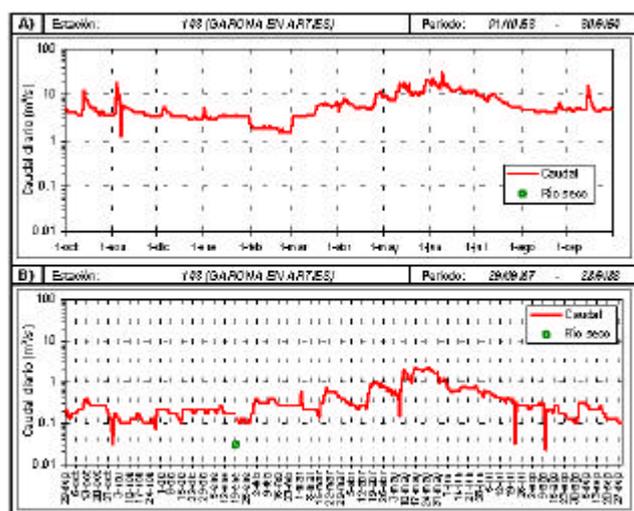


Figura 1.86: Modificación del régimen hidrológico en la estación 143 del río Garona en Arties antes (a) y después (b) de la construcción de la central de Arties.

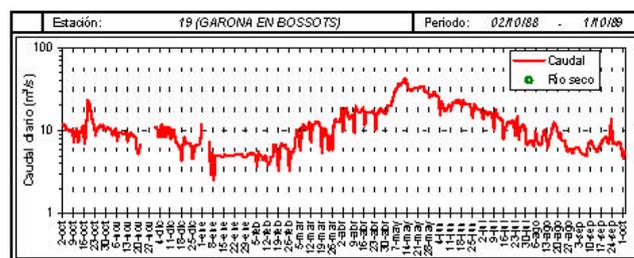


Figura 1.87: Hidrograma diario de la estación 19 del río Garona en Bossots afectado por la regulación hidroeléctrica

1.3.2.2. Aspectos cualitativos

La presentación realizada de la red fluvial no queda completa sin hacer alguna referencia a los aspectos cualitativos que se dan en la misma. Se utiliza como base para ello, el resultado del estudio MMA (2004a) que presenta una primera aproximación o avance sobre estado de los ríos de nuestra demarcación. Dicho trabajo puede consultarse íntegramente en www.oph.chebro.es

Con el citado estudio se pretendía avanzar en el proceso de caracterización ambiental de la cuenca del Ebro para establecer unas bases técnicas sobre las que construir, en el futuro, una propuesta de caudales ecológicos y paralelamente consolidar la red de control de variables ambientales para ceder su explotación futura a la Comisaría de Aguas del Organismo de Cuenca, que queda como depositaria de todas las muestras de campo estudiadas y también de los anteriores contenidos biológicos recogidos en la red, que a partir de ahora se guardan en el laboratorio de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Para todo ello el trabajo se realizó llevando a cabo cinco fases:

1ª fase. Trabajos de campo: Anteriores trabajos promovidos por la Oficina de Planificación Hidrológica dieron lugar a la configuración de una red de seguimiento de variables ambientales, en la que entre otras métricas se venían registrando datos faunísticos referidos a macroinvertebrados y peces. Todo ello en unas 500 estaciones. Para este estudio se seleccionaron las 400 estaciones que a juicio de expertos resultan más representativas, y se ha continuado acumulando información correspondiente a los años 2001 y 2002. La información ahora recogida incluye el estudio de las biocenosis de macroinvertebrados, otros indicadores de calidad hidromorfológicos (índice de hábitat fluvial -IHF- e índice de la calidad del bosque de ribera -QBR- (Munne et al., 1998)) e indicadores fisicoquímicos (temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto, fósforo total, nitrito, nitrato y alcalinidad). El trabajo se llevó a cabo por diversos equipos que siguieron un estricto protocolo de trabajo para asegurar la comparabilidad de los resultados.

2ª fase. Expansión de índice QBR: El índice QBR es un índice mixto, que integra aspectos biológicos y morfológicos del río y zona inundable y los utiliza para valorar la calidad de la vegetación de ribera. El índice se calcula para un tramo fluvial, en este caso las estaciones de la red de variables ambientales, teniendo en cuenta el grado de cobertura riparia, la estructura de la cobertura, la calidad de la cobertura y el grado de naturalidad del canal fluvial. El índice se calcula en las estaciones y después se ha expandido a la totalidad de la red fluvial estudiada mediante fotointerpretación sobre las ortoimágenes del GIS-Oleícola, facilitadas al GIS-Ebro por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

3ª fase. Estudio de la calidad del agua: Para esto se ha trabajado con la información disponible en la red ICA

(Integrada de Calidad de las Aguas). De las 400 estaciones de la red de variables ambientales 124 se han podido asimilar a una estación de la red ICA directa o indirectamente. El estudio se ha fundamentado en una interpretación cuantitativa a partir de los contenidos en algunos indicadores sencillos (formas nitrogenadas y fosforadas, oxígeno, coliformes, DBO, DQO y materia en suspensión) analizados durante los 6 últimos años (1996-2002). Con estos datos se ha realizado un tratamiento estadístico, un análisis de componentes principales, un planteado de series temporales y una comparación con los límites de calidad señalados en el Plan Hidrológico de cuenca. Todo ello se puede consultar a través de referido hiperenlace a www.opf.chebro.es

4º fase. Estudio del estado ecológico: La definición del estado ecológico se ha realizado de acuerdo con los criterios de la DMA en función de indicadores de calidad biológica (BMWP') e indicadores de calidad hidromorfológicos (QBR e IHF), utilizando el indicador ECOSTRIMED y la tipología y condiciones de referencia que se habían establecido en estudios anteriores desarrollados por la Oficina de Planificación Hidrológica con el apoyo de la Universidad de Barcelona CHE (1999). El ECOSTRIMED no es un indicador formal, entre otras razones porque no considera algunos de los factores requeridos por el Anexo V de la DMA, por lo que sus valores se matizan en función de otros datos complementarios de fisicoquímica e hidromorfología. Los resultados obtenidos en la cuenca del Ebro durante las campañas realizadas vienen a indicar que el 14% de las estaciones estudiadas se encuentran en muy buen estado ecológico, el 29% en buen estado, entre el 21 y el 23% en aceptable, el 17% en malo y el 11% en estado deficiente. En algunos puntos no se ha podido calcular por tratarse de tramos secos o sin posibilidad de cálculo del QBR por encontrarse a cotas topográficas superiores a las del dominio forestal.

5º fase. Estudio de caudales y propuesta de regímenes de compensación: Se ha partido de un análisis de los regímenes hidrológicos, para la aplicación del Método Vasco (BM), en función de los datos registrados por la red foronómica, a partir de esta información se ha establecido, en las estaciones que ha sido posible, una correspondencia entre la hidrología y la biocenosis, de cuyo estudio ha resultado una propuesta de régimen hidrológico, que debe contemplarse en el marco de otras realizadas estudiadas por la Oficina de Planificación, como la porcentual establecida en el Plan Hidrológico de cuenca o el método racional según la

formulación de A. Palau para el CEDEX. Se ha evidenciado, la dificultad material de aplicar estos métodos a una cuenca tan amplia y heterogénea como la del Ebro y las propias limitaciones del método Vasco ante las dificultades de aplicación en la información.

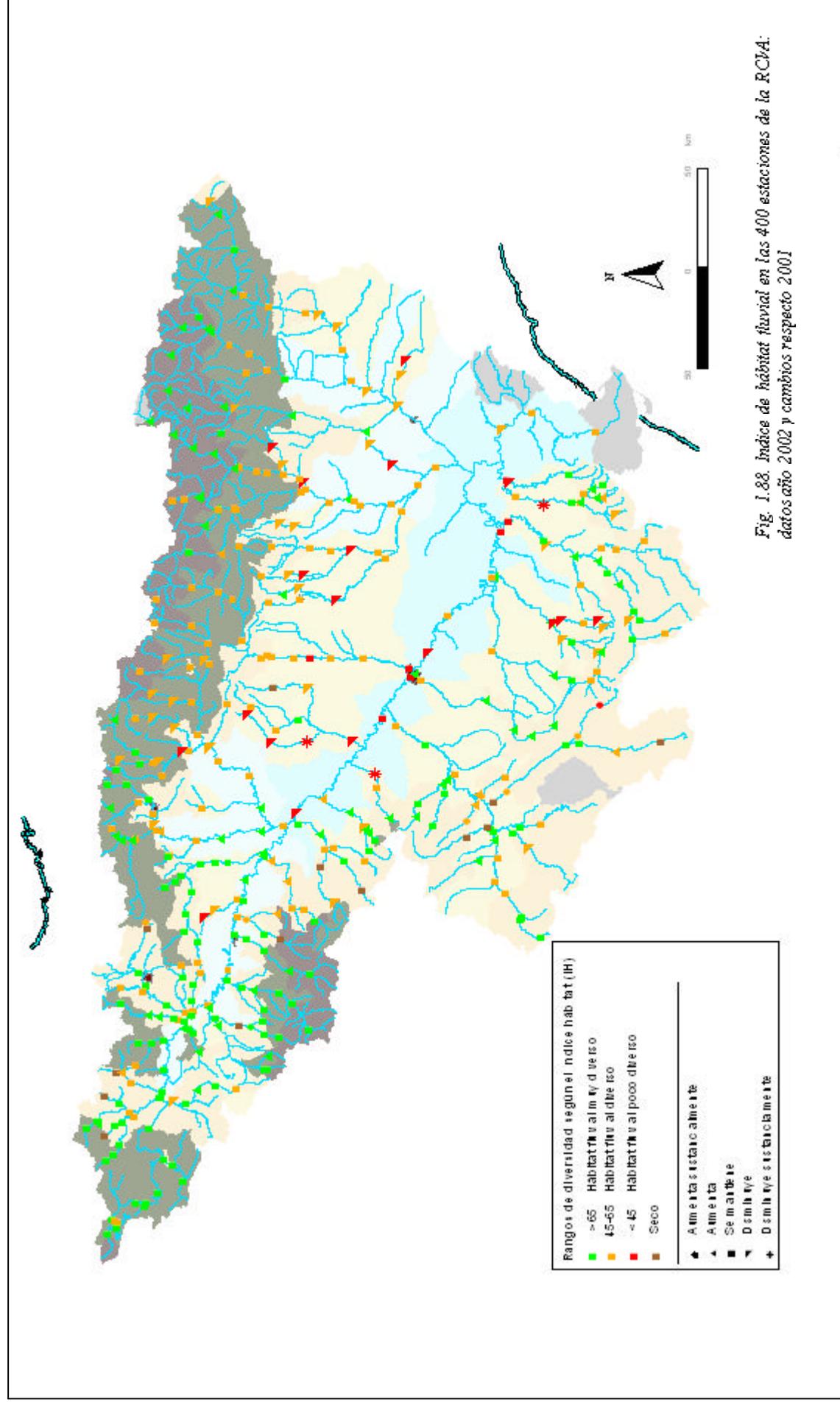
Los resultados obtenidos con este trabajo pueden concretarse a dos niveles: 1) información objetiva generada y 2) cálculos estimativos. Dentro del primer conjunto de resultados se encuentran los datos obtenidos con los muestreos de campo durante los años 2001 y 2002 y que se pueden ver en los mapas que se presentan como figuras 1.88, 1.89, 1.90 y 1.91. Todo ello apunta a que, en general, todavía hay que realizar en la cuenca del Ebro un importante trabajo para aproximarnos a los objetivos ambientales que señala la DMA, encontrándose las principales deficiencias, aparte de en la físico química de las aguas, en la calidad hidromorfológica y, en particular, en la calidad del bosque de ribera y de la morfología fluvial.

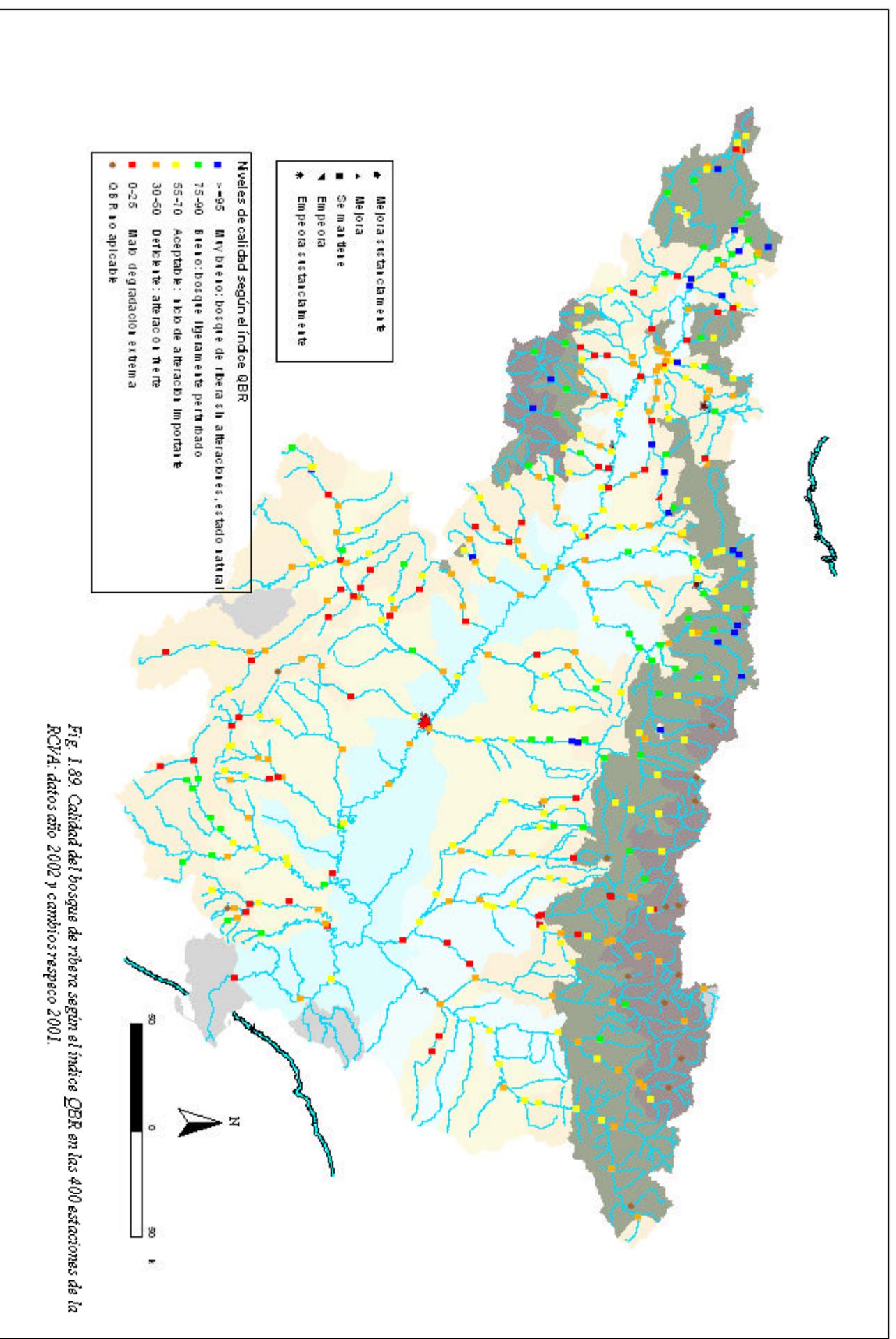
Tal y como cabría esperar, las principales deficiencias se localizan en los tramos medios y bajos de los ríos, especialmente dentro del ámbito de la depresión y en particular donde se registra un mayor desarrollo de los ejes socioeconómicos.

Destacan en este sentido las zonas bajas de Bayas y Zadorra, próximas al núcleo industrial de Miranda de Ebro; el eje del Linares y el Arga en las inmediaciones de Pamplona. En la cuenca de los Arbas destaca para su deficiente estado el Riquel. En el Gállego los problemas más relevantes aparecen en su tramo final, ya en las inmediaciones de Zaragoza. En la subcuenca del Cinca se encuentra particularmente deteriorado el eje del Flumen e Isuela, en particular aguas debajo de Huesca. En el Segre se identifica una zona problemática en las inmediaciones de La Seo de Urgell y otra en el entorno de Lleida.

En la margen derecha, se identifican fuertes deficiencias en el estado de los tramos medios de Glera y Najerilla, así como en las zonas bajas de Leza y Cidacos. Ya en Aragón, destaca el deficiente estado del eje del Jalón prolongado por el Jiloca; y también el tramo medio y bajo del río Huerva. También se identifican otras zonas problemáticas en los tramos finales de Aguasvivas, Martín, Guadalope y Matarraña.

El eje principal presenta, en general, un estado deficiente o malo, en particular por los resultados de los indicadores hidromorfológicos.





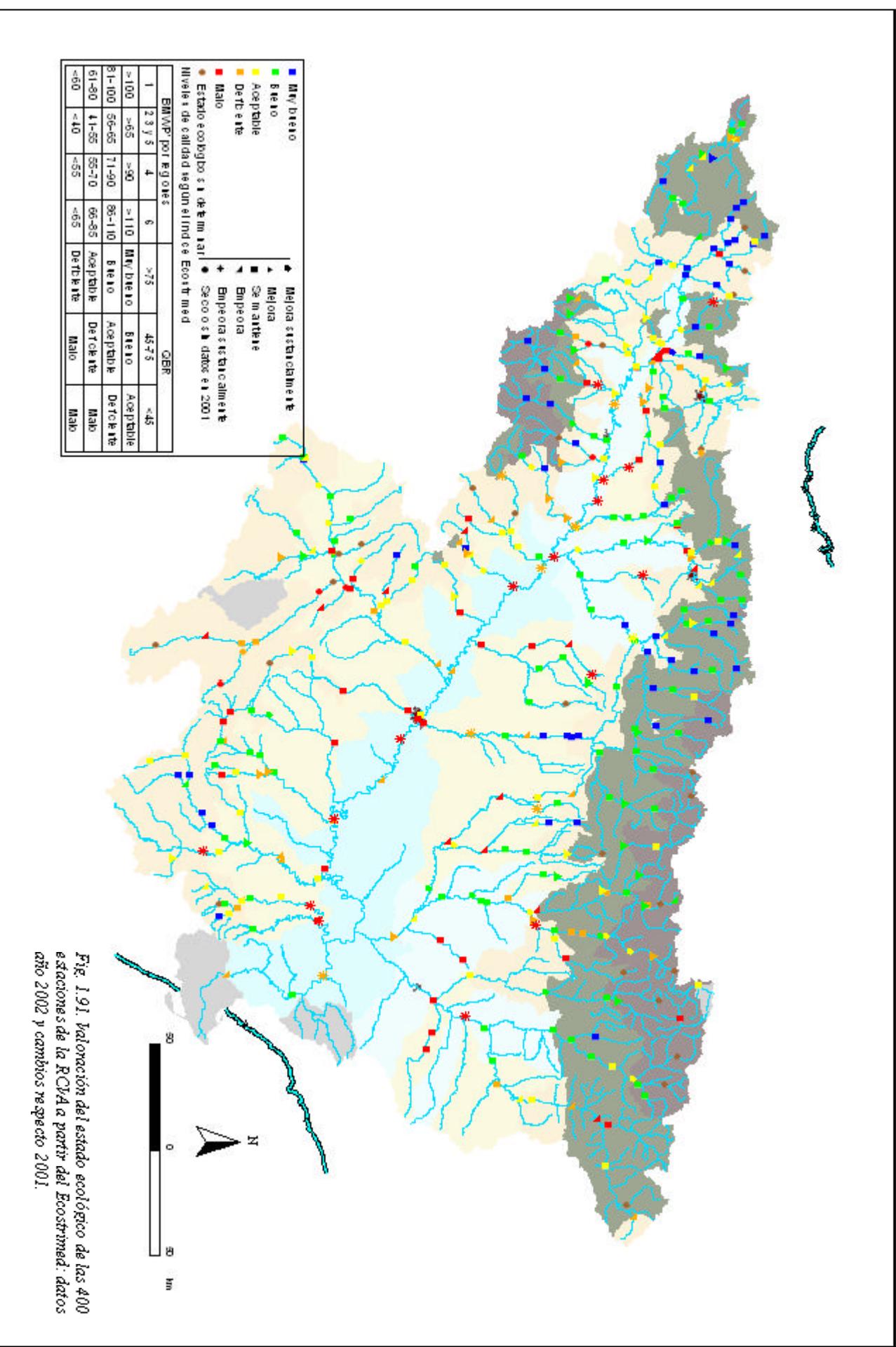


Fig. 1.91. Valoración del estado ecológico de las 400 estaciones de la RCDa a partir del Ecostr med: datos año 2002 y cambios respecto 2001.

El panorama presentado pretende ser indicativo de cual puede ser la situación de la red fluvial de la demarcación a finales del año 2004. Evidentemente no se trata de una valoración formal puesto que todavía no hay redes ni métricas ajustadas, pero sí se dispone de una abundante información que no debemos ignorar.

1.3.3. Rasgos hidrogeológicos

Aquella parte de las precipitaciones que finalmente no se evapora da lugar a la denominada lluvia útil, puesto que produce escorrentía. Esta escorrentía, favorecida por la gravedad, percola en el medio poroso a través de un conjunto de procesos que se agrupan bajo la denominación de infiltración, cuya tasa dependerá de las características del terreno (cubierta vegetal, permeabilidad vertical, relieve...) y de las del fluido (agua con determinados contenidos en sustancias disueltas), en particular de su temperatura. Ahora bien, en función de lo indicado la capacidad de infiltración en un terreno tomará un valor u otro, y superado un cierto umbral se producirá la acumulación superficial en charcos, que si la lluvia continua terminarán por desbordar dando lugar además a la escorrentía superficial. Por su parte, el agua infiltrada circulará por gravedad a través de una zona no saturada hasta que llegue a determinados horizontes del subsuelo donde se concentrará formando acuíferos, por los que tiene lugar la escorrentía subterránea.

Cuando la lluvia cese dejará de alimentarse la escorrentía; la superficial desaparecerá rápidamente y únicamente persistirán los diferentes mecanismos de escorrentía subterránea, que al igual que ocurre con la superficial se irán agotando sucesivamente siguiendo una ley exponencial del tipo de e^{-at} , correspondiendo coeficientes de agotamiento (a) más pequeños a los sistemas más duraderos por ser más lentos en la descarga, lo que también facilita el que sean los sistemas que pueden acumular mayor cantidad de recursos en forma de reservas seculares.

A nadie se le escapa que aún tras largos periodos sin lluvia muchos ríos que no disponen de embalses superficiales siguen llevando notables cantidades de agua; agua que, salvando lo que pueda suponer la fusión de la nieve, evidentemente no procede de la escorrentía superficial. La procedencia hay que buscarla en sistemas más lentos, hipodérmicos y subterráneos, ya que el caudal que circula por un río tras un periodo sin lluvia no es otra cosa que las reservas subterráneas vivas

almacenadas en los acuíferos que se van desaguando gravitacionalmente.

En la escorrentía subterránea la porosidad eficaz del terreno condiciona la permeabilidad y con ello el movimiento del agua, que se desplaza, generalmente en régimen laminar siguiendo la ley de Darcy, hacia los correspondientes niveles de base manifestando un gradiente piezométrico. Cuando la superficie piezométrica intersecta con la topografía, la escorrentía subterránea puede descargar en superficie, aparecerán así manantiales o zonas de rezume a través de los que el agua de los acuíferos se incorporará a la red de drenaje superficial (arroyos, torrentes, ríos).

Como se puede comprender, el volumen de agua almacenado en los acuíferos como reservas subterráneas es enormemente mayor que el volumen de agua existente en los ríos, si bien su explotación sostenible es limitada. De este modo la explotación de la escorrentía subterránea se realiza con obras que únicamente abordan el problema de la captación, puesto que la existencia del reservorio es un hecho que viene dado por la naturaleza; sin embargo, la explotación de los recursos en superficie obliga no solo a realizar una obra de captación, sino que habitualmente también se precisa la construcción de un depósito o embalse capaz de aumentar el volumen almacenado disponible, con los crecientes problemas de diverso carácter que cada solución lleva consigo. La principal dificultad para explotar la escorrentía subterránea es la localización de los acuíferos productivos con adecuada calidad y la captación y extracción sostenible de sus recursos, para ello hay una tecnología muy desarrollada pero que, desafortunadamente, no está suficientemente popularizada.

Cada necesidad de regulación deberá ser estudiada individualmente, valorando oportunamente en función de objetivos definidos la participación que debe darse a cada sistema de regulación: natural, subterráneo o superficial, este último especialmente interesante para la laminación de las crecidas y flujos rápidos. Diversos estudios vienen a demostrar que en el aprovechamiento conjunto y coordinado con distinta participación de las diferentes estrategias de regulación puede encontrarse la solución más conveniente.

Atendiendo a lo dicho, no cabe hablar de aguas superficiales y aguas subterráneas manifestando con ello la previsible existencia de dos fuentes distintas de recursos, únicamente se tiene agua. La misma gota que haya

estado circulando durante años por los acuíferos del Jalón, por los pirenaicos o por los de los páramos burgaleses puede hoy estar en el embalse de Mequinzenza y mañana en la fase atmosférica del ciclo hidrológico.

De los 18.217 hm³/año de recursos totales que fueron valorados para la cuenca del Ebro en su Plan Hidrológico (PHCE, Memoria, Anexo 3), se estima que entre un 24 y un 40% proceden de la lenta descarga de los acuíferos. Estos porcentajes son mucho más elevados si consideramos los recursos en puntos de la red fluvial situados en los márgenes ibérico o pirenaico, cuando los ríos salen de las zonas montañosas en las que existen grandes acuíferos regionales. Así, estudiando los hidrogramas en las estaciones de aforo y descomponiéndolos en los diferentes mecanismos de agotamiento que han podido ser identificados, se ha podido elaborar la tabla 1.5., en la que se muestran, para los mecanismos identificados como lentos ($\alpha < 0,1$)¹ los siguientes datos: aportación debida a ese mecanismo expresada en tanto por ciento respecto a la aportación total, valor del coeficiente de agotamiento (días-1), tiempo en días en que el caudal del mecanismo de escorrentía se reduciría a la mitad si no tuviese lugar ninguna recarga y volumen de reservas vivas (hm³) que tienen cabida en ese sistema de drenaje.

Ciertos sistemas destacan por el gran volumen de reservas vivas que puede tener almacenadas en los mismos: alto Najerilla, cuencas alta y media del Jalón, alto Guadalupe, tramos altos y medios de Ega y Arga, con Urederra, Araquil y Ulzama, alto Aragón, Irati, alto Gállego, alto Cinca, tramo medio del Ésera, alto y medio Noguera Ribagorzana, medio Pallaresa, cabecera y medio Segre.

La fusión de la nieve acumulada durante el invierno en las cimas de los Pirineos y de la cadena Ibérica, puede originar descargas lentas que se confundan con las debidas al drenaje de los acuíferos. Sin embargo, este fenómeno se limita a zonas concretas de nuestra cuenca: Glera en Ezcaray, cabeceras del Aragón, del Gállego, del Cinca, del Ésera, del Pallaresa y del Segre. Por otra parte, las mayores precipitaciones que se producen en las cuencas de los afluentes vasco-cantábricos y pirenaicos, hace disminuir la participación relativa de los mecanismos de escorrentía lenta respecto a la superficial rápida, aunque considerando los valores absolutos no pueden ser consideradas menores o despreciables.

Ocurre también en las altas montañas, que los macizos calcáreos suelen mostrar karstificaciones muy acusadas, produciéndose entonces una circulación subterránea rápida y turbulenta, que no responde a la ley de Darcy, y que puede implicar a fuertes caudales. Como ejemplos destacados en nuestro ámbito, se puede hacer referencia a los ríos subterráneos San Jorge y San Vicente que drenan el macizo de Larra o de la Piedra de San Martín (Belagua, alto Escá) y descargan por los manantiales de Bentia e Illamina, en Francia, un caudal módulo anual conjunto de unos 8 m³/s; también a la descarga desde las calizas devónicas que tiene lugar en el valle de Arán, sistema kárstico del Joèu (alto Garona) por donde se descarga un caudal medio de 2 m³/s procedente de la cuenca alta del Ésera. Las velocidades en estos sistemas son del orden de los cientos de metros por hora. Así pues, también se tienen descargas subterráneas no tan lentas como cabría esperar del medio poroso y que no aparecen recogidas en la Tabla 1.5.

Con todo ello, es claro que el principal garante de la continuidad del caudal de los ríos de la cuenca del Ebro es la descarga de los acuíferos regionales de la orla montañosa que rodea nuestra cuenca. Además, por la ubicación geográfica de estos acuíferos, resultan ser el origen terrestre del ciclo hidrológico estando recargados mayoritariamente por aguas procedentes de la precipitación atmosférica libres de contaminación; sus aguas son aguas de buena calidad aptas para cualquier uso, generalmente su composición química responde a la facies bicarbonatada cálcica o calcicomagnésica, y son aguas de baja mineralización.

Todo ello ya da una importancia muy notable al estudio de la escorrentía subterránea, puesto que del caudal y de la calidad del agua de los ríos depende buena parte de nuestra actividad, tanto biológica como socioeconómica. Sin embargo este no es el único papel de los acuíferos, también cabe considerar y valorar su importancia como almacenes de reservas susceptibles de ser explotadas en lugares y momentos de necesidad.

Además de los acuíferos de la orla montañosa periférica, que son mayoritariamente carbonatados y cuya porosidad se debe a la disolución, karstificación o a la fracturación de la roca; existe en nuestra cuenca un

¹ Su agotamiento es tal, que en el tiempo aproximado de una semana reducen su caudal de descarga a la mitad. Es decir, que en unos siete días pasan de caudal q a caudal $q/2$.

RÍO	LUGAR	% RESPECTO A APORTACIÓN NATURAL	COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO (días ¹)	DÍAS QUE TARDARÍA EL CAUDAL EN REDUCIRSE UN 50%	RESERVAS VIVAS (Hm ³)
EBRO	ARROYO	77	0,11	6,3	39
EBRO	PALAZUELOS	69	0,04	17,3	394
EBRO	MIRANDA	66	0,05	13,9	906
EBRO	CORTIJO	68	0,04	17,3	1.176
EBRO	MENDAVIA	72	0,03	23,1	1.282
EBRO	CASTEJÓN	78	0,05	13,9	1.800
EBRO	PIGNATELI	82	0,08	8,7	1.143
EBRO	ZARAGOZA	61	0,05	13,9	1.868
EBRO	SÁSTAGO	71	0,06	11,6	2.118
EBRO	FAYÓN	87	0,05	13,9	3.484
IZARILLA	MATAMOROSA	79	0,04	17,3	8
OCA	OÑA	83	0,02	34,7	99
ORONCILLO	ORÓN	56	0,02	34,7	32
		43	0,06	11,6	27
TIRÓN	SAN MIGUEL	86	0,05	13,9	34
GLERA	EZCARAY	52	0,06	11,6	15
		79	0,02	34,7	-
NAJERILLA	ANGUANO	55	0,02	34,7	217
REGUA	ISLALLANA	58	0,05	13,9	56
LEZA	LEZA	76	0,05	13,9	77
		37	0,01	69,3	69
CIDACOS	YENGUAS	80	0,07	9,9	21
		14	0,01	69,3	11
LINARES	IGEA	76	0,07	9,9	18
ALHAMA		-	-	-	-
QUEILES		-	-	-	-
HUECHA		-	-	-	-
JALÓN	CETINA	57	0,02	34,7	53
JALÓN	HUÉRMEDA	80	0,01	69,3	390
JILOCA	CALAMOCHA	89	0,01	69,3	90
PIEDRA	CARENAS	86	0,001	693,1	395
PIEDRA	NUÉVALOS	92	0,002	346,6	145
MESA	IBDES	70	0,001	693,1	194
HUERVA	CERVERUELA	52	0,04	17,3	8
HUERVA	MEZALOCHA	62	0,08	8,7	12
AGUAS VIVAS		-	-	-	-
MARTÍN	ALCAINE	81	0,06	11,6	55
		23	0,003	231	45
MARTÍN	HIDAR	78	0,03	23,1	32
GUADALOPE	SANTOLEA	77	0,02	34,7	70
BERGANTES	LA BALMA	44	0,08	8,7	54
GUADALOPE	ALCANIZ	59	0,04	17,3	223
		30	0,01	69,3	153
MATARRAÑA	BECETTE	87	0,01	69,3	21

RÍO	LUGAR	% RESPECTO A APORTACIÓN NATURAL	COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO (días-1)	DÍAS QUE TARDARÍA EL CAUDAL EN REDUCIRSE UN 50%	RESERVAS VIVAS (Hm ³)
ALGAS	HORTA	30	0,03	23,1	15
		1	0,002	346,6	4
NELA	TRESFADERNE	65	0,07	9,9	95
TRUEBA	MEDINA POMAR	75	0,09	7,7	33
		4	0,01	69,3	4
JEREA	PALAZUELOS	49	0,07	9,9	40
OMECILLO	BERGUENDA	85	0,08	8,7	11
BAYAS		-	-	-	-
ZADORRA	ARCE	68	0,03	23,1	127
AYUDA	BARENTEVILLA	73	0,03	23,1	43
EGA	MARAÑÓN	77	0,06	11,6	10
EGA	ESTELLA	63	0,03	23,1	116
ARGA	ECHAURI	55	0,09	7,7	197
ULZAMA	OLAVE	47	0,05	13,9	47
ARAQUIL	ASIAIN	44	0,05	13,9	175
ARAGÓN	COLA YESA	68	0,05	13,9	175
ESCA	SIGÜES	68	0,07	9,9	61
VERAL	BINIES	60	0,05	13,9	27
IRATÍ	LIEDANA	53	0,09	7,7	387
		28	0,03	23,1	262
GÁLLEGO	ANZÁNIGO	63	0,04	17,3	215
GÁLLEGO	SANTA EULALIA	83	0,03	23,1	273
ARA	TORLA	70	0,03	23,1	122
ARA	JANOVAS	66	0,02	34,7	189
CINQUETA	GISTAIN	82	0,05	13,9	43
CINCA	AINSA	52	0,02	34,7	34
		77	0,06	11,6	300
ÉSERA	SAHÚN	81	0,08	8,7	79
ÉSERA	GRAUS	85	0,06	15,6	121
ISABENA	CAPELLA	51	0,05	13,9	35
FLUMEN	QUINCENA	48	0,02	34,7	16
ALCANADRE	LAS CELLAS	52	0,03	23,1	54
ALCANADRE	PERALTA	65	0,05	13,9	70
		47	0,03	23,1	45
RIBAGORZANA	SOPEIRA	78	0,03	23,1	185
RIBAGORZANA	P MONTANESA	72	0,03	23,1	193
PALLARESA	COLLEGATS	78	0,02	34,7	368
VALIRA	LA SEU	64	0,02	34,7	222
		42	0,003	231	193
SEGRE	LA SEU	52	0,003	231	362
SEGRE	ORGAÑA	57	0,03	23,1	994
		41	0,005	138,6	900

Tabla 1.5. Mecanismos de escorrentía lentos ($\alpha < 0,1$) identificados por descomposición de hidrogramas registrados en las estaciones de aforo.

gran volumen de acuíferos con porosidad intergranular formados por rocas de origen detrítico, granososteadas, constituidas por gravas y arenas en distintas proporciones. Los afloramientos de estos acuíferos detríticos ocupan una extensión del orden de los 4.000 km² a lo largo de toda la cuenca, aunque sus mayores extensiones se encuentran en la depresión central inscrita en la orla montañosa. A diferencia de los anteriores, estos acuíferos suelen ser relativamente modernos, formados durante las alternancias glaciares del cuaternario, se encuentran en estado libre y tienen una gran porosidad eficaz, por lo que destinan al almacenamiento un notable porcentaje de su volumen (2-20%), su superficie piezométrica tiene continuidad con la superficie del agua en los ríos y su intercambio de recursos es constante; son muy vulnerables a la contaminación y, como consecuencia, es frecuente encontrar en ellos signos evidentes de contaminación, en particular por nutrientes utilizados en agricultura y por vertidos ganaderos.

La composición de sus aguas muestra variedad en las facies, desde bicarbonatadas a sulfatadas con relaciones Ca⁺⁺/Mg⁺⁺ que pueden estar próximas a la unidad. A pesar de todo ello, son explotados oportunamente para una gran cantidad de abastecimientos urbanos y para usos agrarios e industriales.

Así pues, el papel que desempeña la escorrentía subterránea en nuestra cuenca cabe considerarlo como dual. Por una parte contribuye muy notablemente al caudal circulante por la red fluvial, donde los recursos subterráneos se encuentran englobados en los caudales de los ríos y, en fin, en los 18.217 hm³ de recursos totales evaluados, en régimen natural, para toda la cuenca. Por otra parte, los acuíferos constituyen notables almacenes que pueden ser, y de hecho son, directamente explotados para satisfacer cualquier tipo de uso.

Los flujos subterráneos, por tratarse de los mecanismos de escorrentía más lentos, son también los últimos en agotarse, convirtiéndose entonces en enormemente valiosos. Por ser los últimos antes de la sequía, dependen de ellos los ecosistemas naturales y en particular los relacionados con el ambiente fluvial o con el lagunero, y también los medios de transición con el mar, la costa y nuestro magnífico delta. Por supuesto también depende de estos recursos nuestro desarrollo social y económico; en este sentido hay tres formas de aprovechar la escorrentía subterránea: una cuando se derivan caudales circulantes por la red fluvial en los que discurren unidas las escorrentías superficiales y las subterráneas, otra mediante el aprovechamiento de manantiales o cualquier otra manifestación por la que se produzca la descarga de los acuíferos, y en tercer lugar, mediante la captación directa del flujo subterráneo con pozos u otras obras a propósito.

Además de las tomas derivadas de la red fluvial, hay en la cuenca del Ebro actualmente legalizados numerosos aprovechamientos de manantiales y de pozos, que suponen un notable volumen de recursos subterráneos que se utilizan para satisfacer los distintos usos. El regadío es el más significativo por su entidad, estimamos que en la cuenca se riegan más de 40.000 hectáreas con aguas extraídas a través de pozos, y que del orden del 50% son instalaciones complementarias para cubrir las necesidades de riegos desarrollados a partir de tomas superficiales. Las zonas donde con más intensidad se produce el aprovechamiento de la escorrentía subterránea para este fin están situadas en el bajo Ebro tarraconense, en la cuenca del Jalón, en especial en la parte baja y en la subcuenca del Jiloca; en los aluviales del Oja y del Tirón, del Ebro, en el aluvial de Urgel donde hay numerosas instalaciones complementarias, en la fosa de Mora, en la Hoya de Huesca, y en numerosos aprovechamientos de escasa entidad que atienden directamente o apoyan el riego de pequeñas explotaciones (menores de 3 ha) repartidas por toda la cuenca. El caudal implicado en los regadíos que se atienden con regulación subterránea puede superar los 150 hm³/año. En relación con los abastecimientos urbanos, según datos tomados del IGME, podemos estar hablando de más de 700.000 personas atendidas a expensas de la escorrentía subterránea; y si consideramos únicamente los que toman agua desde pozos superamos las 250.000 personas, según datos aportados en los expedientes de concesión.

Las captaciones con pozos son una solución estratégica para el abastecimiento de granjas, en muchos casos

apartadas de las redes de distribución urbanas. Para este fin se estima que en la cuenca del Ebro se bombea un caudal del orden de los 50 hm³/año. La regulación de la escorrentía subterránea para uso ganadero es especialmente significativa las siguientes zonas: cuenca del Nela, la sierra de Urbasa, el alto Irati, la Litera, los aluviales del Ebro y del Cinca - Segre, las comarcas de Urgel y la Segarra, el somontano del Moncayo hasta el Jalón, el alto Jiloca, las sierras del bajo Aragón turo-lense, el somontano de los Puertos de Beceite y el Bajo Ebro. Al igual que la ganadería, la industria también suele recurrir al aprovechamiento de los recursos subterráneos, como complemento a las tomas de las redes urbanas o de polígonos industriales, o bien, aisladamente. Este sector usa el agua subterránea en las zonas aluviales, en particular en el eje del Ebro entre Miranda y Zaragoza, en el aluvial de Urgell, en el bajo Gállego y en la fosa de Mora; también es notable el uso industrial en la zona de bajo Ebro, en el Alto Jiloca, en el campo de Cariñena y en el somontano de La Rioja. Finalmente también se debe hacer mención al sector servicios, ya que en los núcleos de población, es frecuente que piscinas públicas y privadas, sistemas de refrigeración de edificios, riegos de jardines y otras demandas se atiendan con pozos independientemente de las redes municipales de abastecimiento. Este fenómeno complementario es notable en el casco urbano de Zaragoza y puede serlo también en ciudades como Lérida y otras de menor entidad, situadas sobre acuíferos aluviales. Considerando todos los usos descritos, se puede estimar que la utilización directa, por extracción de pozos de aguas procedentes de la escorrentía subterránea se sitúa entre los 250 y los 350 hm³ anuales.

Finalmente, es importante considerar la posibilidad estratégica de la utilización de la escorrentía subterránea, siempre que se valoren con rigor los rangos adecuados de explotación en términos de calidad, de caudal seguro o de sobreexplotación planificada. Así, en el año 1.995, cuando la sequía climática e hidrológica se hizo dramática, se abordaron actuaciones de emergencia basadas en la utilización de los acuíferos, se recurrió al alumbramiento y captación de recursos subterráneos en las cuencas del Jalón (Ribota e Isuela), Huecha, Queiles, Aguasvivas y Bergantes, con unos resultados satisfactorios. La instalación de infraestructuras complementarias para caso de sequía, aprovechando la capacidad y garantía que ofrecen la regulación en los acuíferos, es una indudable vía para dar robustez y abaratar costes de inversión en la configuración de los sistemas, puesto que se pueden asumir

garantías más bajas en el aprovechamiento superficial sabiendo que se cubrirán con la explotación subterránea.

1.3.3.1. Acuíferos de las cadenas Ibérica y Catalana

Los acuíferos de la cadena Ibérica y Catalana que guardan relación con la cuenca del Ebro se agrupan, clásicamente, en cuatro dominios hidrogeológicos que cubren todo el territorio de la demarcación, y que de oeste a este son: 1) Demanda - Cameros, 2) Ibérico Central, 3) Alto Jalón-Alto Jiloca y 4) Maestrazgo y Catalánides. El primero (Demanda - Cameros) está limitado con la depresión del Ebro por el cabalgamiento nordibérico, hacia el sur y el oeste por la divisoria hidrográfica instalada sobre materiales de baja permeabilidad y al este por la traza del río Alhama de comportamiento efluente. Engloba a los materiales de la denominada "franja móvil de La Rioja". Los acuíferos se han desarrollado preferentemente en litologías carbonatadas del Jurásico.

El dominio Ibérico Central está limitado al nordeste por el cabalgamiento nordibérico, al este por el relevo estructural de la falla nordibérica que bordea la Sierra de Arcos, al suroeste por el umbral paleozoico de Ateca y al oeste por el río efluente Alhama. Los acuíferos más importantes aparecen en rocas carbonatadas jurásicas (somontanos del Moncayo) y en piedemontes ibéricos (campo de Cariñena).

El dominio ibérico del Alto Jalón-Alto Jiloca está limitado al norte por el umbral de Ateca y la prolongación de la estructura Ateca-Castellón; el límite meridional viene dado por la extensión de los afloramientos permeables hasta encontrar su límite más cercano a la divisoria de cuenca. Los acuíferos principales se encuentran asociados a laxos sinclinales, a parameras carbonatadas jurásicas y cretácicas y al relleno detrítico de fosas intramontanas (Alto Jiloca).

Finalmente, el dominio ibérico Maestrazgo-Catalánides está limitado por el relevo de la nordibérica que bordea la sierra de Arcos, continuando por el norte según la traza del río Ebro en la zona de grandes embalses (Mequinenza, Ribarroja), al llegar a Flix el límite bordea la cadena catalana hasta la divisoria de cuenca frente a la sierra de Prades. Al suroeste se limita por la prolongación de la estructura Ateca-Castellón, mientras que hacia levante queda abierto mostrando la continuidad estructural e hidrogeológica del Maestrazgo hacia el Mediterráneo. Incluye también

toda la zona de desembocadura del Ebro y su delta. Aquí se dan diversas tipologías de acuíferos, predominando los carbonatados kársticos y los detríticos porosos.

El tránsito entre la cadena Ibérica y la depresión del Ebro tiene un particular significado hidrogeológico ya que la mayor parte de la escorrentía subterránea no puede atravesar las estructuras citadas y, o bien se descarga a través de manantiales y a los ríos allá donde las cortan, o queda confinada obligándose a salir a la superficie por manantiales significativos. Las manifestaciones hidrogeológicas ligadas a este hecho tienen unas características comunes, por un lado las descargas del acuífero profundo aparecen en plena depresión con elevado caudal y con escasas oscilaciones hidrológicas en su hidrograma; se trata de aguas apreciablemente mineralizadas con facies hidroquímica bicarbonatada cálcica, temperatura de emergencia anormalmente alta y elevados tiempos de residencia en el recorrido subterráneo.

Entre las surgencias más destacables de la cadena hacia el valle del Ebro cabe citar las salidas al río Matarraña en Beceite (manantiales del Parrizal y otros), al río Guadalope en los Marjales y los Fontanales de Calanda con unos 1.000 l/s, las descargas al Martín en Alcaine, Oliete y Baños de Ariño, entre las cotas 600 y 400 m.s.n.m., con unos 1.200 l/s en conjunto; también los manantiales de La Cultía (15 l/s), Codo (50 l/s) y Mediana (120 l/s) en las cuencas del Aguasvivas al Ginel; el de la Virgen de Muel con unos 100 l/s; las numerosas surgencias al río Jalón, entre las que cabe destacar los Ojos de Pontil y Toroñel con más de 500 l/s en conjunto a los que hay que añadir diversas surgencias directas al río; en la parte alta de la cuenca del Jalón tenemos los manantiales de Jaraba y Alhama de Aragón, que constituyen la manifestación hidrotermal más importante en cuanto a caudal y temperatura de la península con unos 500 l/s y 34°C. En el Huecha destacan los manantiales de la zona de Bulbiente - Borja (Rivas, Vargas, Cazuelas, Balseta, Bóveda, Cerezo...) con unos 500 l/s. También hay otros manantiales que resultan de flujos más someros, como los de Añón (Fte. del Rey, del Prado y Cuevas de Añón) con unos 300 l/s. Más arriba, en la cuenca del Queiles destacan los manantiales de Vozmediano, Ojillos de Ágreda y Ojo de San Juan en Tarazona, que en conjunto superan los 1.000 l/s de caudal medio. En la cuenca del Alhama se tienen los manantiales de Fitero y de Añavieja - Dévanos, que descargan unos 600 l/s entre todos. Son igualmente notables los manantiales de Torrecilla en Cameros que salen al río Iregua, los de la cabecera del

Najerilla y los de Brieva en Cameros, que en conjunto superan los 400 l/s. En la cuenca del Tirón destacan los manantiales del Glera entre Ezcaray y Ojacastro y los del Tirón en Garganchón, cuya suma puede estar cercana a los 300 l/s; además en la cabecera del Oca está el manantial de San Indalecio que descarga unos 50 l/s y constituye la descarga más occidental de la Ibérica hacia la cuenca del Ebro.

Los acuíferos desde los que se producen estas descargas son mesozoicos, de naturaleza calcárea, calcodolomítica o dolomítica; sus gradientes piezométricos son bajos, del orden del 3 al 6 por mil, indicando una elevada permeabilidad y transmisividad del conjunto acuífero.

Estos acuíferos carbonatados son en general de los llamados de flujo difuso, o aceptablemente difuso, se instalan en las calizas marinas del Triásico (litofacies *Muschelkalk*), del Jurásico y del Cretácico, en particular en las sucesiones del grupo Renales formadas por las conocidas Brechas y Carniolas de Cortes de Tajuña y las calizas de Cuevas Labradas, atribuidas al Liásico; y en las dolomías del Cretácico superior (Dolomías del Pantano de la Tranquera, de la Ciudad Encantada o del Barranco de los Degollados). Las porosidades son diagenéticas para los niveles de carniolas y de dolomías, también existen porosidades debidas a la fracturación, microfracturación o diaclasado más o menos penetrativo. Ambos sistemas desempeñan papeles de almacenamiento y de conducción. No obstante, en algunos niveles estratigráficos y con reducida extensión geográfica también llegan a desarrollarse sistemas de conductos preferentes entre la masa capacitativa que posibilitan regímenes que no se atienen a la ley de Darcy. Ejemplos de ello aparecen en la periferia del Moncayo (Zaragoza - Soria), en las sierras riojanas y en las parameras de Teruel. Todos estos acuíferos tienen un alto almacenamiento, reflejan piezometrías regionales y garantizan la regulación natural. Salvo excepciones concretas, no hay grandes sistemas cársticos en sentido estricto.

Entre las consecuencias de todo ello cabe mencionar, para las partes bajas, e incluso medias, de las cuencas, la escasa coincidencia entre las divisorias hidrológicas e hidrogeológicas, es decir, entre las correspondientes a la escorrentía superficial y a la escorrentía subterránea, entendiéndose además que esta última implica a mayores volúmenes. Así ocurre, por ejemplo, que la infiltración en la cuenca del Aguasvivas se dirige mayoritariamente hacia la cuenca del Martín y, en otro sector, hacia la cuenca del Ginel y demás descargas del

norte de Belchite (Zaragoza); parte de las aguas infiltradas en la cuenca del Huerva se dirigen hacia el Jalón, como también van al Jalón recursos infiltrados en las cuencas hidrográficas del barranco de Huechaseca y de un sector del Isuela (sinclinal de La Cabota, cuenca del Jalón).

1.3.3.2. Acuíferos del Pirineo

Los estudios hidrogeológicos de los Pirineos vienen considerando tres dominios hidrogeológicos claramente diferenciados: 1) Vasco Cantábrico, 2) Sinclinal de Jaca - Pamplona y 3) Sinclinal de Tremp.

El dominio pirenaico Vasco Cantábrico queda limitado al sur por el cabalgamiento surpirenaico, al este por el río Arga de comportamiento efluente y en el resto de su perímetro por el límite de los afloramientos permeables cercano a la divisoria hidrológica de la cuenca con las de vertiente atlántica. Este dominio se caracteriza por la abundancia de formaciones carbonatadas con fuerte desarrollo cárstico, del Cretácico superior y del Eoceno, en estructuras sinclinales (Villarcastro), parameras (La Lora, Urbasa, Andía, Lóquiz, Aralar) que facilitan el desarrollo de acuíferos libres muy extensos, y conglomerados terciarios.

El dominio pirenaico del sinclinal de Jaca - Pamplona también está limitado al sur por el cabalgamiento surpirenaico (frente de Gavarnie), los ríos efluentes Arga y Cinca por el oeste y este respectivamente, y por el límite de los afloramientos permeables englobando la divisoria de cuenca con la demarcación francesa Adour-Garona al norte. Viene a corresponder con la cuenca turbidítica de Jaca y con las dos alineaciones montañosas que separa, al norte las sierras interiores pirenaicas: Ezcaurri, Telera, Tendeñera, Monte Perdido; al sur las sierras exteriores: Santo Domingo, Gratal, Gabardiella, Guara. También son las rocas carbonatadas del Cretácico superior, y en especial del Eoceno, las que dan lugar al establecimiento de los principales acuíferos en este dominio.

Por último, el dominio pirenaico del Sinclinal de Tremp completa el ámbito hidrogeológico de los Pirineos. Está limitado al sur por el cabalgamiento surpirenaico (frentes de la Unidad Surpirenica Central y Pedraforca), por el río efluente Cinca al oeste y por el límite de los afloramientos permeables sobre la divisoria hidrográfica y la frontera francesa. Esta unidad alberga grandes mantos tectónicos. Topográficamente viene a coincidir con las sierras de Cotiella, Turbón, Cadí, Boumort, Carrodilla, Montsec. Los acuíferos más significativos

de la zona se instalan en calizas del Devónico, del Cretácico superior y del Eoceno, también en formaciones detríticas.

Los acuíferos pirenaicos están condicionados por los fuertes gradientes topográficos que se dan en la zona y por la influencia de los procesos glaciares y periglaciares que han favorecido mucho la carstificación sobre unas litologías predominantemente carbonatadas atribuidas al Devónico y al Carbonífero, al Cretácico (calizas de Subijana, calizas con Lacazina) y al Eoceno (calizas de alveolinas, formación de Guara, calizas de Boltaña). Aunque con menor extensión, también aparecen acuíferos en materiales detríticos antiguos (areniscas de Areny) o modernos en sedimentos aluviales o fluvio-glaciares.

La porosidad diagenética no es notable en las formaciones calcáreas del Pirineo, predominan los acuíferos con flujo mixto donde los sistemas de fracturas favorecen el almacenamiento y existen otros sistemas conductores de naturaleza cárstica. Los numerosos acuíferos de las sierras vasco navarras (Urbasa, Lóquiz, Andía...) presentan sistemas de doble porosidad donde una red mayor que favorece la circulación recoge la descarga del sistema capacitativo menos permeable que ocupa el mayor volumen del acuífero, a su vez alimentado a través de un sistema cárstico vadoso que permite la recarga.

Los complejos endocársticos de desarrollo espeleológico son frecuentes en la montaña pirenaica y vasco-cantábrica; su distribución va desde las zonas de grandes cavidades burgalesas (Ojo Guareña, por ejemplo, en la cuenca del Nela), pasando por la sima de San Martín en el alto Escá, y llegando a los sumideros de Cupierlo en Guara o de Aigualluts y la Renclusa en el alto Ésera.

Las aguas drenadas por los acuíferos pirenaicos son en su mayoría de composición química bicarbonatada cálcica con poca mineralización. Su descarga alimenta a los ríos localizando las salidas en notables manantiales que llegan a mostrar elevadas puntas de caudal: Reocin en el Polla, Santa Casilda y Oña en el Oca, los del desfiladero y San Antón en el Oroncillo, Sobrón en el Ebro, Nanclares en el Zadorra, Peñacerrada en el Inglares, Araia en el alto Araquil; Ancín, nacedero del Urederra e Itxako en el Ega, los de Riezu en el Salado; Arteta, Echauri e Ibero en la zona de confluencia Arga - Araquil, los de Bentia e Illamina en el Santa Engracia (vertiente atlántica en Francia), Isaba y Salvatierra en

el Escá, Villanúa en el Aragón, Batanes y Traconeras en el Gállego; las descargas de la sierra de Guara en la Tamara, San Julián de Banzo y Bastarás a la cuenca del Alcanadre; Fornos y Chorros en el Cinca; Pubilla, San Pedro y San Cristobal en el Ésera, Güells del Joèu y Aigüeira en el Garona, la Font Bordonera en el Segre, los de San Quintín en la Ribera Salada, la Fou de Bor en el alto Segre y los nacimientos del Cardoner y del Llobregat, en las cuencas internas de Cataluña, como descargas del manto de Pedraforca, fuera ya de nuestra cuenca. Entre todos los ríos que cruzan el Pirineo, Arga y Cinca son los más encajados y hacia ellos se dirige buena parte de la escorrentía subterránea regional.

1.3.3.3. Acuíferos de la Depresión del Ebro

Entre los dominios hidrogeológicos pirenaicos e ibéricos se inscribe el dominio hidrogeológico de la Depresión del Ebro. Entre las grandes estructuras tectónicas que limitan las cadenas periféricas, fallas nordibérica y surpirenaica, se extiende la depresión del Ebro, que viene a corresponder con la antigua cuenca endorreica oligoceno - miocena. Aquí los grandes acuíferos son de naturaleza detrítica con porosidad intergranular, y se encuentran en estado libre. En general los buenos acuíferos de la depresión del Ebro se instalan en formaciones aluviales o glaciares, aunque también se encuentran algunos acuíferos de interés desarrollados en rocas carbonatadas (calizas de Tárrega), o calco-margoevaporíticas y facies mixtas (páramos de La Muela, Albarracín, plataforma de Monegros) de interés mucho más local.

Los principales acuíferos aluviales están ligados a grandes ríos, como el Ebro, y las partes medias y bajas de Aragón y Gállego.

En este dominio hay una notable extensión de territorio donde no existen acuíferos que hasta ahora hayan despertado el interés de los usuarios o de los investigadores. Se trata de la zona donde afloran los materiales margoevaporíticas con elevada presencia de yeso y halita generados como fruto de la sedimentación lacustre en la cuenca endorreica neógena.

1.3.3.4. Calidad de las aguas subterráneas

A partir de una consulta realizada el 25 de septiembre de 2002 a la tabla de datos de hidroquímica de la base de datos IPA de la OPH, se concluye que se dispone de un total de 274.412 valores relacionados con las carac-

terísticas químicas del agua subterránea de la cuenca del Ebro. Estos valores se agrupan en 88 campos diferentes de los que 1 corresponde al identificador del punto de agua, 11 son descriptores de la muestra y del análisis, 50 son parámetros fisicoquímicos, 4 son parámetros isotópicos, 4 son medidas de radiación y 18 campos son descriptores para incluir cualquier dato seleccionado por el usuario. Estos datos aportan información de 16.678 análisis de campo o de laboratorio.

La representación de los valores de cada uno de los campos de la tabla de hidroquímica de la IPA en comparación con los valores que son esperables para aguas subterráneas ha permitido realizar una primera valoración de la calidad de la información contenida en la base de datos y una primera descripción de los descriptores contenidos en la base de datos.

Cualquier descripción hidroquímica se ha de basar en el mayor número de datos con la mejor calidad posible. Por este motivo, se ha realizado una depuración de la información química en la base de datos IPA con el objetivo de llegar a seleccionar los análisis químicos completos que cumplen unas condiciones de calidad.

Al finalizar el proceso de depuración se dispone de un total de 6.052 análisis químicos completos en toda la cuenca del Ebro, que aportan información de 2.146 puntos.

El 34 % de los puntos de agua citados se encuentran en el dominio hidrogeológico de la Depresión del Ebro. Los Dominios Vasco-Cantábrico, Central Ibérico y Maestrazgo-Catalánides presentan cada uno de ellos entre el 10 y el 13 % del total de puntos de agua. El Dominio Demanda-Cámeros es el que menor porcentaje presenta (4,71 %). El 3,45 % de los puntos de agua se sitúa fuera de los límites de la cuenca del Ebro. Existe una buena correlación entre número de puntos de agua contenidos en cada dominio con el número de análisis químicos realizado en cada uno de ellos.

La densidad media es de un punto cada 15 km² y la densidad mediana es de un punto cada 26 km². El valor máximo se da en el aluvial del Oja con un punto cada 2,1 km². Analizando el número de análisis por km² se tiene un valor máximo en el aluvial del Cidacos con 2,2 análisis/km².

La asignación de las litologías captadas por cada uno de los puntos de agua permite concluir que el 63,2 % de los puntos de agua aporta información de litologías

detríticas (35,1% son detríticas gruesas, 26,9 % son finas y el 1,2 % restante es de facies detríticas sin asignar a ninguno de los dos tipos anteriores). El 26,9 % de los puntos de agua se encuentran en litologías carbonatadas, el 4,6 % se ha asignado a litologías del tipo "Terciario mixto del centro de cuenca", que son litofacies margo-detríticas con presencia de yesos y sales características del centro de la cuenca del Ebro, el 2,4 % del tipo evaporítico, el 2,1 % del tipo silíceo, el 0,6 % del tipo intrusivo y el 2 % metamórficas. La asignación de cada uno de los puntos de agua a cada una de las litologías es una tarea que supone la asunción de numerosas hipótesis de simplificación.

El número de análisis promedio por punto de agua es de 2,82 con un máximo de 49 análisis en el punto 2509-7-0103 (Redomada). El 55 % de los análisis químicos presentan únicamente un análisis químico y el 90 % de los puntos tiene menos de ocho análisis. Y su procedencia es diversa: IGME, CHE, Universidades...

El error medio del balance para los 6.052 análisis químicos es -0,18 % y la mediana es 0,05 %. El 90% de los análisis considerado se encuentra dentro del rango comprendido entre -6 y 6 %.

El TSD medio de todos los análisis es 1.612 mg/l y la mediana es 644 mg/l con un valor máximo de salinidad medida de 153.736 mg/l que corresponde al punto 2916-8-0013 (pozo 50) situado en las proximidades de una laguna salada de los Monegros que sufre un proceso de disolución de yesos y halitas y una posterior evaporación.

Las mayores salinidades se registran en el dominio de la Depresión del Ebro (media de 3.186 mg/l y mediana de 1.248 mg/l). Los dominios menos salinos son los más montañosos, con mayores precipitaciones y mayor lavado de los acuíferos. Son los dominios pirenaicos del Sinclinal de Tremp y de Jaca-Pamplona, con unas salinidades medianas de 377 y 367 mg/l, respectivamente. El dominio de la Demanda-Cámeros presenta valores de salinidad en el rango de salinidades bajas comparables con los dos dominios menos salinos. Sin embargo, en salinidades altas presenta valores bastante elevados.

Las muestras más salinas se encuentran en los puntos de agua asignados a las litologías del "Terciario mixto del centro de cuenca" (media de 12.331 mg/l y mediana de 6.350 mg/l). La litología evaporítica también proporciona salinidades elevadas (media de 2.564 mg/l y

mediana de 819 mg/l). Las aguas menos salinas corresponden con las litologías silíceas (media de 264 mg/l y mediana de 201 mg/l). Para el resto de litologías se encuentran los siguientes valores, rocas carbonatadas (media de 879 mg/l y mediana de 477 mg/l), detrítica gruesa (media de 1.192 mg/l y mediana de 887 mg/l y detrítica fina (media de 890 mg/l y mediana de 594 mg/l).

Como se ha explicado, los valores de menor salinidad se localizan en las áreas montañosas periféricas. La correlación entre cota del terreno del punto de agua y salinidad indica que a mayor cota la salinidad es menor. Este hecho se observa con más claridad en los dominios de Demanda-Cameros, sinclinal de Tremp y especialmente en el dominio del sinclinal de Jaca-Pamplona. En puntos situados a cotas mayores de 1.100 msnm no cabe esperar salinidades mayores de 500 mg/l.

La correlación entre la conductividad eléctrica medida a 20 °C y el TSD se ajusta a la expresión:

$$CE \text{ (mS/cm)} = 1.20 \times \text{TSD (mg/l)}$$

para conductividades eléctricas menores de 30.000 mS/cm con un coeficiente de correlación r^2 de 0,978. La mayor parte de las muestras (más del 70 %) tiene un carácter bicarbonatado cálcico con presencia de una cierta cantidad de sulfato, magnesio y calcio. Existe una evolución del tipo de carácter químico con la salinidad. De esta manera:

- Las aguas con un TSD menor de 500 mg/l son básicamente bicarbonatadas cálcicas.

- Las aguas con un TSD entre 500 y 1.000 mg/l presentan un contenido aniónico que puede ser bicarbonatado, sulfatado, clorurado o mixto. El contenido catiónico es cálcico en la mayor parte de los casos y en algún caso magnésico-cálcico.

- Las aguas con un TSD entre 1.000 y 1.500 mg/l aumentan el contenido el sulfato y cloruro, perdiendo ya el carácter bicarbonatado y pudiendo ser sulfatadas, cloruradas y mixtas. El contenido catiónico continúa siendo cálcico y en muchos casos de tipo mixto.

- Las aguas con un TSD entre 1.500 y 5.000 mg/l presentan un carácter sulfatado (especialmente las que presentan una salinidad mayor de 2.000 mg/l)

aunque algunas de ellas mantienen el carácter clorurado. Con respecto a los cationes las aguas aumentan el contenido en sodio y magnesio, presentando un carácter sódico, mixto o magnésico.

- Las aguas con un TSD entre 5.000 y 25.000 mg/l van aumentando progresivamente el contenido en cloruro y sodio presentando un carácter sulfatado o clorurado y magnésico, mixto o sódico.

- Las aguas con un TSD mayor de 25.000 mg/l se dirigen hacia un extremo sulfatado-clorurado o clorurado y el contenido catiónico hacia un carácter magnésico sódico o sódico.

De los 2.146 puntos de agua, 1.034 contienen aguas carbonatadas, 596 son mixtas, 417 son sulfatadas y 99 son cloruradas. La composición clorurada está ligada principalmente a procesos de intrusión marina en el delta del Ebro y a disolución de evaporitas. La composición mixta se localiza en el sector central del valle del Ebro, tramos medios de los ríos Martín y Guadalupe, y Alto Jiloca. La composición catiónica presenta una dominancia de aguas cálcicas con 1.453 puntos de agua, 55 de composición mixta, 109 sódicas y 79 magnésicas.

En general puede decirse que existe una evolución del contenido químico de la composición mediana de las aguas en función de la litología de la que aportan información. De esta manera, las aguas de litologías silíceas son aguas bicarbonatadas con un contenido de bicarbonatos entre el 70 y 80%. Este contenido de bicarbonatos va disminuyendo en las aguas de litologías carbonatadas (entre 60 y 85 %), detríticas finas (entre 50 y 60 %), detríticas gruesas (40 % de bicarbonato y 40 % de sulfato), evaporíticas (ya con un carácter sulfatado, entre 50 y 60 %, bicarbonatado, entre el 30 y 40 %), y las procedentes del terciario mixto de la cuenca del Ebro, que son las más salinas con un carácter sulfatado (70 %) clorurado (30 %). La composición catiónica presenta menor variabilidad que la aniónica. Todas ellas son cálcicas (entre el 50 y 70 %) magnésico (entre el 20 y 35 %) excepto las del terciario mixto con un carácter mixto.

La composición química mediana de cada dominio hidrogeológico representada en el diagrama de Piper permite concluir que existe una evolución del carácter químico. Las aguas de los dominios Vasco-Cantábrico, Jaca-Pamplona y Sinclinal de Tremp son muy bicarbonatadas (entre 75 y 90 %). Las aguas de los domi-

nios de Maestrazgo-Catalánides, Central Ibérico y Alto Jalón-Alto Jiloca son bicarbonatadas (entre el 45 y 60%) sulfatadas. Las aguas del dominio de Demanda-Cameros son bicarbonatadas (entre el 40 y 50 %) sulfatadas (entre el 35 y 45 %). El dominio de la Depresión del Ebro presenta un carácter sulfatado (40 %) bicarbonatada (30%) clorurado (30 %). Con respecto al contenido catiónico los dominios más montañosos (Vasco-Cantábrico, Jaca-Pamplona, Tremp y Demanda-Cameros) son cálcicos (entre el 65 y 80 %), los dominios de la Ibérica (Alto Jalón-Alto Jiloca, Maestrazgo-Caralánides y Central Ibérico son cálcicos (entre l 50 y 60 %) con algo de magnesio (entre el 25

y 30 %) y finalmente el dominio de la Depresión del Ebro es cálcico (entre el 45 y 55 %), magnésico (entre el 20 y 25 %) y sódico (entre el 25 y 30 %).

El contenido en cloruro (media de 328 mg/l y mediana de 41 mg/l) presenta una tendencia al incremento con el aumento de salinidad. Esta tendencia se observa de forma similar en el contenido de sodio (media de 212 mg/l y mediana de 22 mg/l). De hecho, se ha confirmado que la relación rCl/rNa muestra pendiente próxima a 1. Este hecho indica que el origen de ambos iones es común (probablemente de la disolución en halita). Además, el hecho de que no se llege a valores

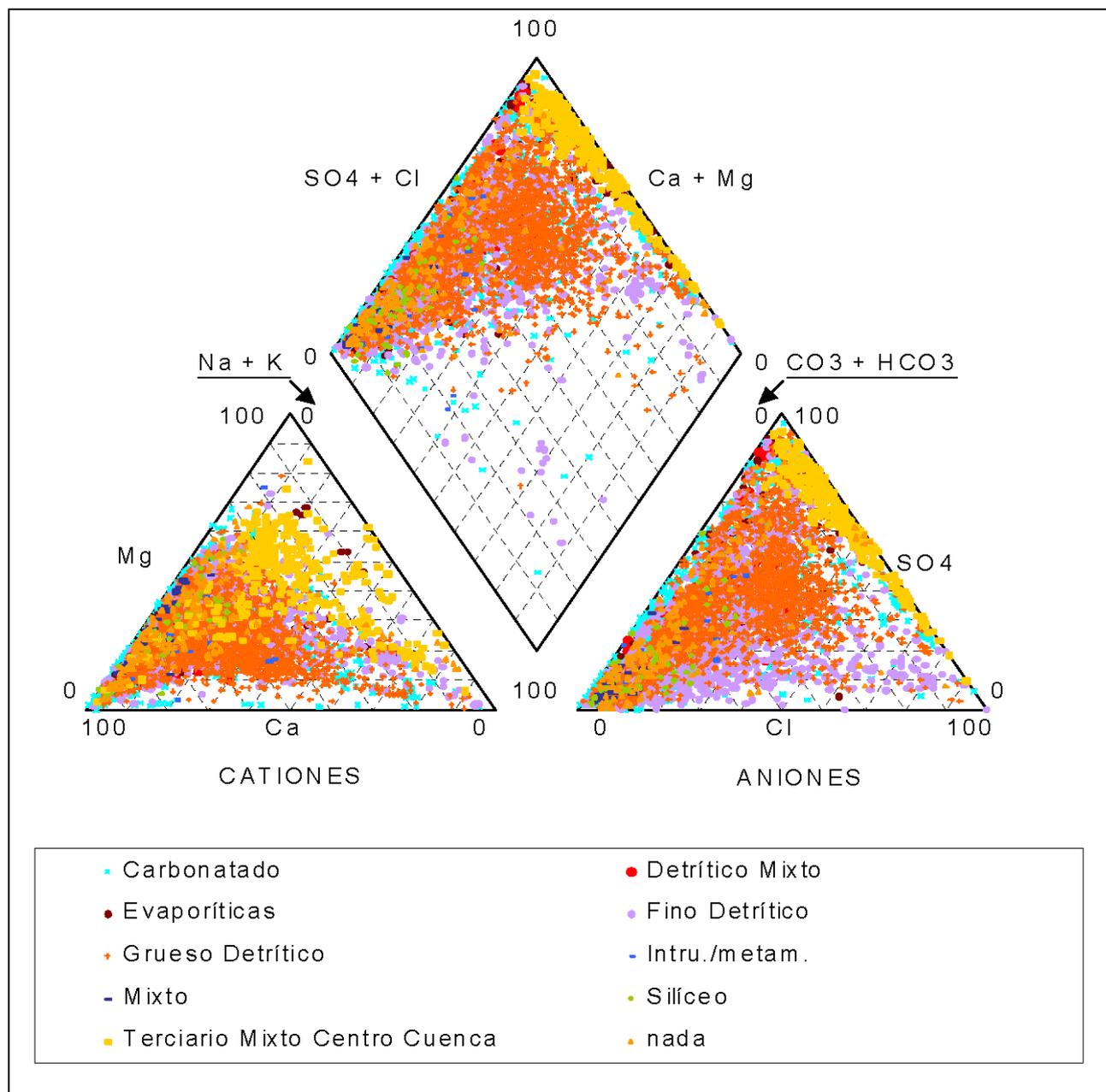


Figura:1.92: Diagrama de Piper con análisis químicos completos recopilados en toda la cuenca del Ebro.

estables de ninguno de los dos iones con el aumento de la salinidad indica que no se llega a alcanzar la saturación en las sales que proporcionan estos iones en las aguas muestreadas. Este hecho es confirmado con la evolución del índice de saturación de la halita (rango entre -11,4 y 1,01, media de -7,8 y mediana de -7,65) que no alcanza valores de saturación en ninguno de los análisis estudiados.

El contenido en sulfato (media de 531 mg/l y mediana de 116 mg/l) presenta una tendencia al incremento con el aumento de salinidad del agua, especialmente a partir de valores de salinidad mayores de 500 mg/l. Existe una adecuada correlación del sulfato con el magnesio (media de 93 mg/l y mediana de 29 mg/l) a partir de un determinado contenido de ambos iones (aproximadamente 40 meq/l). La principal fuente de sulfato de las aguas subterráneas de la cuenca del Ebro procede de la disolución de yesos. Este hecho queda claramente de manifiesto en la evolución del índice de saturación de este mineral con el TSD. El rango del índice de saturación del yeso es de -5,1 y 0,6, con un valor medio y mediana de -1,50. A partir de salinidades en torno a 2.000 mg/l se llega al equilibrio en este mineral.

El contenido en bicarbonato (media de 249 mg/l y mediana de 246 mg/l) presenta una evolución claramente diferenciada con la salinidad en comparación con la evolución observada con el cloruro y sulfato. Hasta salinidades de 600 mg/l la distribución de los valores máximos de bicarbonato se ajustan de forma excelente a la de una solución de tipo bicarbonatada cálcica, indicando que las aguas a estas salinidades se encuentran condicionadas por la disolución de especies bicarbonatadas cálcicas y magnésicas. A partir de una salinidad de 600 mg/l empiezan a entrar en juego otras reacciones químicas en la que no entran las especies bicarbonatadas y que son las que proporcionan mayor salinidad a las aguas. El contenido de bicarbonatos presenta un límite máximo que viene dado por el índice de saturación de las especies carbonatadas (principalmente calcita, dolomita y en algunas áreas magnesita). Este hecho se pone de manifiesto por el índice de saturación de estos minerales, con los que se ve que en aguas con salinidades menores de 200 ó 300 mg/l las aguas no se encuentran saturadas en estos minerales, pero que con salinidades mayores se encuentran saturadas o ligeramente sobresaturadas.

El análisis de la relación rCa/rMg pone de manifiesto la existencia de un punto de inflexión de dicha relación a partir de contenidos de calcio de 20 meq/l observán-

dose la existencia de un aumento en el contenido de magnesio con respecto al contenido en calcio.

No se ha observado una evolución de los nitratos con la salinidad dado su origen principal por contaminación humana. Tampoco se ha detectado una evolución del contenido en potasio con la salinidad.

En áreas no afectadas por contaminación, fundamentalmente las zonas de cabecera en el Sistema Ibérico y en el Pirineo, el contenido en nitratos es generalmente inferior a 10 mg/l. En el resto de la cuenca, casi todos los acuíferos están sometidos a una presión agrícola y urbana más o menos significativa, lo que se traduce en mayores contenidos de nitratos en las aguas subterráneas. Las concentraciones más elevadas están relacionadas con los acuíferos dominados por extensas manchas de regadío. La explotación de los datos procedentes de la red de control de nitratos refleja una buena concordancia entre los regadíos asentados sobre acuíferos y las zonas en las que se ha detectado contaminación difusa (figura.1.93)

Destaca, por su extensión y por el alcance de la contaminación de origen agrícola, el acuífero aluvial del Ebro, donde son muy frecuentes los valores superiores a 50 mg/l, e incluso a 100 mg/l en el tramo aguas abajo de Tudela. Sólo excepcionalmente se han registrado valores superiores a 500 mg/l en zonas muy localizadas asociadas a contaminaciones focales.

La Confederación Hidrográfica del Ebro inició en 1.999 una línea de trabajo dedicada al estudio de las contaminaciones de aguas subterráneas de origen industrial, habiéndose realizado desde entonces un conjunto de trabajos con el objetivo común de conocer y solucionar este tipo de contaminaciones en algunas zonas de la cuenca.

Con carácter general se trata de contaminaciones puntuales, causadas por compuestos orgánicos (monoclorobenceno, percloroetileno, tricloroetileno, hidrocarburos, etc.), los cuales por su persistencia son difícilmente degradables dando lugar incluso a penachos de contaminación de algunos kilómetros de longitud. Este tipo de contaminaciones afecta principalmente a los acuíferos aluviales, en zonas donde hay polígonos industriales asentados desde hace algunas décadas (por ejemplo: Miranda de Ebro en Burgos; Nájera, Logroño o Arnedo en La Rioja, entorno de Zaragoza, Monzón en Huesca, etc.). En la mayoría de los casos son debidos a la mala gestión de residuos (actual o pretérita),

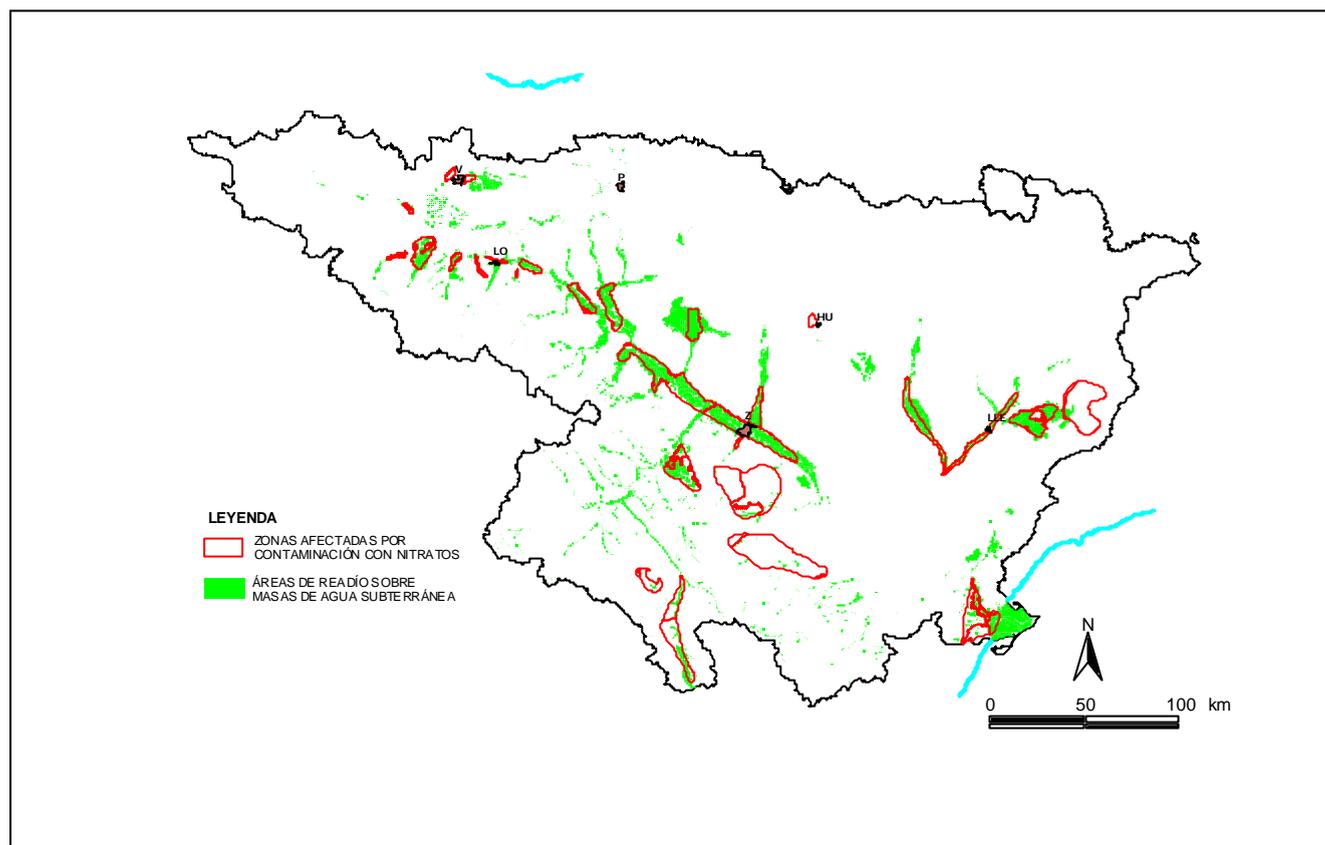


Figura 1.93. Relación entre las áreas de regadío implantadas sobre áreas permeables y zonas afectadas por contaminación difusa.

fugas de tanques de materias primas y mala gestión de vertidos.

El denominador común en el estudio de este tipo de contaminaciones es su gran complejidad técnica, lo que lleva consigo que su remediación, aunque sea técnicamente posible, resulte extremadamente costosa y lenta.

Por el momento, hasta diciembre de 2004, se han estudiado 16 casos de contaminación de las aguas subterráneas causadas por focos puntuales y persistentes en el tiempo, localizados en zonas concretas de 11 de las 105 masas que se definen.

1.3.4. Lagos y humedales

La DMA diferencia entre lagos y humedales, aunque no parece claro el momento en que un determinado espacio debe ser incluido en una u otra categoría, considerando como humedales una amplia variedad de espacios que se pueden solapar con cualquier categoría de masa de agua superficial (CE, 2003 a), y reconociendo además su posible relación, y a veces muy importante, con el agua subterránea.

En este capítulo se pretende presentar un bosquejo descriptivo de cómo son y cómo se encuentran estos humedales (lagos y otras zonas húmedas) en la cuenca del Ebro. Por ello, se incluyen todos aquellos espacios, originariamente naturales, que existen en la demarcación del Ebro y que tras diversos inventarios han ido siendo incluidos en los catálogos de zonas húmedas, y también otros espacios, semejantes a los anteriores, que han quedado fuera de anteriores catalogaciones por razones desconocidas. Para ello se ha realizado un trabajo de recopilación, cuyo primer objetivo ha sido mejorar la información ya disponible en la Confederación Hidrográfica del Ebro, preparada en su momento para la elaboración del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro (CHE, 1996) (R.D. 1.664/98, de 24 de julio). Dicha mejora se refiere a tres líneas de trabajo: 1) catalogación de los espacios, 2) digitalización de los humedales en el GIS-Ebro y 3) caracterización hidrológica de los mismos.

Como se explica anteriormente, se ha considerado humedal todo aquel espacio que ya había sido incluido como tal en diferentes catálogos de humedales de los que se ha podido disponer, entre los que destaca el Inventario Nacional de Humedales (www.mma.es).

Una vez reunidos, se han incluido otros espacios de características semejantes a algunos de los considerados, y que habían sido omitidos sin razón aparente o porque en el trabajo específico de inventario que cubría una determinada zona se había escogido un criterio de inclusión diferente al utilizado en otros inventarios de otras regiones de la cuenca. Todos estos espacios han recibido un código de demarcación que los identifica inequívocamente y se han almacenado en la base de datos del GIS-Ebro.



Fig. 1.94: Ojos de Monreal. Monreal del Campo (Teruel). Zona húmeda alimentada por una importante descarga regional de agua subterránea.

El GIS-Ebro disponía de información sobre la localización de los humedales de la cuenca del Ebro a través de una topología de puntos, que aproximadamente venían a representar el centroide de los humedales catalogados en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro. A comienzos del año 2003 el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, en su labor de apoyo a los organismos de cuenca para la aplicación de la DMA, facilitó un nuevo conjunto de archivos con topología de polígonos. En el caso de la cuenca del Ebro se incluían los humedales con un espejo de agua mayor de 0,5 ha. Partiendo de esa base topológica, se ha completado la digitalización de los polígonos correspondientes a todos los espacios considerados como humedales propiamente dichos, excluyendo de la relación completa aquellos formados por sotos fluviales ligados a un cauce activo.

Finalmente se ha realizado una caracterización hidrológica de todos los humedales incluidos en el catálogo construido. El propósito de la misma es conocer los patrones principales del comportamiento hidrológico del humedal y, de este modo, poderlos considerar lo más adecuadamente posible dentro de los requeri-

mientos de aplicación de la DMA. En particular interesa disponer de información respecto a su relación con las aguas subterráneas y, también, respecto al grado de alteración que sufre el humedal debido a la acción humana. Para este fin se ha escogido un procedimiento de trabajo inspirado en el de Manzano y otros (2002) que resuelve estas cuestiones con sencillez. Una vez documentados se espera identificar "tipos" de humedales, reconocer dentro de cada "tipo" aquellos mejor conservados o que mejor pueden servir para estudiar sus condiciones de referencia, y programar y plantear el estudio de estas condiciones de referencia para valorar el estado de todos los humedales considerados en comparación con los de referencia dentro de su "tipo".

Para reunir el catálogo de espacios susceptibles de ser considerados como humedales se ha partido de la base de datos sobre esta materia que la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHE viene manteniendo desde la preparación del Plan Hidrológico de cuenca. Así, antes de abordar este trabajo se disponía de una relación de 1.117 espacios con un amplio abanico de tipologías, desde ibones pirenaicos a criptohumedales, desde sotos fluviales a salinas. La información disponible incluía la localización y una serie de descriptores del espacio considerado, muchos de ellos (630 espacios) habían sido incluidos en el Inventario Nacional de Humedales y se disponía del código del humedal en ese catálogo, posibilitando con ello la consulta de numerosos descriptores ambientales.



Fig. 1.95. Ibón de Literola. Pirineos centrales. Cuenca del Ésera.

A comienzos de abril del año 2003, el Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) del CEDEX facilitó a esta CHE un archivo en formato GIS con nueva información sobre zonas húmedas. Dicha información, procedente en origen de la D.G. de Protección de la Naturaleza, fue completada con otros datos que obran

en el CEH. En la Confederación se cruzaron las dos bases de datos, la "vieja" de nuestro Plan Hidrológico de cuenca y la "nueva" procedente del CEH, obteniendo un total de 1.149 humedales diferenciados y situados sobre cartografía con suficiente precisión como para disponer de coordenadas UTM de sus centroides. La primera labor realizada con los 1.149 humedales ha sido su inclusión en la base de datos centralizada. Esta labor ha permitido: 1) identificar inequívocamente cada uno de estos espacios con un código de demarcación exclusivo, 2) analizar los espacios en el entorno que ofrece el sistema de información y 3) almacenar información complementaria relacionada, como son: fotografías, datos hidroquímicos, figura de protección y otros datos y descriptores diversos.

Uno de los análisis que facilita el sistema de información es el de visualización del humedal a partir de ortofotos, en su mayoría procedentes del GIS-Oleícola, y con ello, precisar su ubicación. También conocer el sustrato geológico, las presiones por afección al territorio más evidentes, y otro tipo de afecciones.



Fig. 1.96. Laguna salada de Mediana. Depresión del Ebro (Mediana de Aragón, Zaragoza).

Con ello, todos los espacios han sido revisados sobre cartografía 1:50.000 u otra de mayor escala y, la gran mayoría de ellos, sobre las ortoimágenes del GIS-Oleícola u otras de mayor resolución. Durante esta labor se ha llevado a cabo una primera catalogación de estos espacios según tres categorías o naturalezas: 1) zonas húmedas propiamente dichas, 2) sotos ligados a un cauce activo y 3) otros espacios.

Dentro de zonas húmedas propiamente dichas se incluyen aquí todos los espacios naturales individualizables

de la red fluvial y que presentan, o suelen presentar, un espejo de agua continuo en lámina libre mayor de 0,5 ha., aunque ocasional o episódicamente éste se reduzca o incluso llegue a desaparecer como consecuencia de la fluctuación de la inundación. De los 1.149 espacios considerados en la demarcación del Ebro, 664 (57,8% del total) se han incluido en esta naturaleza, en la que tienen cabida ibones, saladas, galachos separados del cauce activo y lagunas de muy diversa tipología. En el mapa de la Fig. 1.97 aparece indicadas como círculos azules.

Se han catalogado como sotos ligados a cauce activo aquellos espacios asociados a un río fluyente que es el principal responsable de su hidridación. Básicamente se encuentran a lo largo de los ríos Ebro, Arga, Aragón, Gállego y Cinca, distribución condicionada porque se ha dispuesto de inventarios llevados a cabo a lo largo de estos cauces. Son un total de 443 espacios (38,6% del total) señalados con círculos verdes en el mapa de la Fig. 1.97.

Dentro de otros espacios se incluyen aquellos que no han tenido cabida en las categorías anteriormente señaladas. Se trata de salinas artificiales, turberas, cripto-humedales, lagunas que hoy se encuentran desaparecidas... Es un cajón de sastre donde se han incluido 42 espacios (algo menos del 3,6 % del total) señalados con círculos rojos en el mapa de la figura 1.97.

Hecha esta discriminación, las 664 zonas húmedas s.s. de la demarcación hidrográfica del Ebro han sido digitalizadas a partir de la mejor cartografía de que se ha podido disponer. En general, a partir, en el mejor de los casos, de ortoimágenes 1:5.000, o cartografía 1:25.000 en el caso más burdo. De cualquier modo, cada espacio dispone de la información referida a la fuente cartográfica de la que se ha tomado el contorno de digitalización. Esta labor se ha llevado a cabo a partir de la cobertura facilitada por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, sobre la que se han modificado 98 polígonos y se han incorporado 82 nuevos.

En los metadatos de la nueva cobertura generada se describen los detalles sobre su creación y el contenido de los campos descriptores de la información, entre los que se detallan aspectos como: nombre del humedal, figura de protección que lo acoge, importancia del humedal, referencia a la norma legal donde figuran los extremos de protección indicados, fecha de la declaración y otros. Entre los descriptores propiamente topológicos se encuentra el valor de la superficie corres-

pendiente al polígono digitalizado. A partir de esta información se puede decir que entre los 664 humedales incluidos y catalogados en la cuenca del Ebro, se han deslizado 25 espacios menores de 0,5 ha., valor que a priori se había tomado como umbral para su consideración; también se encuentra que hay tan solo otros 25 espacios que son mayores de 50 ha., límite inferior para tipificar lagos según el sistema A (Anexo II, DMA). Atendiendo a este criterio de superficie digitalizada, los humedales de la cuenca del Ebro muestran la distribución de tamaños que se refleja en el histograma de la Fig. 1.98 y el gráfico de la Fig. 1.99.

El humedal de mayor tamaño entre los considerados es el conjunto de embalses de Ullívarri-Gamboa, en el norte de Álava, con una superficie de 1.447 ha.; por el contrario, el más pequeño es el Ibonet de Batisielles, en el Parque Posets-Maladeta (valle de Benasque, Huesca) con tan solo 0,06 ha. Como se puede observar en la Fig. 1.98, la distribución de tamaños es muy asimétrica (media de 14,57 ha., y percentiles 1, 2 y 3 de 1,25, 2,75 y 7,07 ha).

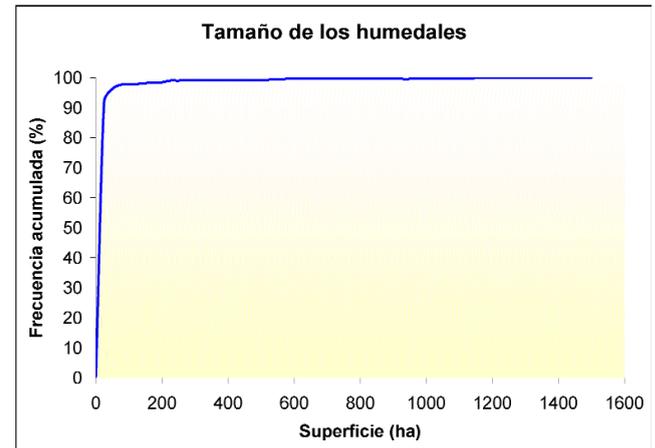
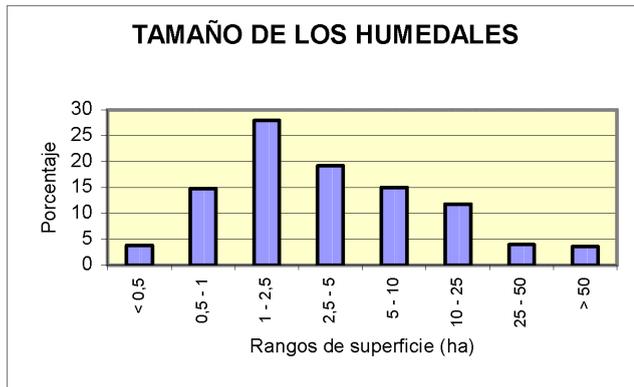


Fig. 1.98. Tamaño de los humedales de la cuenca del Ebro según la superficie del polígono digitalizado en el GIS-Ebro. Valores en hectáreas.

Fig. 1.99. Distribución de frecuencias para la superficie de los humedales de la cuenca del Ebro a partir de la extensión del polígono digitalizado. Valores en hectáreas.

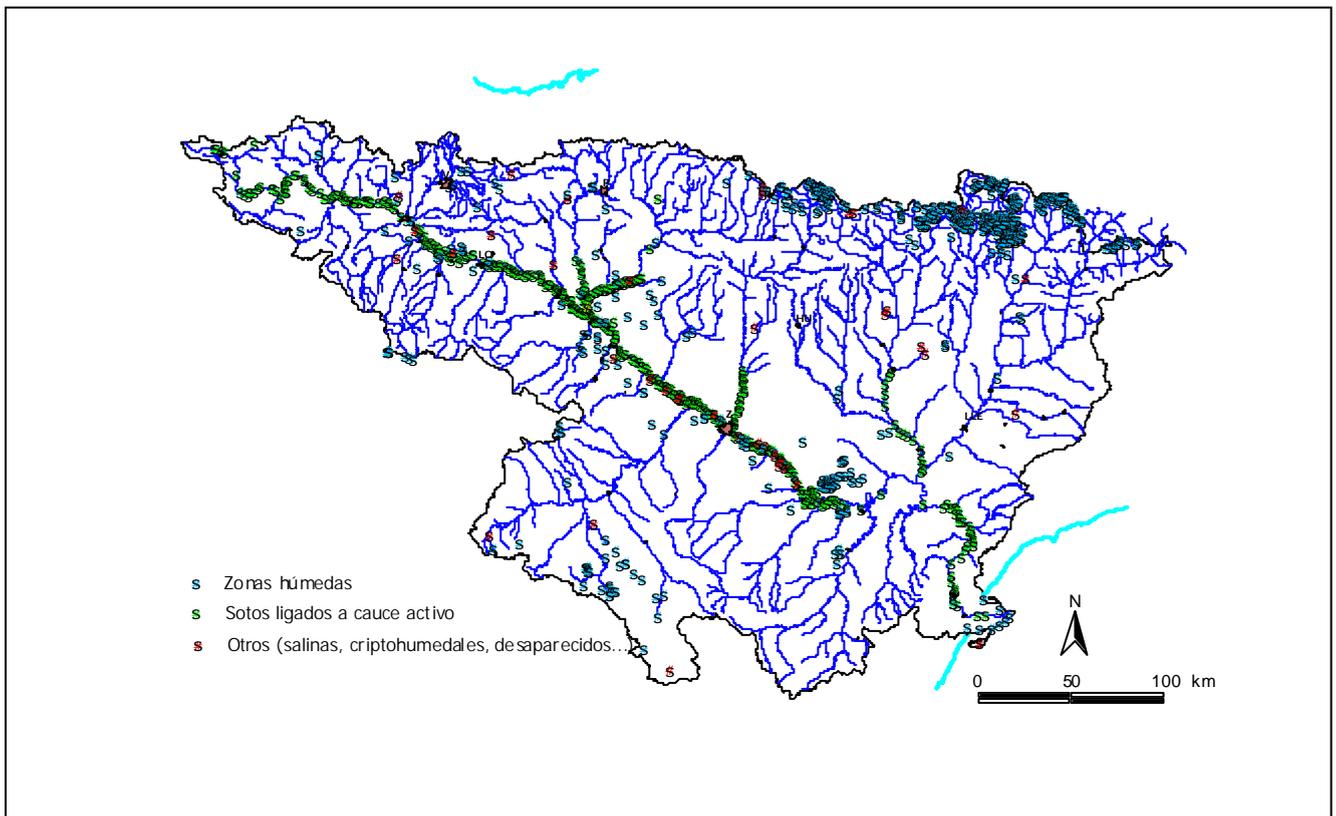


Fig.1.97 .Mapa que indica la distinta naturaleza de los humedales en la cuenca del Ebro.

1.3.4.1. Caracterización Hidrológica

Para llevar a cabo la caracterización hidrológica se ha utilizado el sistema propuesto por Manzano y otros (2002), aunque ha sido necesario realizar algunas matizaciones para su aplicación al caso que nos ocupa. Se han estudiado seis variables: 1) origen del agua, 2) modo de drenaje, 3) hidroperiodo, 4) tasa de renovación, 5) salinidad y 6) grado de intervención, que seguidamente se comentan.

Origen del agua: Se trata de describir la procedencia del agua que alimenta al humedal, siguiendo a los autores de este método de estudio, se diferencia un origen epigénico de otro hipogénico. El primero corresponde con humedales alimentados preferentemente por escorrentía superficial o vadosa, lluvia directa o local, desbordamiento de cauces, acumulación y fusión de nieve o hielo. Es decir, que se trata de humedales alimentados sin contribución significativa de las aguas subterráneas. El caso contrario es el de los humedales hipogénicos, alimentados preferentemente por la escorrentía subterránea, ya sea desde acuífero libre o confinado. Cuando en el régimen hidrológico de un humedal no podemos decir que hay un claro dominio de alguno de

los dos orígenes señalados se dice que su alimentación es mixta.

El estudio de esta variable se ha realizado aprovechando la capacidad de análisis que brinda el sistema de información IPA (V. Arqued y otros, 2003), cruzando cada humedal con la cartografía hidrogeológica y la red de drenaje superficial. El resultado de este análisis se plasma en el mapa de la fig. 1.100, en el que se han diferenciado las siguientes categorías respecto al origen del agua: humedales epigénicos (círculos azules), humedales hipogénicos (círculos verdes) de acuífero libre (tono claro) o de acuífero confinado (tono oscuro), humedales mixtos (círculo rojo).

Atendiendo a este criterio, la gran mayoría de los humedales de la cuenca del Ebro son epigénicos (80,4 %), tan solo 13 humedales (2 %) son hipogénicos y hay 116 (17,6 %) espacios con alimentación de origen mixto.

Espacialmente, los humedales epigénicos dominan en la zona pirenaica y en la Sierra de la Demanda, coincidiendo con las zonas de mayor aportación específica. También aparecen dispersos a lo largo del eje del Ebro y en algunas otras zonas de regadío (zona meridional de Navarra) donde muchas de estas zonas se encuen-

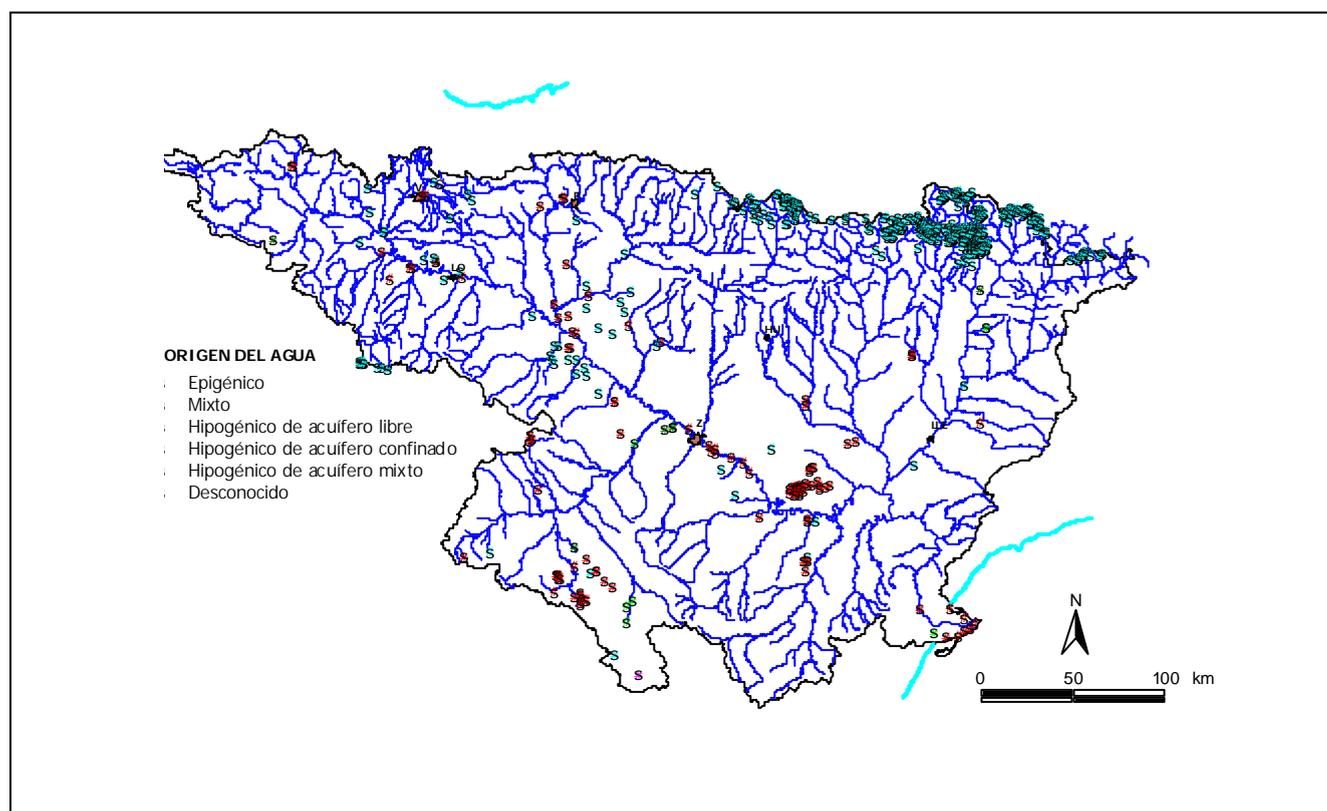


Fig. 1.100. Origen del agua que alimenta los humedales de la cuenca del Ebro.

tran ligadas y condicionadas por las necesidades de regulación dentro de los sistemas de riego. Los humedales hipogénicos se encuentran donde tienen lugar fuertes descargas subterráneas regionales y, por tanto, de características físicas (caudal, temperatura...) y químicas bastante estables, es el caso de los característicos "ojos" que se encuentran en la cuenca del Jalón-Jiloca, en la cuenca de Tresp o en el delta del Ebro, entre otros. En las zonas menos húmedas de la cuenca encontramos humedales de alimentación mixta, en los que los flujos epigénicos condicionan rápidos cambios de nivel y extensión y que precisan contribución de los flujos subterráneos para mantenerlos alimentados durante los periodos sin precipitaciones. Este es el caso de las lagunas de Monegros (García Vera, 1996) y de otros muchos humedales de la cuenca.

Modo de drenaje: En este apartado se describe el camino que siguen las aguas para el vaciado del humedal. Se distinguen humedales con drenaje abierto, ya sea siguiendo un camino superficial o subterráneo, de los propiamente endorreicos, que no cuentan con otra vía de salida que la evaporación, y que por tanto se catalogan como cerrados.

Al igual que en el caso anterior, el estudio de esta variable se ha realizado a partir de interpretación hidrológica sobre los mapas hidrogeológicos ofrecidos por el

sistema de información GIS-Ebro. Como resultado se han diferenciado las cinco categorías que aparecen en el mapa de la fig. 1.101: humedales con drenaje abierto superficial (círculos azul oscuro), humedales con drenaje abierto subterráneo (círculos azul claro), humedales con drenaje abierto sin que domine en la salida el camino superficial o el subterráneo, que por consiguiente se catalogan como de drenaje abierto mixto (círculos verdes), humedales con drenaje abierto en los que la evaporación también constituye un camino de descarga significativo para entender su funcionamiento hidrológico, catalogados como humedales de drenaje mixto (círculos naranjas) y humedales que exclusivamente se descargan por evaporación dentro de sistemas endorreicos, catalogados como cerrados (círculos rojos).

Según este criterio de clasificación, el 84% de los humedales de la cuenca del Ebro son de drenaje abierto y, tan solo el 16% lo son de drenaje cerrado. Cifras que están muy condicionadas por el elevado número de pequeñas lagunas glaciares oligotróficas (ibones o estanís) de drenaje abierto que aparecen en la vertiente meridional de los Pirineos, dentro de la cuenca del Ebro.

Hidroperiodo: Con este concepto se pretende describir el tiempo medio de permanencia de la inundación en

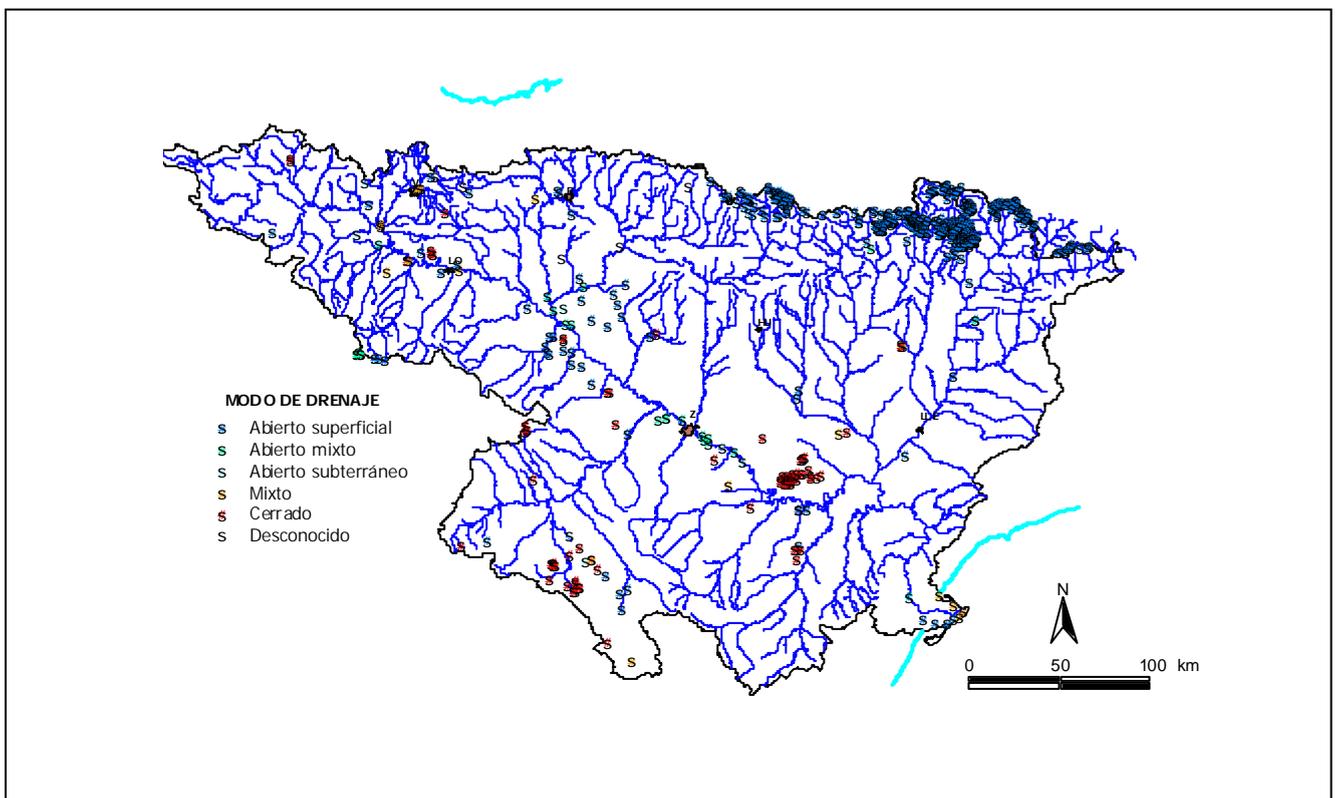


Fig.1.101. Diferenciación de los humedales según su modo drenaje.

el humedal. Se diferencian humedales permanentes de temporales; en los primeros siempre existe lámina de agua, en los segundos se reconocen momentos o periodos de sequedad en superficie, desapareciendo por completo la lámina de agua.

Entre los humedales permanentes se han distinguido los fluctuantes de los no fluctuantes. En los primeros el nivel de inundación se mantiene constante, mientras que en los segundos se producen variaciones entre situaciones de máxima inundación y de mínima inundación, quedando un espacio de "carrera de embalse" fácilmente reconocible. La existencia e identificación de este espacio ha sido, en la caracterización realizada, un criterio de clasificación de utilidad para atribuir a un humedal el adjetivo fluctuante; del mismo modo, cuando se ha entendido que el humedal no podía desarrollar este espacio debido a la estabilidad del nivel de inundación, se ha catalogado como no fluctuante.

En cuanto a los humedales temporales, se han catalogado como estacionales los que se entiende que presentan un comportamiento estacional de ciclicidad anual, no necesariamente uniforme en intensidad ni regular en el tiempo, aunque sí con estiaje en la estación seca, hacia final del verano, llegando habitual-

mente a desaparecer la lámina libre de agua. Se han catalogado como humedales temporales erráticos los que, encontrándose habitualmente secos, reciben inundaciones sin regularidad temporal y el agua que almacenan desaparece sin coincidir, necesariamente, con el ciclo anual de evaporación o aridez.

Para documentar este aspecto se ha recurrido a la fotointerpretación a partir de ortofotos, en general se ha dispuesto del GIS-Oleícola y de otras imágenes de fecha distinta y de muy diversa procedencia. En general procedentes de las CCAA. También se ha contado con la documentación que a este respecto aporta el Inventario Nacional de Humedales y el conocimiento empírico de diversas personas consultadas.

El mapa de la fig. 1.102, ilustra la distribución de este descriptor en los humedales de la cuenca del Ebro, en él se han diferenciado: humedales permanentes no fluctuantes (círculos azul oscuro), humedales permanentes fluctuantes (círculos azul claro), humedales temporales estacionales (círculos verdes) y humedales temporales erráticos (círculos de color amarillo).

El 83% de los humedales de la cuenca del Ebro tienen carácter permanente, ya que así se han considerado la

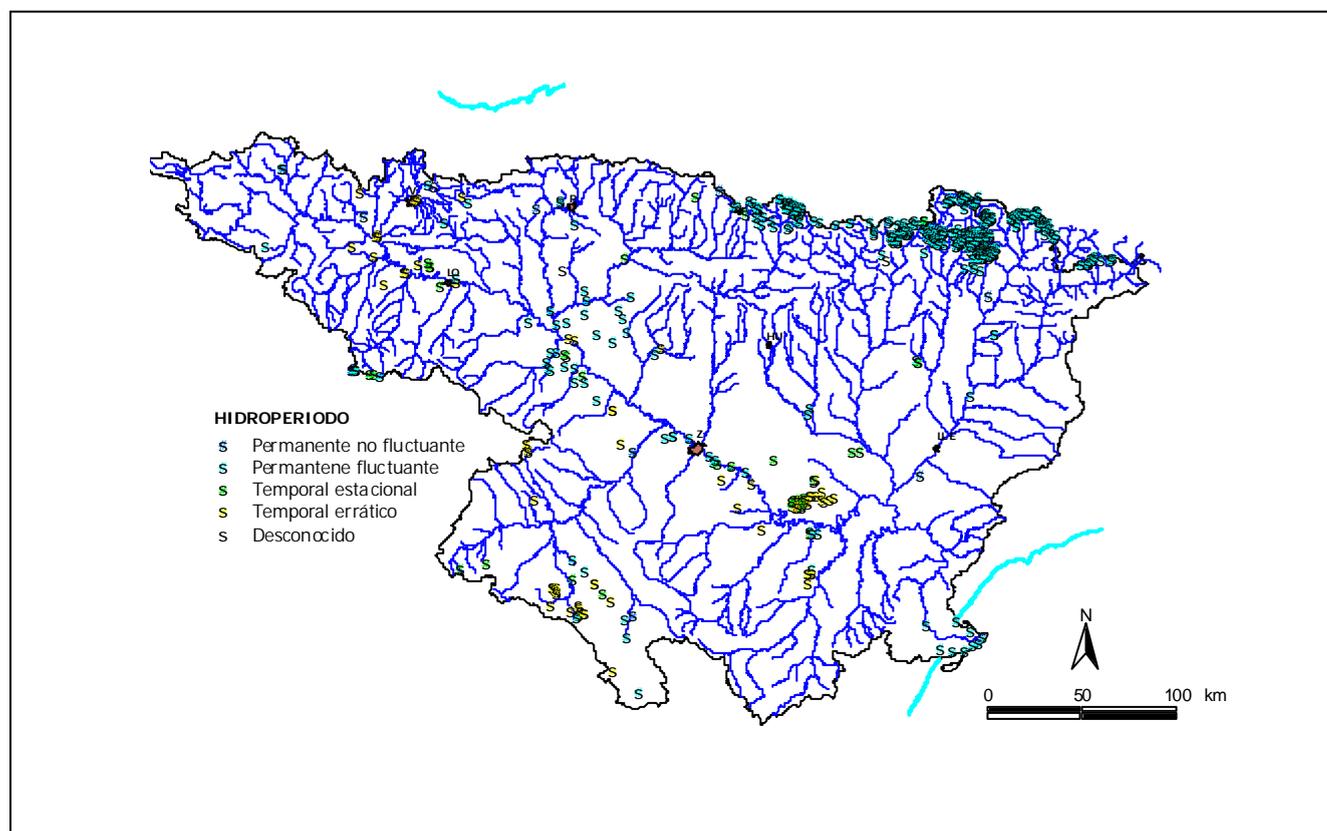


Fig. 1.102. Diferenciación de los humedales según la permanencia de la inundación.

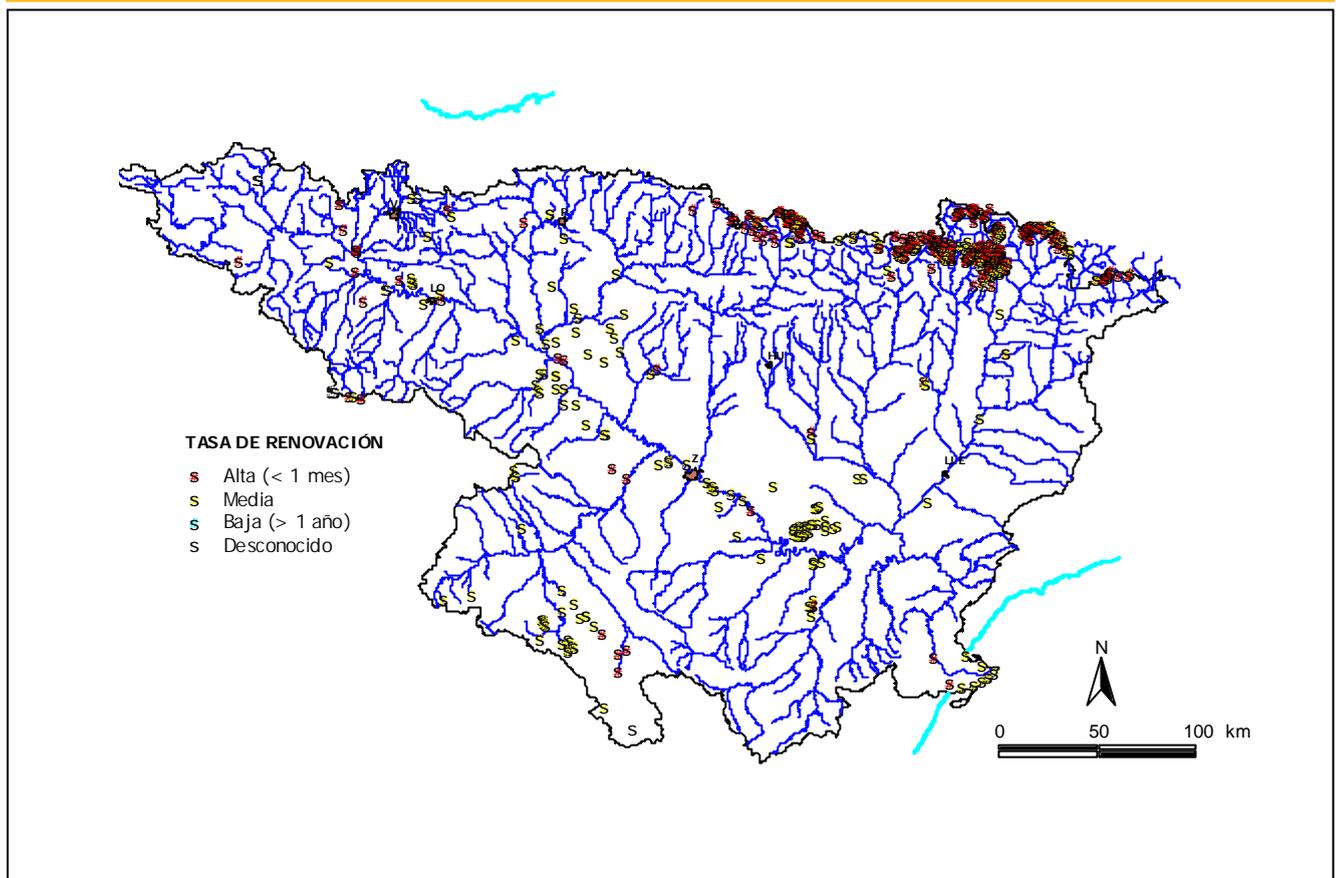


Fig. 1.103. Diferenciación de los humedales según su tasa de renovación.

mayor parte de los numerosos ibones y estanys pirenaicos. Tan solo un 2% del total han sido considerados como permanentes no fluctuantes. El 5% han sido considerados temporales estacionales y el 12% temporales erráticos.

Volviendo al mapa nº 102, se observa que la gran mayoría de los humedales permanentes se encuentran localizados en zonas con abundante disponibilidad hídrica (Pirineos, aluvial del Ebro, zonas de regadío y surgencias subterráneas constantes), mientras que los temporales aparecen en zonas de mayor aridez (depresión del Ebro, parameras ibéricas).

Tasa de renovación: Este descriptor informa sobre el tiempo requerido para que la masa de agua y sustancias disueltas contenidas en el humedal se renueve. En este trabajo se han establecido inicialmente tres categorías para la tasa de renovación: alta, media y baja. La alta se ha asignado a los humedales que renuevan el agua en un máximo de un mes, la baja a los que tardan más de un año en la renovación, por lo que aparece un espacio entre los que emplean más de un mes y menos de un año en renovar sus aguas a los que se ha asignado una tasa de renovación media.

A la hora de documentar estos valores se han encontrado muchas dificultades ya que en muy pocos casos se ha dispuesto de información suficiente referida a la aportación recibida y al volumen almacenado como para estimar el tiempo de renovación del agua que almacena el humedal. No obstante, el descriptor se ha cumplimentado mediante estimación en función del tamaño del humedal y de las posibles aportaciones hídricas que recibe.

Una vez catalogados, el número de humedales con tasa de renovación baja (más de un año) supone un porcentaje inapreciable; al 56% de los casos se les ha atribuido una tasa de renovación alta y se señalan con círculos rojos en el mapa de la fig. 1.103, al 44% se les ha atribuido una tasa de renovación media (círculos amarillos).

La distribución espacial parece arbitraria, ya que para la asignación se ha recurrido a una combinación de la estimación del volumen a través de la superficie del humedal y de factores hidrológicos subjetivos.

Salinidad: Este descriptor se añade a los propuestos por Manzano y otros (2002) porque parece que puede ayudar en la discriminación de distintos tipos dentro de la cuenca del Ebro, en la que, debido a su constitución geológica, existe una diferenciación zonal natural en la salinidad, con elevados contenidos evaporíticos en el centro del valle del Ebro.

Para categorizar este factor se han establecido cuatro clases principales en función de la conductividad eléctrica, por ser ésta una variable de sencilla determinación en campo; así se habla de salinidad: alta (normalmente mayor de 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), media (entre 8.000 y 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$), baja (nunca, o salvo en situaciones extremas, supera los 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$) o variable, cuando no puede adscribirse a ninguna de las categorías anteriores ya que pasa de una a otra a lo largo de los ciclos habituales de evolución del humedal.

No se cuenta con registros temporales de conductividad de los humedales de la cuenca del Ebro, ni tan siquiera con datos episódicos dispersos. Sin embargo, se dispone de trabajos de investigación local o zonal que describen algunas de las tipologías más emblemáticas, es el caso de la laguna de Gallocanta, de las saladas de Monegros (García Vera, 1996) o de los ibones pirenaicos, por citar algunos ejemplos. De este modo, la atri-

bución a una u otra categoría dentro de la definición de este descriptor se ha hecho, en la mayor parte de los casos, careciendo de datos directos y asignando según estimaciones subjetivas por comparación con otros conocidos de la misma zona. También se ha tomado información del Inventario Nacional de Humedales.

En el mapa de la fig. 1.101, se muestra la distribución de los humedales categorizados según su salinidad atendiendo a las categorías y el procedimiento de documentación expuesto en el párrafo anterior. Los humedales con salinidad alta (6,6% del total) aparecen concentrados en la zona de Monegros - Bajo Aragón, los de salinidad media (3%) se distribuyen por el eje del Ebro, y los de salinidad baja (84,4%) se encuentran en la zona montañosa de los Pirineos, en la cordillera Ibérica y salpicados por toda la cuenca según su relación con la escorrentía. Por último, un 6% de los humedales han sido catalogados como de salinidad variable; así se clasifican la mayor parte de los que aparecen en la zona de Gallocanta y en el delta del Ebro.

Grado de intervención: Este es otro descriptor que no ha sido directamente considerado en el sistema de tipificación de Manzano y otros (2002) pero que puede ser de interés para dar respuesta al objetivo de identificar los humedales mejor conservados dentro de cada "tipo"

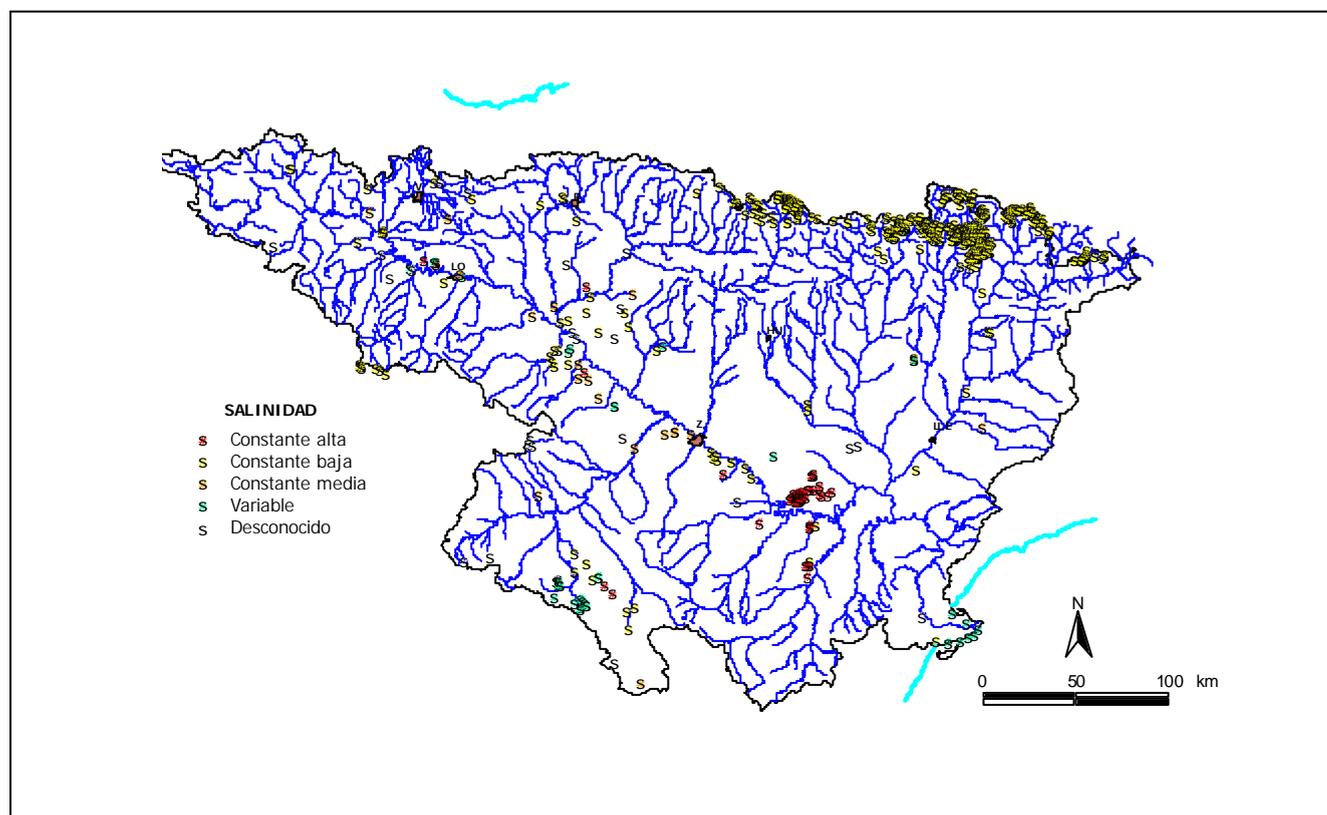


Fig. 1.104. Diferenciación de los humedales según su salinidad.

resultante al objeto de seleccionar entre ellos los que hayan de ser objeto de estudio para valorar las condiciones de referencia.

La catalogación realizada incluye tres categorías en el grado de intervención: alto, medio y bajo; entendiendo que un humedal está intervenido cuando la acción humana que sufre afecta al funcionamiento hidrológico natural del humedal, en general por recibir aguas trasvasadas (retornos de riego u otros), por aumento de la capacidad de embalse (construcción de presas) o por vaciados no naturales (aprovechamiento hidroeléctrico, por ejemplo). Atendiendo a la magnitud de esta afección, se dice que el grado de intervención es alto si afecta ostensiblemente al funcionamiento hidrológico natural, bajo si no lo afecta y medio si se reconoce una afección pero el humedal todavía mantiene ciertas características naturales que permitan asociarlo al tipo que corresponda.

La cumplimentación de este descriptor se ha llevado a cabo mediante fotointerpretación, acompañada de análisis de presiones a partir de la información ofrecida por el sistema de información de la cuenca del Ebro.

Los resultados se plasman en el mapa de la fig. 1.105. Se señalan con círculos azules los humedales con un

grado de intervención bajo (72% del total), con círculos amarillos los que sufren un grado de intervención medio (15% del total) y con círculos rojos los que sufren un grado de intervención alto (13% del total). Espacialmente, los humedales menos intervenidos se encuentran refugiados en las zonas montañosas del norte y sur de la cuenca, Pirineos y cadena Ibérica; por el contrario, en la Depresión del Ebro la mayor parte de los humedales sufre un grado de intervención alto o medio, por lo que alguno de los tipos propios de esta zona de la cuenca pueden estar gravemente afectados y amenazados.

En la cuenca del Ebro existen numerosas zonas húmedas de variada naturaleza y, salvo escasas excepciones, de reducida extensión. Incluyendo pequeños lagos oligotróficos de origen glaciario (ibones, estanys), depresiones en zonas próximas a la semiaridez que muestran espejos de agua temporales y elevada salinidad (saladas), depresiones aluviales que facilitan el afloramiento del nivel freático generadas por mecanismos sedimentarios (galachos, ox-bow) o estructurales no diastróficos (dolinas), surgencias de agua subterránea procedente de acuíferos regionales (ojos), depresiones endorreicas más o menos extensas que, no respondiendo a los casos citados, dan lugar a la existencia de conjuntos lagunares esteparios, y también, espacios

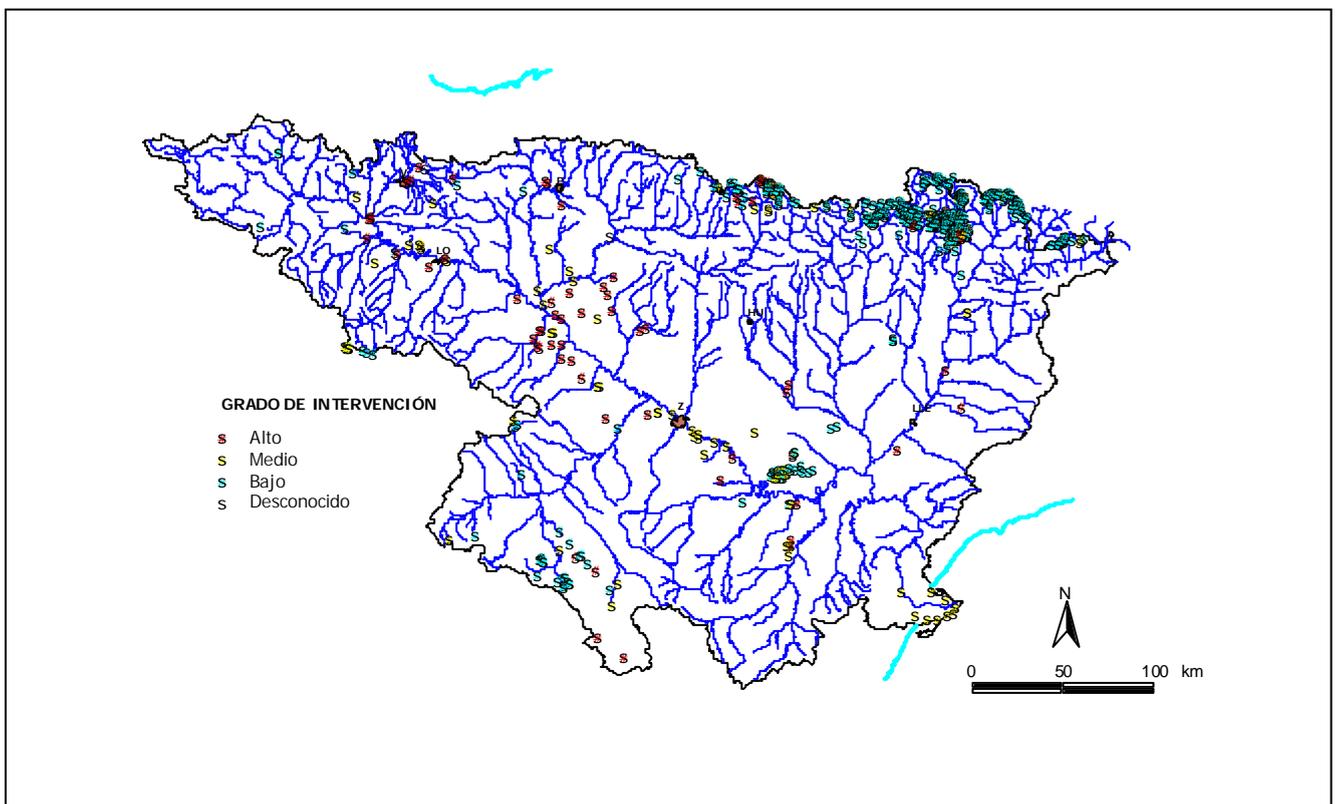


Fig. 1.105. Indicación del grado de intervención antropica sobre los humedales del Ebro.

costeros generados por la subsidencia o la dinámica sedimentaria en el delta del Ebro (lagunas deltáicas).

Estos humedales pueden asociarse a la categoría de lagos aunque, debido a su reducido tamaño, la mayor parte de ellos no se integrarán en las masas de aguas objeto de informe a la CE.

Se sabe que una buena parte de estos espacios (aproximadamente el 30%) sufre presiones hidromorfológicas evidentes (represamientos y cambios en las condiciones hídricas naturales) que afectan a su funcionalidad y que otros muchos sufren presiones cualitativas muy significativas que, en general, favorecen su eutrofización (acumulación de retornos de riego y otros vertidos, abrevaderos de ganado).

1.3.5. Recursos

El caudal medio en régimen natural que aporta la cuenca del Ebro al Mediterráneo a través del estuario es, de acuerdo con los cálculos realizados para el periodo 1940/41 a 1985/86, de 18.217 hm³/año; cifra que se eleva a 18.829 hm³/año si se considera también la aportación de la cuenca del Garona en España, y que ven-

dría a representar los recursos totales de la demarcación.

Estos valores indican una aportación específica media de 218 mm/año para todo el ámbito. Sin embargo, es evidente que la aportación específica varía ampliamente con la geografía (Fig. 1.106). Mientras que en una amplia superficie de la depresión central apenas se alcanzan valores de unas pocas decenas de milímetros al año -en esa zona la evapotranspiración potencial es superior a la precipitación-, en buena parte de las cordilleras cantábrica y pirenaica se superan los 1.000 mm anuales, alcanzándose los 1.500 mm en algunos puntos localizados. En cuanto a su distribución por afluentes, y al igual que en el caso de la precipitación, también son los ríos cantábricos los que presentan aportaciones específicas medias más elevadas. Su valor anual oscila entre 328 mm en el Ega (492 hm³) y 605 mm en el Arga (1.697 hm³), con valores situados entre 400 y 500 mm en los ríos Nela, Jerea y Zadorra, mientras que en el Bayas se eleva hasta los 547 mm (165 hm³). En los afluentes pirenaicos se alcanzan valores comprendidos entre 525 mm en el Aragón (4.521 hm³) y 272 mm en el Gállego (1.087 hm³), pasando por 279 mm en el Segre-Cinca (6.356 hm³), siendo éste último el más caudaloso de la cuenca, debido a la gran superficie de

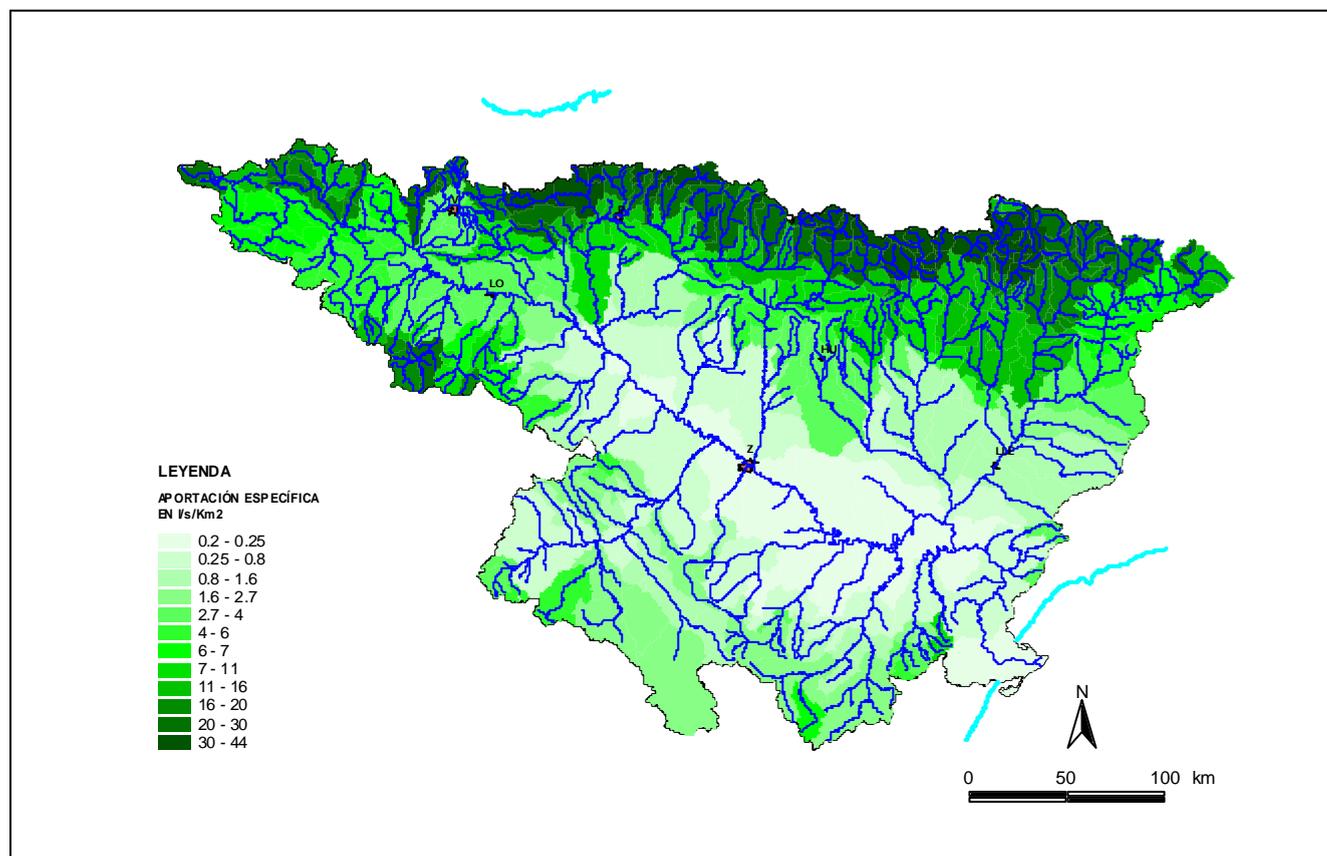


Fig. 1.106. Distribución de la aportación específica en la cuenca del Ebro. Cálculo realizado a partir de los datos aportados por las estaciones de aforo considerando su restitución al régimen natural.

su cuenca vertiente. También es en el Pirineo donde se localizan las áreas con aportaciones específicas más elevadas, reflejándose en los valores de algunos de sus afluentes de alta montaña: entre ellos destacan el Irati, con 749 mm (1.200 hm³) y, sobre todo, la cuenca del Garona perteneciente al territorio nacional, con 1.076 mm (589 hm³). En el Arba de Luesia la aportación específica es de 78 mm. (172 hm³). Como es natural, los afluentes ibéricos presentan un régimen de aportaciones medias anuales más bajas, que oscilan entre los 141 mm del Oca (155 hm³) y los 360 mm del Najerilla (400 hm³). El resto de afluentes ibéricos presentan las aportaciones específicas más bajas de toda la cuenca: por debajo de los 100 mm anuales las de los ríos Alhama, Huecha, Jalón, Huerva, Aguasvivas (que presenta el mínimo absoluto con tan solo 32 mm.), Martín, Guadalope y Matarraña, y ligeramente por encima las del Cidacos y Queiles. Los más caudalosos, debido a su gran superficie vertiente, resultan ser Jalón y Guadalope, con 551 hm³ y 317 hm³, respectivamente.

Los valores indicados reflejan los recursos naturales totales, es decir, tanto los estrictamente superficiales como lo que, antes de fluir a los ríos, han contado con un cierto recorrido subterráneo. De la descomposición de los diferentes hidrogramas registrados en las estaciones de aforos (ver epígrafe 1.3.3. Rasgos hidrogeológicos) se obtiene que del total de los recursos de la cuenca del Ebro, entre un 24 y un 40% proceden de la lenta descarga de los acuíferos.

Evidentemente, una parte de los recursos se consumen con los distintos usos de agua que se dan en nuestra demarcación para favorecer el desarrollo socioeconómico. Estos consumos netos ascienden, según se calcula en el Plan Hidrológico de la cuenca (CHE, 1996) a 5.700 hm³/año como valor promedio. La diferencia entre el recurso y el consumo nos da el caudal vertido, en este caso 12.500 hm³/año, cifra semejante al registro medio obtenido en la estación de aforo de Tortosa, próxima a la desembocadura. No obstante, si se considera el decenio 1990-2000, el vertido total observado resulta claramente inferior, por debajo de los 9.000 hm³/año de media, debido a la variabilidad climática. Albergando años, como el 1989/90 con una aportación de tan solo 4283 hm³.

Esta variabilidad climática condiciona que exista una fuerte dispersión de valores en torno a la estimación central expresada como la media aritmética. Los valores anuales mínimos del decenio indicado se sitúan en

torno a los 6.000 hm³/año y los máximos en torno a los 13.000 hm³/año.

Una buena parte del vertido indicado (3.153,6 hm³/año) está comprometido como necesidades ecológicas actuales del tramo final del Ebro, lo que limita los vertidos netos no comprometidos en la actualidad a valores promedio del orden de los 6.000 hm³/año. A ello cabe añadir, que las previsiones de desarrollo en la cuenca, explicitadas en nuestro Plan Hidrológico, prevén un aumento de consumos en torno a los 4.100 hm³/año, hasta alcanzar los 9.800 hm³/año de consumo neto. En consecuencia, la cuenca puede considerarse equilibrada, aunque se ofrecen problemas estacionales. Así, en situación actual hay dificultades en servir el caudal ambiental del tramo bajo (100 m³/s) durante los meses de julio, agosto y septiembre, en los que también hay grandes zonas de la cuenca con problemas de suministro. Sin embargo, durante los meses de enero a mayo los vertidos al mar superan con cierta frecuencia los 1.000 hm³/mes.

El registro de fallos en la atención de las necesidades ecológicas en la estación de aforo de Tortosa se muestra en la Fig. 1.107, en la que se indica, para cada año, el fallo medio anual en m³/s, el valor (m³/s) del caudal máximo fallado y el porcentaje de días con fallo respecto al total de días medidos.

Por su parte la Fig 1.108 muestra el hidrograma completo de la citada estación. El evidente decremento en los caudales no parece justificarse exclusivamente con el incremento de los consumos y hay que recurrir a justificaciones que consideran la variabilidad climática.

En la actualidad, la garantía del caudal ambiental se fortalece con mecanismos de regulación artificial. Las Fig. 1.109 y 1.110, muestran los hidrogramas diarios de dos zonas de la serie recogida, el primero corresponde a los años treinta del siglo XX, en los que el régimen puede considerarse como próximo al natural, o al menos, muy levemente intervenido. El segundo fragmento corresponde a los primeros años del siglo XXI.

Para favorecer la gestión, la cuenca del Ebro cuenta con embalses que favorecen el aprovechamiento de las aguas incrementando la regulación. La base de datos del GIS-Ebro documenta, en el momento de redactar este capítulo, 225 embalses. La mayor parte de ellos, y los más significativos en el aprovechamiento de las aguas de la cuenca, están construidos sobre la red flu-

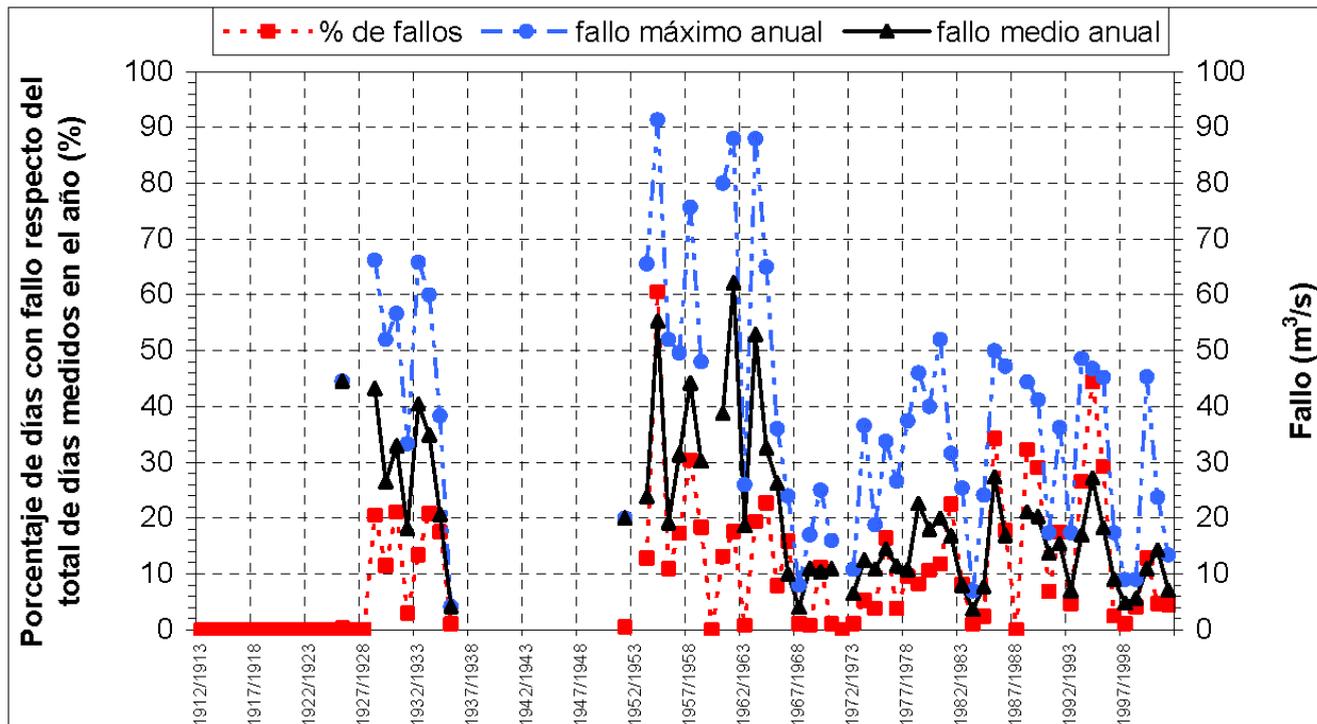


Fig. 1.107. Fallos en la atención del caudal ambiental requerido por el tramo final del Ebro desde el año hidrológico 1912/13 a la actualidad..

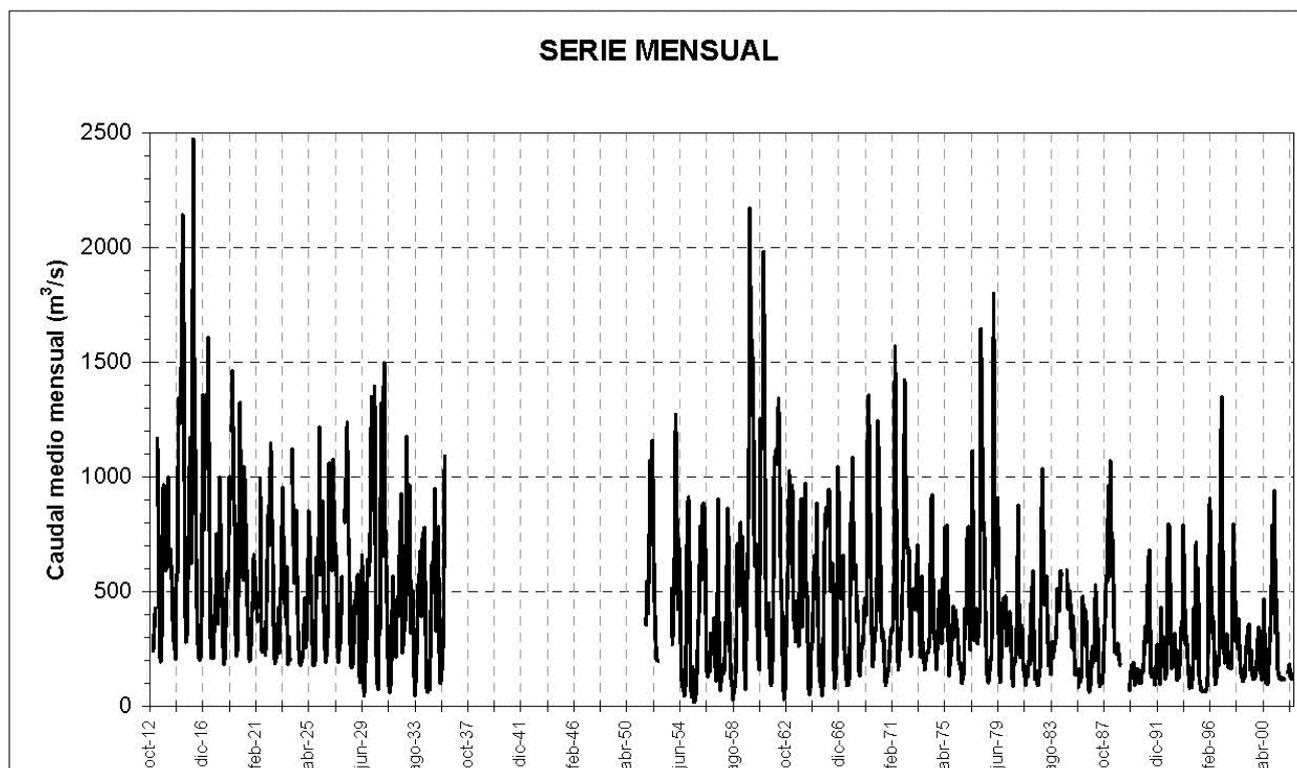


Fig. 1.108. Hidrograma que muestra los valores de caudal medio mensual en la estación de aforo de Tortosa, que evidencia el caudal efectivamente descargado por el Ebro al Mediterráneo.

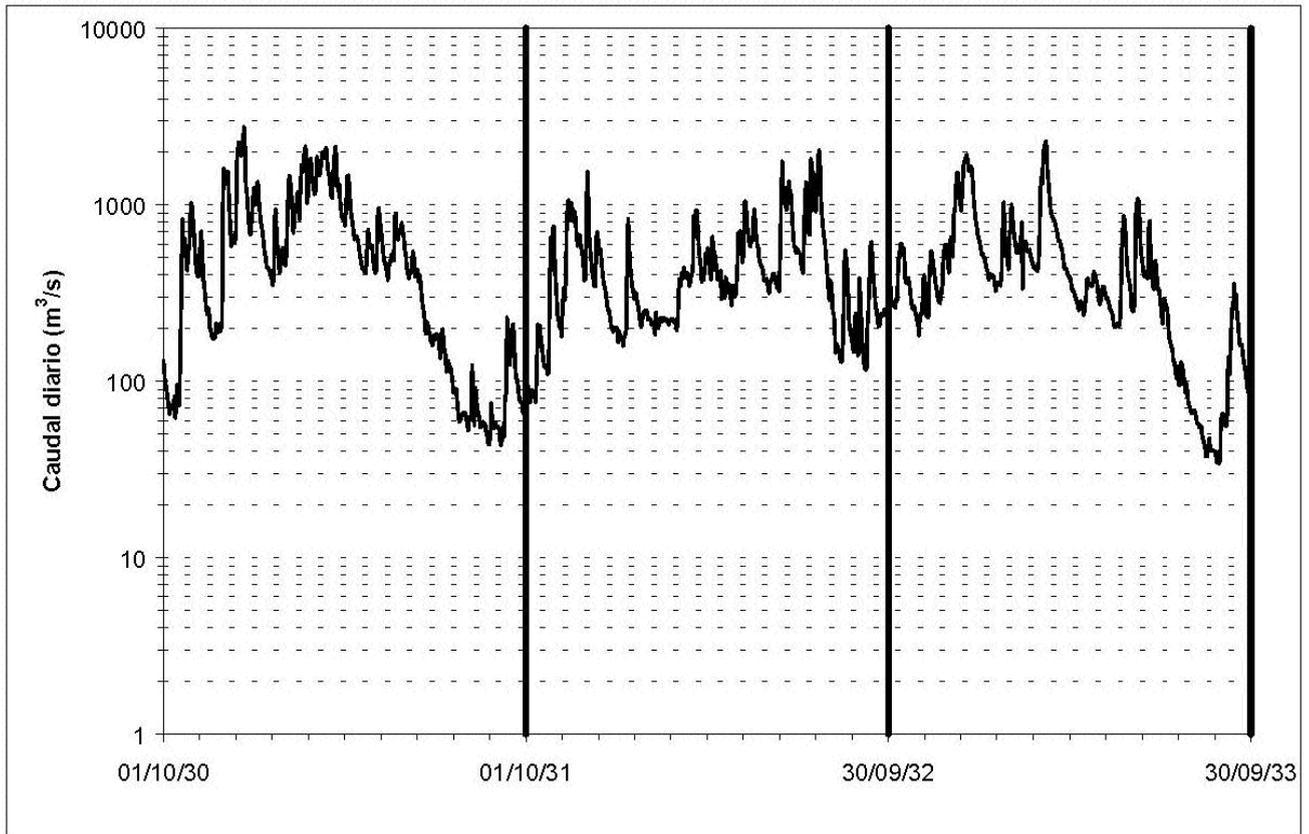


Fig.1.109. Fragmento del hidrograma registrado por la estación de aforo de Tortosa correspondiente a los años hidrológicos 1930/31 a 1932/33. Como puede observarse existen varios estiajes en los que el caudal descendió apreciablemente por debajo de los 100 m³/s, mientras que las puntas primaverales superaban, con cierta frecuencia, los 2.000 m³/s.

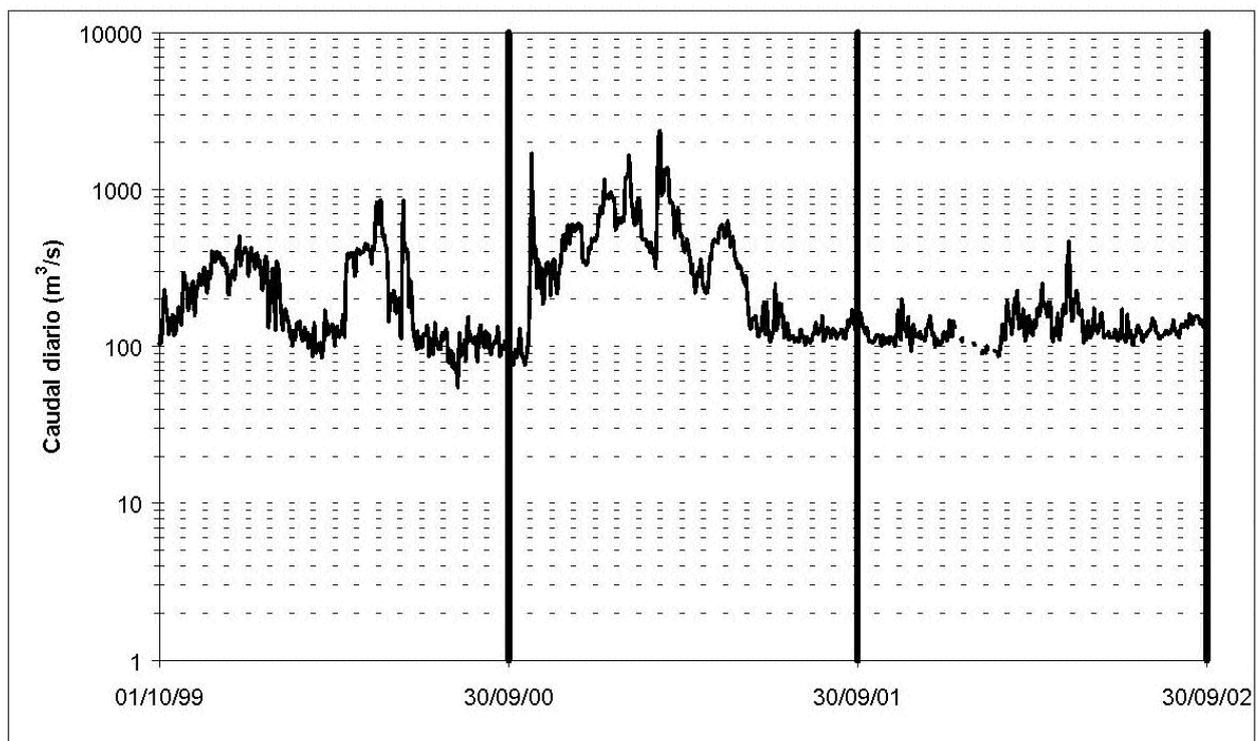


Fig. 1.110. Fragmento del hidrograma registrado por la estación de aforo de Tortosa correspondiente a los años hidrológicos 1999/00 a 2001/02. Como puede observarse el control de la cuenca permite favorecer la persistencia de los 100 m³/s requeridos en desembocadura a pesar de tratarse de un momento de escasas aportaciones.

vial; no obstante algunos represan lagos de montaña o están construidos en depresiones en las que no existían previamente cursos de agua activos ni lagos. Por ello, algunos embalses darán lugar a ríos modificados, otros se considerarán como lagos modificados y, por último, algunos tendrán el tratamiento de masas artificiales.

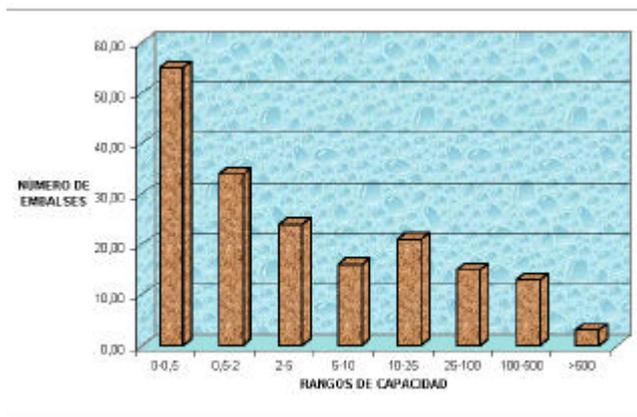


Fig. 1.112. Distribución de los embalses según su capacidad.

La distribución que muestran en la cuenca se indica en la Fig. 1.112, donde se señalan en color rojo sobre la red fluvial. La suma de la capacidad de embalse en la cuenca supera ligeramente los 7.700 hm³. Lo que viene a suponer el 43% de la aportación media de la cuenca, valor claramente inferior al de las otras grandes cuencas españolas.

El mayor embalse de la demarcación es el de Mequinenza, que retiene las aguas del Ebro en la zona central de la cuenca, aguas debajo de Zaragoza, cuenta con una capacidad de 1.500 hm³. Otros grandes embalses son Canelles (680 hm³), Ebro (540 hm³), y los de Yesa, Mediano, Itoiz, Riab y El Grado con capacidad comprendida entre 400 y 500 hm³.

Además de los embalses, la cuenca cuenta con numerosas infraestructuras para el transporte del recurso. Los canales principales documentados en el GIS-Ebro (Fig. 1.113) totalizan una longitud de 5.200 km., algo más de la tercera parte de la longitud de la red fluvial. Algunos de estos canales atienden directamente el suministro en zonas próximas a los ríos, pero en otras ocasiones suponen importantes conducciones a zonas alejadas, facilitando el trasvase entre cuencas.

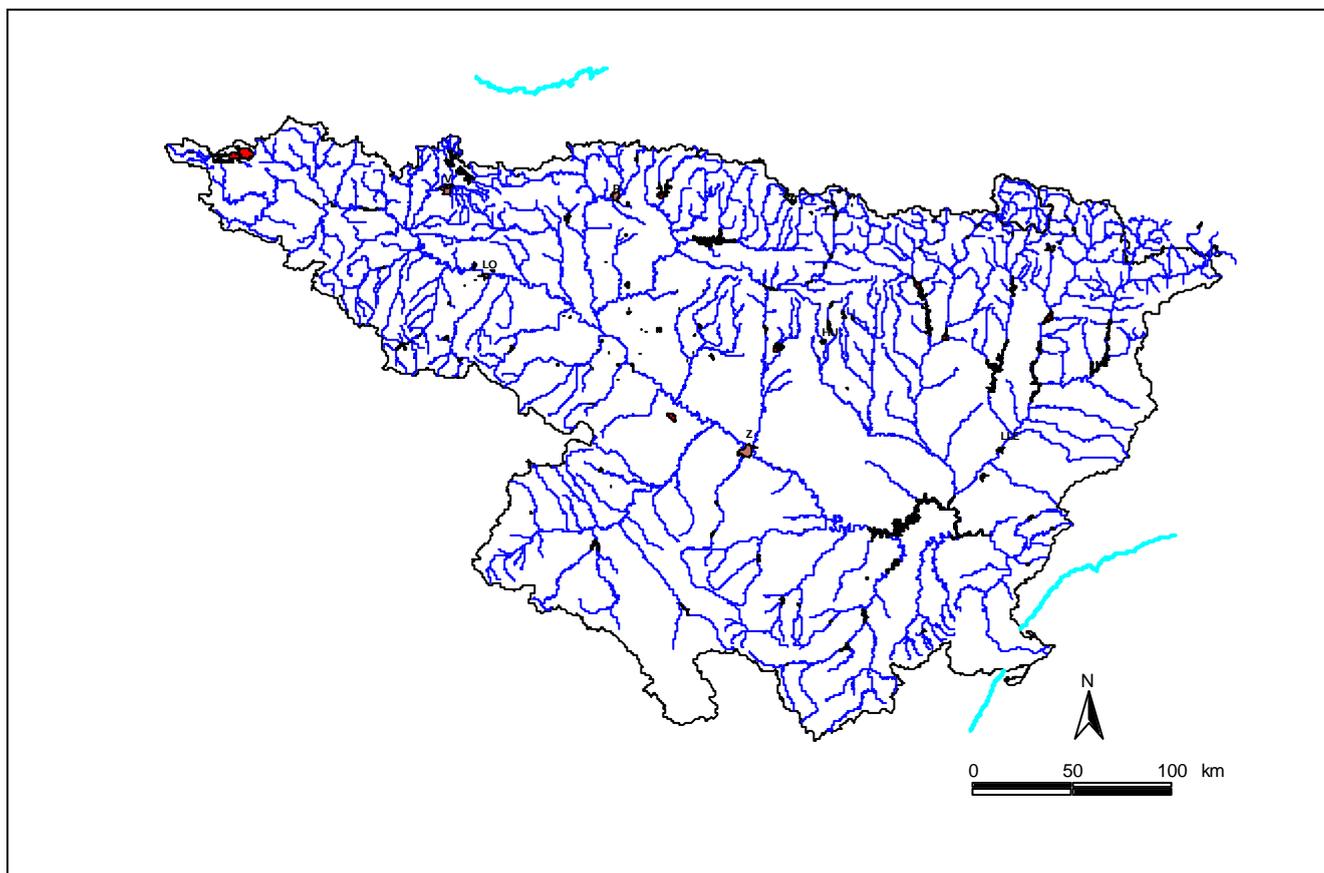


Fig. 1.111. Situación de los embalses en la demarcación hidrográfica tal y como lo muestra el GIS-Ebro.

Son numerosos los trasvases internos entre subcuencas dentro de la cuenca del Ebro. Algunos de ellos datan desde antiguo, como el trasvase Flumen-Isuela, anterior al año 1700 para incrementar la aportación que regula el pequeño embalse de Arguís. También datan de antiguo los trasvases entre la cuenca del Ebro y otras cuencas, quedando vestigios del trasvase que en tiempo de los romanos existió entre las cabeceras del Guadalaviar y Jiloca. En la actualidad hay ocho trasvases artificiales externos a otras cuencas, que se describen a continuación.

1.- El trasvase Ebro-Besaya data de 1982 y es reversible. Comunica el embalse del Ebro con las cuencas del Saja-Besaya en el Norte. Tiene por objeto la mejora de disponibilidad del abastecimiento urbano e industrial de la comarca de Torrelavega.

2.- El trasvase del Alto de Tornos, en cabecera del Cerneja (Nela), tiene por objeto el abastecimiento de pequeñas poblaciones de la cuenca del Norte en Santander. Es de muy escasa entidad.

3.- El trasvase Cerneja-Ordunte está ubicado también en el río Cerneja, en la Merindad de Montija.

Trasvase caudales al embalse de Ordunte para el abastecimiento al Gran Bilbao. Empezó a funcionar en 1961.

4.- El trasvase Zadorra-Arratia, ubicado en las cabeceras del Zadorra, trasvase caudales a la cuenca del Norte, turbinándolos en el salto de Barazar y utilizándolos para el abastecimiento al Gran Bilbao.

5.- El trasvase Alzania-Oria está situado en la cabecera del Alzania, afluente del Araquil, y tiene pequeña entidad. Inició su funcionamiento en 1927, con el objeto de producir energía eléctrica, utilizándose también el agua con fines industriales y actualmente existen concesiones de abastecimiento.

6.- El trasvase Carol-Ariège está situado íntegramente en territorio francés, y aprovecha hidroeléctricamente de los caudales regulados en el Lago Lanós, en el río Carol. Los caudales trasvasados desaguan a la cuenca del Ariège, devolviéndose anualmente a menor cota los volúmenes trasvasados.

7.- El trasvase Ciurana-Riudecañas está situado en el río Ciurana en la provincia de Tarragona. El

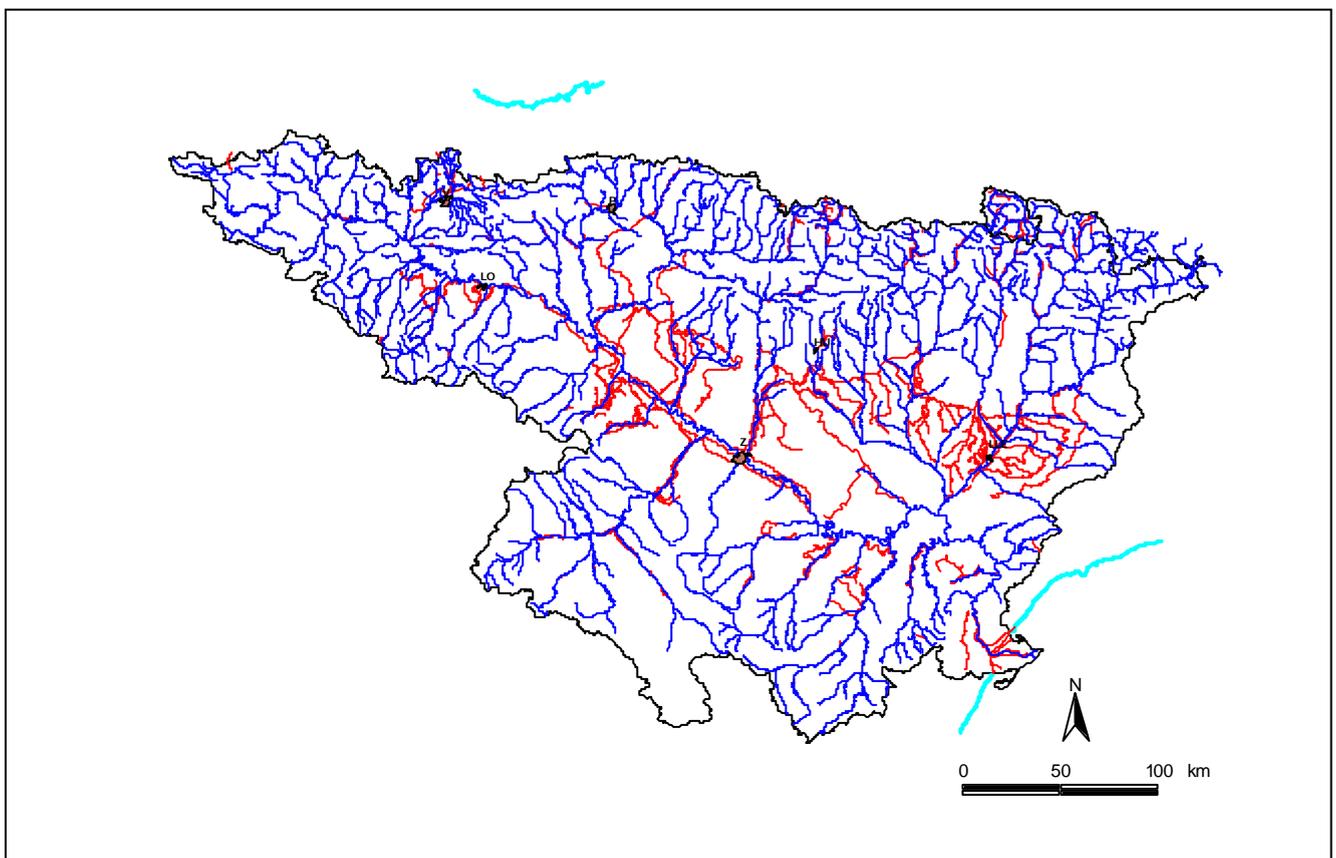


Fig. 1.113. Principales canales que conducen las aguas de los ríos de la cuenca del Ebro desde las captaciones en la red fluvial hasta las zonas de aprovechamiento.

agua se usa para fines agrícolas y urbanos en la comarca de Reus.

8.- El trasvase Ebro-Campo de Tarragona es el más reciente. Su objeto es el abastecimiento urbano e industrial de la zona del Campo de Tarragona, con un suministro de unos 42 hm³ en 1993.

Complementariamente, también existen algunos pequeños aprovechamientos que cruzan la línea límite de la demarcación, tal es el caso, a modo de ejemplo, del abastecimiento a Ólvega (Soria), allí, desde la cuenca del Duero (Araviana) se conduce el agua al núcleo sito en nuestra cuenca. Inversamente, existe desde antiguo un aprovechamiento hidroeléctrico en el alto Segre dentro del territorio francés que deriva las aguas hacia la vecina demarcación del Ródano-Mediterráneo, al norte de Font-Romeu, en el cantón de Saillagouse.

1.4. Marco biótico

La demarcación hidrográfica del Ebro alberga una gran riqueza biológica que responde a la diversidad de paisajes y condiciones climáticas. Desde el punto de vista biogeográfico, la cuenca del Ebro pertenece a dos regiones: Pirineos y la región ibérico-macaronésica. Desde el punto de vista geomorfológico, se describen diferentes regiones en el ámbito de los dominios geológicos de la cuenca: depresión central, cordillera ibérica y Pirineos (ver capítulo 1.2.). Las condiciones ambientales propias de cada región (litología, altitud, rangos térmicos y precipitaciones) junto a los gradientes que se establecen entre ellas permiten la diversificación de la biota., encontrándose desde comunidades de alta montaña y aguas escasamente mineralizadas hasta otras propias de ambientes semidesérticos (aguas cálidas y muy mineralizadas), o incluso, como los relacionados con el delta, de clara influencia marina. También son de gran interés las numerosas zonas húmedas que salpican la cuenca, muchas de ellos relacionadas con surgencias de agua subterránea. Todos estos ecosistemas han sido agrupados (Coloma, 2002) en ecosistemas acuáticos, ecosistemas riparios, ecosistemas fluviales de montaña, ecosistemas esteparios de la cuenca hidrográfica y ecosistemas deltaicos.

1.4.1. Ecosistemas acuáticos

Estos ecosistemas se ubican en el seno del cauce, tanto en el interior del agua como en los fondos y sobre la superficie libre de la lámina de agua; son extremada-

mente sensibles a la contaminación y otras alteraciones antrópicas, encontrándose en la actualidad cada vez menos tramos fluviales que no se encuentren bastante o muy degradados.

Entre las comunidades vegetales acuáticas, hay citadas en el Ebro más de 150 especies de macrófitos y macroalgas (J. Cambra com. per.). Entre éstas destacan varias Pteridífitos (3 especies de Isoetes), briófitos (*Riccia fluitans* y varias especies de *Sphagnum*), algas caráceas (16 especies, entre las que destaca *Nitella tenuissima*) y otras algas (*Coleochaete pulvinata*, *Sphaeroplea africana*, *Gymnodinium fuscum* y *Ceratium cornutum*, entre otras); entre los espermatófitos tiene la mayor valoración *Potamogeton praelongus*. La vegetación acuática incluye, tanto las hidrófitas de libre flotación como las hidrófitas fijas al sustrato. Las primeras viven sobre aguas remansadas sin enraizarse nunca al sustrato, entre ellas, diferentes tipos de algas y plantas fanerógamas de la familia de las lemnáceas como las lentejas de agua (*Lemna minor* y *sp.*) y la *Wolffia sp.* Entre las hidrófitas que viven fijas al sustrato se pueden diferenciar tres grupos o ecotipos. El primero de ellos corresponde a plantas que presentan la mayor parte de sus hojas sumergidas, como la espiga de agua (*Potamogeton sp.*) y los Ranunculaceas de vistosas hojas y flores. El segundo ecotipo incluye los nenúfares, que presentan todas sus hojas flotantes (*Nuphar luteum* y *Nymphaea alba*) y el tercero lo constituyen las abundantes plantas helofíticas que disponen de tallos y ramificaciones aéreas, como los carrizos (*Phragmites sp.*), espadañas (*Typha sp.*) y juncos (*Juncus sp.* y *Scirpus sp.*).

En estos ecosistemas se desarrolla abundante fauna. La comunidad de invertebrados es sumamente diversa y posee especies de notable interés biogeográfico y ecológico. Entre los insectos, una especie de especial interés es el efemeróptero *Ephoron virgo*, desaparecido de los ríos europeos como consecuencia de la contaminación que aqueja los tramos bajos de los ríos. Esta especie requiere lechos arenosos bien oxigenados, y mantiene poblaciones abundantes en el tramo inferior del Ebro. Ejemplos muy significativos de la rica biodiversidad de la demarcación se encuentran también entre los crustáceos, branquiópodos y copépodos. Entre los que sólo aparecen en la cuenca del Ebro dentro del ámbito ibérico, se pueden citar especies boreoalpinas como *Eudiaptomus vulgaris* y *Alona rustica*, que viven en los Pirineos, *Eudiaptomus padanus*, un copépodo que sólo se conoce en los Estanys de Bastús y en lagos, también cársticos, de Italia. y *Cyzicus tetracerus*, un conostráceo que forma parte de una interesantísima

comunidad de hábitos esteparios en la laguna de La Zaida.



Fig. 1.114. *Margaritifera auricularia* -Foto tomada de www.mundofree.com

Entre los moluscos, destacan los pelecípodos como el mejillón de río (*Margarita margaritifera*) y es especialmente destacable la presencia de *Margaritifera auricularia*, para la que la cuenca del Ebro conserva la única población mundial viable. Aparece en tres tramos: una en el bajo Ebro en tierras de Cataluña, otra aguas arriba de Zaragoza (Alcala-Pradilla) y otra en el canal imperial de Aragón, aunque también se encuentran individuos en otras zonas como en los meandros del Ebro en Sástago (Zaragoza) o en el canal de Tauste. *M. auricularia* es una especie estrictamente protegida en España y en la Unión Europea (incluida en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas con la categoría "en peligro de extinción", en el Anexo IV de la Directiva de Hábitats, y en el anejo II del Convenio de Berna, entre otros). Otras especies de moluscos bivalvos de interés presentes en la demarcación son *Anodonta cygnea*, *Podomoda littoralis* y *Unio elongatulus*, todas incluidas en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas.

Finalmente cabe citar crustáceos como el cangrejo de río (*Austropotamobius pallipes*), hoy en día muy diezmado y cuyo nicho ecológico ha sido ocupado por especies introducidas como el voraz cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*).

Entre los vertebrados son de interés los anfibios como la rana común (*Rana ridibunda*) o la ranita de San Antonio (*Hyla meridionalis*), y los reptiles entre los que destaca la culebra viperina (*Natrix maura*) el galápagos europeo (*Emys orbicularis*) y el galápagos leproso (*Mauremys caspica*).

El número de especies autóctonas presentes en la cuenca del Ebro representa el 48% de las especies citadas en la Península Ibérica, por consiguiente se trata de una ictiofauna rica y diversa. Son destacables ciertos endemismos peninsulares, *Cobitis calderoni* y *C. paludica*, *Chondrostoma arcasii* y *Squalius pyrenaicus*. Otras especies endémicas de España, como *Barbus graellsii*, *B. haasi*, *Chondrostoma miegii*, *Aphanius iberus*, y *Valencia hispanica*. Están señaladas en peligro de extinción *Salapia fluviatilis* y *Valencia hispanica*.

Respecto a las especies exóticas, las presentes en la cuenca del Ebro constituyen el 75% de las citadas en la Península. La mayoría de ellas se han introducido en embalses para favorecer la pesca deportiva, y desde los embalses se han ido dispersando por la red hidrográfica, con la consiguiente afección para las especies autóctonas (ocupación del hábitat, depredación, competencia reproductiva). Algunas introducciones son muy antiguas como la de la carpa (*Cyprinus carpio*) pero la mayoría son relativamente recientes así como sus efectos en los ecosistemas acuáticos. Sirva como ejemplo la introducción del siluro (*Silurus glanis*) en el embalse de Ribarroja (en 1974) para promocionar su pesca. En la actualidad se encuentra en todo el eje del Ebro, y ha causado una fuerte reducción de las comunidades de peces autóctonos, de forma directa, e indirectamente (se han introducido otras especies como alburno, y perla que entran en competencia con las autóctonas). Otras especies exóticas comunes en la cuenca del Ebro son la perca americana (*Micropterus salmoides*), lucioperca (*Sander lucioperca*), lucio (*Esox lucius*), entre otros.

De entre la ornitofauna nidificante ligada a los ríos más significativa, cabe destacar a la polla de agua (*Gallinula chloropus*), la focha común (*Fulica atra*), el ánade real (*Anas platyrhynchos*) y el buitrón (*Cisticola juncidis*) entre las más abundantes y representativas.

1.4.2. Ecosistemas riparios

Son ecosistemas caracterizados por su elevada autonomía respecto al ambiente climático del entorno, desarrollándose sobre los suelos de mayor humedad edáfica de los márgenes de los ríos y áreas de descarga hídrica de la capa freática; reflejan una notable anomalía hídrica, ambiental y paisajística dentro del contexto biogeográfico del territorio. La vegetación de ribera tiene un gran interés dada su estrecha relación con los ambientes acuáticos, a los que proporcionan estabilidad física (en las riberas) y contribuyen a limitar la eutrofia y la contaminación (retención de nutrientes y contaminantes); por otro lado proporcionan protección y alimento a numerosas especies faunísticas.

En el bosque de ribera la vegetación se organiza en tres grandes estratos según su porte: arbóreo, arbustivo y herbáceo. El estrato arbóreo está compuesto por especies ligadas a suelos con mayor o menor humedad edáfica, siendo los sauces (*Salix atrocinerea*, *S. triandra*, *S. alba*, *S. salvifolia*, *S. purpurea*, *S. elaeagnos* y *S. fragilis*) los que soportan mayor grado de inundación y se sitúan por tanto en la primera línea del margen fluvial, acompañados de otras especies resistentes a las fluctuaciones hídricas y de salinidad del suelo como el tamariz, taray o taraje (*Tamarix gallica*, *T. canariensis* y *T. africana*). A continuación se distribuyen los álamos (*Populus alba*), chopos (*Populus nigra*) y alisos (*Alnus glutinosa*), conviviendo con numerosas variedades de híbridos de procedencia dispar. A medida que se produce el distanciamiento del cauce aparecen paulatinamente especies como los fresnos de hoja estrecha (*Fraxinus angustifolia*) y los menos exigentes en humedad del suelo de entre los árboles riparios, los olmos (*Ulmus minor*), muy diezmados por la grafiosis, finalizando la sucesión de especies transversales al mismo y llegando a entrar en contacto con la vegetación climatófila propia del territorio.

El estrato arbustivo es muy variado, arbustos del género *Rosa*, *Rubus* y *Crataegus* son algunos de los más frecuentes así como diferentes plantas trepadoras como las *Clematis vitalba*, *Hedera helix*, *Rubia peregrina*, *Lonicera periclymenum*, *Tamus communis*, *Cynanchum acutum*, *Galium aparine*, etc. La vegetación herbácea incluye especies de familias como las gramíneas, las ciperáceas (*Carex sp.*) y las juncáceas.

Las comunidades animales de los ecosistemas riparios son extraordinariamente biodiversas debido a las benéficas condiciones ambientales y climáticas de las ribe-

ras, asentándose en ellas una gran variedad de especies, tanto permanentes como migradoras estacionales. Entre las aves destacan todas las que al amparo de la vegetación riparia pueden establecer sus nidos, refugios y dormitorios como la familia de las garzas (*Ardeidae*) con especies como el martinete (*Nycticorax nycticorax*), la garceta común (*Egretta garzetta*), la garza imperial (*Ardea purpurea*) y la garza real (*Ardea cinerea*); otras utilizan la espesura vegetal como dormitorios, lugares de nidificación y refugio, son las familias de las anátidas, rálidos, limícolas y ardeida. Dos especies de cigüeñas (*Ciconidae*) están ligadas a los hábitats riparios de la Cuenca del Ebro, la cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*) y la cigüeña negra (*Ciconia nigra*) que tienen sus lugares de nidificación cercanos a cursos fluviales y embalses de agua con abundantes peces.

Algunas aves rapaces como el águila pescadora (*Pandion haliaetus*), el aguilucho lagunero (*Circus aeruginosus*) y el cernícalo primilla (*Falco naumanni*) organizan su vida en gran parte bajo el cobijo y recursos que les ofrecen los taludes rocosos, sotos riparios y vegetación circundante a los cursos de agua.

Otras aves de pequeño tamaño utilizan los sotos y bosques de ribera como morada permanente o refugio habitual, cabe mencionar al emblemático martín pescador (*Alcedo atthis*), a las llamativas oropéndolas (*Oriolus oriolus*), escribanos (*Emberiza sp.*), mirlos acuáticos (*Cinclus cinclus*), currucas (*Sylvia sp.*), lavanderas (*Motacilla sp.*), ruiseñores comunes (*Luscinia megarhynchos*) y abejarucos (*Merops apiaster*).

En las cotas más altas de la pirámide trófica de los ecosistemas están presentes los mamíferos. La cada vez más abundante nutria (*Lutra lutra*), el más genuino de los mamíferos acuáticos de los ríos ibéricos, otros mamíferos que habitan en el entrono de los cursos fluviales de la cuenca hidrológica son la rata de agua (*Arvicola sapidus*), el turón común (*Mustela putorius*), la gineta (*Genetta genetta*), el zorro (*Vulpes vulpes*), el gato montés (*Felis silvestris*) y el visón europeo (*Mustela lutreola*) actualmente desplazado por el visón americano (*Mustela vison*) procedente de fugas incontroladas de granjas peleteras.

El conjunto de los sotos del Ebro se encuentra muy fragmentado en el espacio, muy reducido superficialmente y enormemente impactado por la acción humana; destacan por su grado de conservación y superficie el soto de los Americanos, el soto de San Martín y los

sotos de Alfaro en La Rioja, el soto de Ramalete en Navarra y los sotos asociados a los galachos de Juslibol y La Alfranca, el soto de la Casa de Quinto y el soto de Aguilar en Zaragoza. Fuera del cauce del Ebro también resultan especialmente destacables los sotos de los ríos Aragón, Arga, Irati, Gállego, Cinca y Segre.



Fig. 1.115. Bosque en galería en torno al río Urrobi en Erro (Navarra).

1.4.3. Ecosistemas esteparios de la cuenca del Ebro

Las estepas presentes en la cuenca del Ebro pueden incluir tanto a pequeñas planicies estepizadas de difícil drenaje con presencia dispar de vegetación arbustiva y otras plantas leñosas de mayor o menor carácter xerofítico, como a las amplias extensiones de las Bardenas Reales, Monegros, Campo de Belchite y Bajo Aragón de carácter propiamente estepario, con vegetación halófila-gipsícola propia de los suelos salinos. La vegetación clímax dominante en las estepas del centro de la Depresión del Ebro está constituida por la sabina albar (*Juniperus thurifera*), muy resistente a las bajas temperaturas invernales, suelos pobres y sequía estival; mientras que en zonas de clima más benigno son los encinares y coscojares; en ambos casos su degradación hace aparecer diversos tipos de arbustos como los espinos (*Rhamnus saxatilis*, *Rhamnus lycioides*), las aliagas o aulagas (*Genista scorpius*, *Genista rigidissima*), y el matorral formado por salvias (*Salvia* sp.), tomillo (*Thymus vulgaris*), espliego (*Lavandula latifolia*), ontina (*Artemisia herba-alba*), romero (*Rosmarinus officinalis*), capitana (*Salsola kali*). En zona salinas aparecen otras especies más o menos heliófilas y gipsófilas como la sosa (*Suaedera vera*), la salicornia (*Salicornia ramosissima*), el sisallo (*Salsola*

vermiculata) y los tamarices o tarays (*Tamarix africana*).

De entre la fauna destacan sin duda las aves como la terrera (*Calandrella brachydactyla*), la ortega (*Pterocles orientalis*), el alcaraván (*Burhinus oedicnemus*), el sisón (*Tetrax tetrax*), la ganga (*Pterocles alchata*) y la alondra (*Alauda arvensis*) y rapaces como el aguilucho pálido (*Circus cyaneus*), el aguilucho cenizo (*Circus pygargus*) y el cernícalo o esparbel (*Falco tinnunculus*).

1.4.4. Ecosistemas fluviales de montaña.

La mayor influencia climática, la regularidad hidrológica del cauce, las acusadas pendientes de las laderas, el menor espacio disponible para la vegetación riparia, la presencia de aguas transparentes y lechos rocosos o con abundantes cantos rodados confiere una singular presencia de taxones vegetales en buena parte distintos a los existentes en los sectores medios y bajos de los cursos fluviales.

En cuanto a la vegetación riparia, los sotos y bosques de galería están formados por muchas de las especies de los tramos medio y bajos pero con la aparición de otras especies en función de los diferentes microclimas, composición del sustrato, orientaciones, topografía e intervención humana. Son especies riparias típicas el álamo temblón o tremoleta (*Populus tremula*), los falsos tarays (*Myricaria germanica*), los fresnos (*Fraxinus angustifolia*) y robles melojos (*Quercus pyrenaica*); se entremezclan los boj (*Buxus sempervirens*), tilos (*Tilia platyphyllos*), tejos (*Taxus baccata*), serbales de los cazadores (*Sorbus aucuparia*), avellanos (*Corylus avellana*), arces (*Acer monspessulanum*) y algunas hayas (*Fagus sylvatica*), abedules (*Betula alba*) y pinos negros (*Pinus nigra*).

En los tramos de cabecera son dominantes los salmónidos, son las especies de peces mejor adaptadas a sus aguas rápidas, frías y oxigenadas, estando representados en la cuenca del Ebro por la trucha (*Salmo trutta*), acompañada ocasionalmente y en ambientes no selectivos de otras especies.

Entre la fauna no piscícola que vive en los tramos fluviales de montaña hay que destacar de entre los mamíferos a la nutria (*Lutra lutra*), el musgano de Cabrera (*Neomys anomalus*) el visón europeo y el desmán de los pirineos (*Galemys pyrenaicus*). Entre las aves destaca el buitre leonado (*Gyps fillvus*), el águila real

(*Aquila chrysaetos*), el alimoche (*Neophron percnopterus*), el búho real (*Bubo bubo*), y el quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*), entre otras aves rapaces. Otras especies destacables son anfibios tan característicos del Pirineo como la rana bermeja (*Rana temporaria*) y el tritón pirenaico (*Euproctus asper*).

1.4.5. Ecosistemas en el delta del Ebro

Su considerable papel en el campo biológico contrasta con la profunda humanización de gran parte de su superficie y con su no menos considerable peso agrícola.

La vegetación del delta del Ebro es muy rica en taxones, los últimos catálogos florísticos señalan 515 especies. Las zonas salobres, con plantas muy adaptadas, se encuentran especialmente en los puntos de contacto entre el delta y el mar, donde aparecen con frecuencia dunas más o menos fijadas por la vegetación; destacan la arenaria (*Ammophila arenaria*), el tártago de mar (*Euphorbia paralias*), los pancracios marinos (*Pancratium maritimum*), los carrizales (*Phragmites communis*) ubicados en zonas con el nivel freático somero, que es sustituido por otras especies como *Cladium mariscus*, espadañas (*Typha sp* y *Carex sp*) cuando ese nivel está más profundo. Los bosques de ribera presentan especies de interés como *Lonicera biflora* ("liligabosc de riu"). Los arrozales comportan también un tipo de vegetación espontánea; en los pequeños lagos de agua dulce, conocidos por "ullals", crecen nenúfares (*Nymphaea alba*), y espigas de agua (*Potamogeton sp*). Destacan varias especies endémicas y relictas de gran valor ecológico como el limonstro (*Limonastrum monoptalum*) y el zigopilo (*Zygopuillum album*).

Los peces son abundantes de entre los vertebrados, a causa del importante papel que el agua tiene en el delta y de los distintos grados de salinidad, los esturiones, las anguilas (*Anguilla anguilla*) y las lampreas (*Petromyzon marinus*) han disminuido drásticamente, igual que los sábalos (*Alosa alosa*), pero por otro lado han aparecido especies nuevas, abundando las de familias como mugilidos, ciprínidos, serránidos.

En lo que se refiere a los mamíferos, la intensa humanización del delta condiciona la presencia de los grandes mamíferos, que es esporádica como es el caso de los jabalíes (*Sus scrofa*) o de los tejones (*Meles meles*), pero consta la presencia en tiempos pasados de ciervos (*Cervus elaphus*) y corzos (*Capreolus capreolus*).

Actualmente quedan algunos conejos de monte (*Oryctolagus cuniculus*) y se crían zorros (*Vulpes vulpes*), así como perduran unos pocos ejemplares de nutrias (*Lutra lutra*) o erizos (*Erinaceus eurpaeus*). Son en cambio muy frecuentes las ratas y ratones y las musarañas (*Crocidura sp*); la población de murciélagos, antes extraordinariamente numerosa, ha decrecido mucho.

La avifauna del delta es muy relevante, nidifican más de 27.000 parejas de aves acuáticas y es zona de invernada para más de 180.000 individuos (SeoBirdLife 1999); el promedio de aves censadas entre 1992 y 2001 es de 126.091 (www.seo.org/2003) y el catálogo de especies llega a 330 especies (60% del total europeo). Incluye especies de gran interés como la canastera (*Glareola pratincola*), el pato cuchara (*Anas clypeata*) y el ánade silbón (*Anas penelope*), el tarro blanco (*Tadorna tadorna*), el ánade friso (*Anas strepera*), la cerceta común (*Anas crecca*) y el porrón común (*Aythyaferina*); además destacan aves como el aguilucho lagunero (*Circus aeruginosus*), la lechuza campestre (*Asio flammeus*), el martinete (*Nycticorax nycticorax*), la garcilla cangrejera (*Ardeola ralloides*), la garceta común (*Egretta garzetta*), el flamenco (*Phoenicopterus ruber*), el ostrero (*Haematopus ostralegus*) o la gaviota de Audouin (*Larus audouinii*) (el 60% de la población mundial, unas 11.500 parejas, se encuentra en el Delta del Ebro) entre muchas otras.

1.4.6. Ecosistemas marinos relacionados

Todas las aguas del Mediterráneo que rodean el delta están afectada por la inyección de agua dulce procedente del Ebro. Cabe diferenciar las bahías deltaicas donde esta influencia está muy marcada de la costa exterior del delta donde la influencia es más tenue aunque evidente. El ambiente marino también se deja sentir en el estuario del Ebro, por el que penetra una cuña salina bajo las aguas dulces que se deslizan por encima hacia el mar.

Esta singularidad y estos fuertes gradientes favorecen la diversidad siempre asociada a los ecotonos. Es sabido que las desembocaduras de los grandes ríos son entornos pesqueros más ricos que su vecindad, tanto por el ensanchamiento de la plataforma a expensas de la acreción deltaica como por la fertilización que llega a través del río y la especial atracción que supone el chorro de agua dulce para determinadas especies. Tal es el caso de las sardinas (*Sardina pilchardus*) y las anchoas (*Engraulis encrasicolus*) como se demuestra

en Lloret y otros (2004) evidenciando que la influencia faunística del Ebro y del delta no acaba en la línea de costa, como ya apuntaron en su momento Margalef (1963), Margalef y Herrera (1963), San Feliu (1973), Meneses y Massó de Ariza (1983) del Instituto Español de Oceanografía.

Algunas especies de peces de la desembocadura del Ebro constituyen fuertes atractivos para la pesca deportiva. Las costas del Ebro son ricas en peces muy apreciados como: palometa, palometones, serviolas o pez limón, lubinas, mantas e incluso atunes. Por su parte, el agua de las bahías resulta excepcionalmente rica en plancton debido a su poco fondo y elevada temperatura, así como a la fertilización que reciben desde los cultivos del delta. Así, allí encuentran un adecuado lugar de cría numerosos alevines de diversas especies; también es un lugar adecuado y muy utilizado para la producción de moluscos: mejillón, almeja, ostra. Su degradación ambiental ha afectado a algunos géneros, antaño abundantes y hoy en claro retroceso, como las nava-jas, y afecta igualmente a la producción del mejillón (en la bahía de los Alfaques puede existir más de 100 bateas mejillones).

1.5. Usos del suelo

En la demarcación del Ebro, entre 3,5 (Plan Hidrológico de cuenca) y 4,4 (Corine 2000) millones de hectáreas están cubiertas por vegetación natural, lo que supone prácticamente el 50% aproximadamente de la superficie de la demarcación.

No significa que todo ese territorio esté cubierto por las formaciones vegetales climáticas de cada zona, pues la vegetación es uno de los elementos más afectados por la progresiva humanización que ha sufrido la cuenca, por lo que la situación actual es el resultado de la interacción entre las formaciones originales y las diversas incidencias antrópicas sobre ellas. No obstante, el bosque viene a cubrir unos 2.000.000 ha. en la demarcación, valor equivalente al indicado por el Censo Agrario realizado 10 años atrás. De estos 2.000.000 ha de formaciones arbóreas, casi 600.000 ha están constituidas por especies de frondosas (encinas, robles, hayas, árboles de ribera, etc.), 1.200.000 ha por las diversas resinosas (diferentes especies de coníferas, pinos y sabinas fundamentalmente), mientras las formaciones mixtas de resinosas y frondosas ocupan el resto (unas 185.000 ha).

Hay también por tanto, algo más de 2.000.000 ha. que corresponden a formaciones herbáceas o matorral. Superficie que refleja un aparente e importante aumento respecto a registros anteriores. En este conjunto, destaca un matorral boscoso que globalmente cubre más de 500.000 ha.

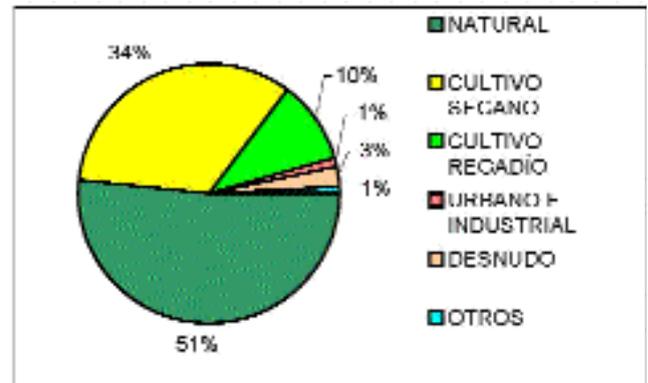


Fig.. 1.116. Distribución de usos del suelo en la demarcación hidrográfica del Ebro. Fuente CORINE 2000.

Las tierras cultivadas en la demarcación cubren una extensión de 3,8 millones de hectáreas, de ellas 2,9 millones son cultivos en secano y el resto en regadío (885.000 ha. según CORINE 2000).

En el resto del territorio el resto de usos del suelo tiene escasa representación. Cabe citar la existencia de 200.000 ha de suelos desnudos o con muy escasa vegetación, y también casi 100.000 ha. fuertemente urbanizadas o con equipamientos industriales y asimilados. El mapa que se presenta como Fig. 1.117 refleja la distribución de estas coberturas del suelo en la demarcación. Es destacable la localización de la mayor parte de los regadíos en las tierras llanas de la depresión del Ebro, donde también se concentra la población y donde la aportación específica es muy escasa y es preciso completar las necesidades hídricas de los cultivos artificialmente.

En lo que respecta a las zonas agrícolas, la información de CORINE se puede complementar con la ofrecida por los últimos censos agrarios disponibles, de 1989 y 1999, elaborados por el Instituto Nacional de Estadística, y que como su propio nombre indica son "censos", es decir, sus resultados proceden de encuestas.

De estos datos sorprende especialmente el incremento de la superficie agraria y, muy en especial, el incremento de los secanos cultivados. La superficie de regadío es claramente inferior a la estimada por otras fuen-

tes, ya que el encuestado responde con las tierras que regó el año anterior no con la superficie total en regadío de su transformación particular.

Censo agrario. Miles de ha.	Datos 1989	Datos 1999
Superficie agraria útil	4.228	4.395
Superficie labrada	2.818	2.915
Secano en barbecho	470	568
Secano cultivado	1.789	2.256
Superficie regada en el año	580	676

Tabla 1.6. Comparación de datos de los últimos censos agrarios del Instituto Nacional de Estadística.

1.6. Caudales ecológicos y demandas de agua

Los volúmenes requeridos para atender las necesidades ecológicas mínimas de la cuenca, fijados como tales en el Plan Hidrológico (CHE, 1996) no constituyen una demanda propiamente dicha sino una restricción que se

impone a los sistemas de explotación. Es decir, es un recurso a descontar en primer lugar, para obtener el recurso disponible.

Por otra parte, las demandas de agua de la cuenca del Ebro propiamente dichas, se calcularon para la preparación del Plan Hidrológico de cuenca (CHE, 1996), de donde proceden los datos que seguidamente se exponen de manera sintética para los distintos usos que se dan en la demarcación: abastecimiento urbano, agricultura y ganadería, producción energética, industria, acuicultura, usos recreativos, navegación y transporte acuático. Un desglose más detallado de todo ello puede encontrarse en la página web: <http://oph.chebro.es>

1.6.1. Caudales ecológicos

Los caudales ecológicos quedaron definidos en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro (CHE, 1996) bajo el concepto denominado condiciones ecológicas mínimas.

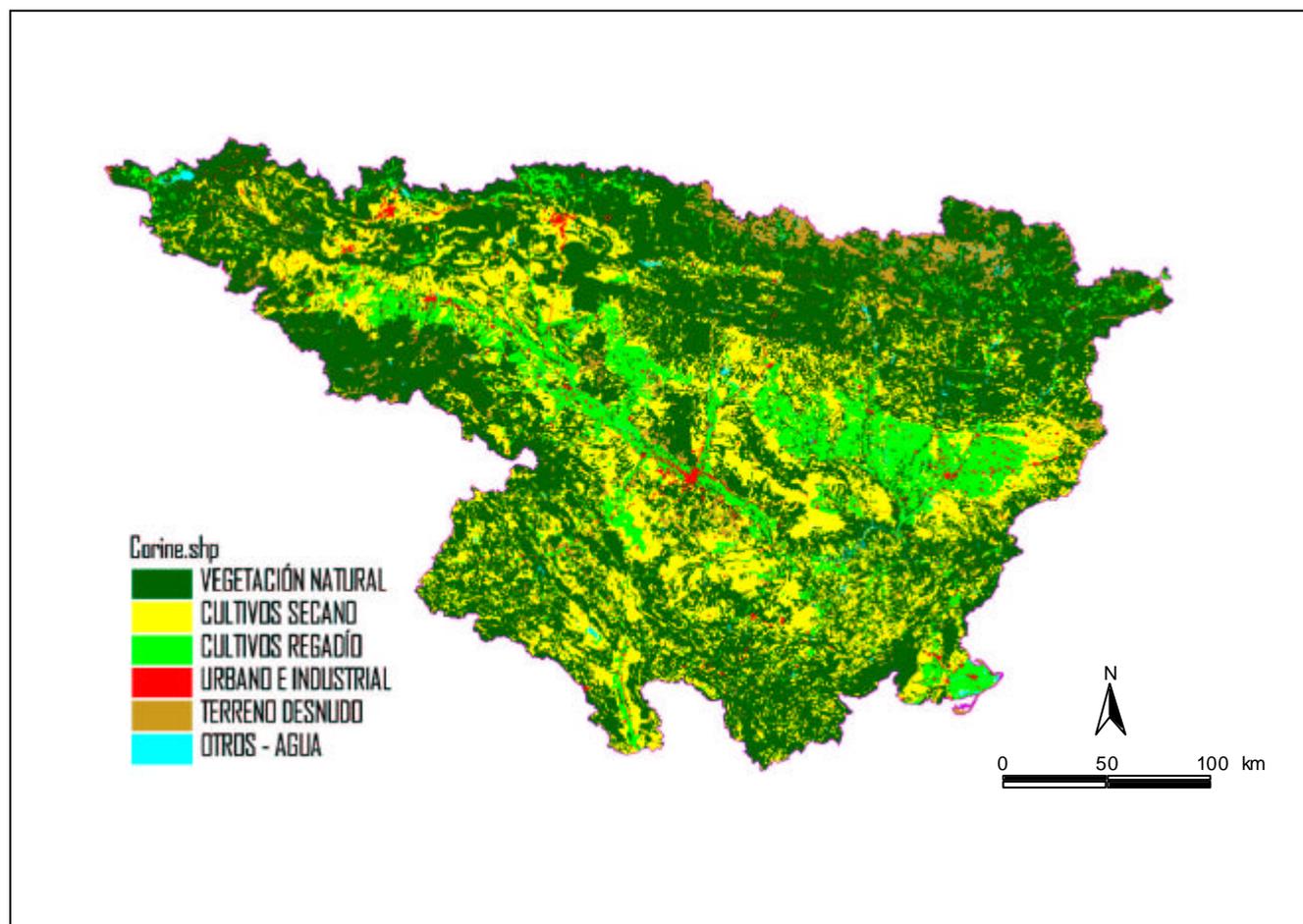


Fig. 1.117. Localización territorial de las diferentes cubiertas del suelo en la demarcación. Datos de CORINE 2000.

Con carácter general, y a falta de estudios más precisos que supusieran un avance en los criterios establecidos para su determinación, se fijó provisionalmente como caudales ecológicos mínimos a respetar en futuras concesiones el 10% de la aportación media interanual en régimen natural; si bien, cuando el caudal medio interanual en régimen natural sea superior a 80 m³/s podría adoptarse el 5%. Complementariamente, para la zona de la desembocadura el Plan Hidrológico adopta un caudal ecológico mínimo de 100 m³/s, correspondiente a una aportación de 3.156 hm³/año.

El Plan Hidrológico de cuenca, a la vez que establece provisionalmente los caudales ecológicos citados, abre un procedimiento de cálculo basado en el establecimiento de objetivos por tramos de río, en buena medida objetivos coincidentes con los que años más tarde fija la Directiva Marco del Agua.

Los estudios técnicos se han ido desarrollando a lo largo de los años realizando cálculos según distintas metodologías. Estos estudios han sido abordados tanto desde el organismo de cuenca (CHE, 2002b; MMA, 2004; por citar algunos ejemplos) como desde distintas comunidades autónomas (Gobierno de La Rioja, 1998; Gobierno de Navarra, 2003; entre otros). Es común en todos estos trabajos la necesidad de considerar la modulación mensual de caudal ecológico y el requerimiento de unos porcentajes sobre el régimen natural variables pero, en general, claramente superiores a las cifras hasta ahora consideradas del 10%. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en la situación actual de aprovechamientos, el respeto de ese valor del 10% de la aportación media interanual en régimen natural falla con relativa frecuencia en la mayoría de las estaciones de registro de caudales (Fig. 1.118), y en particular en las situadas en los tramos medios y bajos de los ríos.

1.6.2. Demandas de agua

El conjunto de demandas de agua que se registran en la demarcación se sintetiza en la siguiente tabla 1.7:

Por consiguiente, se estima que la demanda total se aproxima a los 50.000 hm³/año, de los que unos 7.000 hm³/año vendrían a constituir las demandas estrictamente consuntivas, el resto retorna en su práctica totalidad a los cauces, se suelen suministrar subsumidas en el servicio de las anteriores llegando a producir, en su caso, pérdidas de regulación.

Seguidamente se completa la información presentada en la tabla con algunas particularizaciones para cada tipo de uso descrito en el Plan Hidrológico de cuenca.

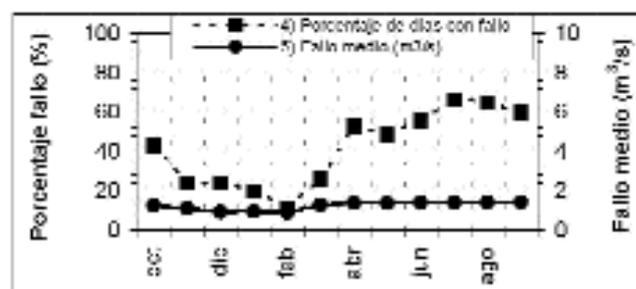


Fig. 1.118. Análisis del cumplimiento del caudal ecológico establecido provisionalmente en el Plan Hidrológico de cuenca. El ejemplo muestra el caso de la estación de aforo nº 87 (río Jalón en Grisén).

1.6.2.1. Demandas de abastecimiento

La demanda para abastecimiento se calcula aplicando una dotación adecuada a cada núcleo urbano (O.M. de 24 de septiembre de 1992 y Plan Hidrológico de cuenca) atendiendo a sus dimensiones y características. Con este cálculo resulta que la cuenca demanda para abastecimiento de su población fija residente un recurso que se eleva a 319 hm³/año. A ello hay que añadir los volúmenes trasvasados para este fin a la zona vasco-cantábrica y a las cuenca internas de Cataluña, con todo ello, la demanda de abastecimiento que se atiende desde la cuenca del Ebro es de 506 hm³/año. Además hay que considerar una cierta dotación estacional para atender la población que se desplaza en periodos de vacaciones y fines de semana, y que aunque globalmente no es significativa puede resultar importante en determinados núcleos turísticos o de muy escasa población fija residente, esto se calculó en 6,25 hm³/año que no son directamente sumables a los anteriores.

Uso	hm ³ /año
Abastecimiento	506
Agricultura y ganadería	6.310
Producción de energía	41.100
Industria no conectada	250
Acuicultura	1.000
Usos recreativos	300
Total	49.466

Tabla 1.7. Síntesis de demandas de agua en la demarcación hidrográfica del Ebro.

1.6.2.2. Demandas de agricultura y ganadería

Las demandas de riego se calcularon estimando sus necesidades hídricas unitarias (dotación requerida) en función de la distribución de comarcas agrarias con distintos mosaicos de cultivos y de las superficies de riego. El primer factor se evalúa en función de la climatología, de la alternativa de cultivos que se da en la zona que se calcula y de los sistemas de aplicación que resultan eficientes y adecuados. Las superficies se evaluaron a partir de los registros concesionales y de los datos de los grandes sistemas de explotación administrados por la Confederación.

En total, la demanda para regadíos se evaluó, de la manera indicada en 6.310 hm³/año.

Al igual que en los casos anteriores, la demanda ganadera se calculó partiendo de unas dotaciones para cada tipo de ganado que se aplicaron a los censo ganaderos. Las cifras globales resultantes no resultan significativas. La demanda real de este subsector no está bien caracterizada.

1.6.2.3. Demandas para la producción de energía

A la hora de considerar las demandas para la producción de energía cabe diferenciar dos grandes tipos de instalaciones: las hidroeléctricas y las térmicas. Las primeras utilizan el agua como propulsor de las turbinas, aprovechando así la energía potencial para transformarla en eléctrica; las segundas utilizan la energía procedente de un foco térmico fruto de la quema de combustibles fósiles (carbón, fuel, gas) o de la desintegración radiactiva. Recientemente han entrado en servicio centrales de gas que utilizan la tecnología denominada ciclo combinado, que une la energía generada con la combustión del gas a la recuperación adicional de calor en otro sistema de turbinas.

El uso estrictamente hidroeléctrico (CHE, 2003) viene a suponer la utilización de unos 38.000 hm³/año; aproximadamente tres veces la aportación media en régimen real, con lo que se obtiene una producción del orden de los 9.400 Gwh al año, con una potencia instalada próxima a los 4.000 Mw. Considerando la aportación media en régimen natural, la producción unitaria que se obtiene (0,5 kwh/m³) es la mayor de todas las cuencas españolas.

Las centrales térmicas (3 térmicas convencionales, 4 de ciclo combinado y 2 nucleares) disponen de una poten-

cia instalada de 5.430 Mw. La demanda de agua para su refrigeración se eleva a unos 3.100 hm³/año; la mayor parte comprometida en la refrigeración de los reactores nucleares de Santa María de Garoña (Burgos) y Ascó (Tarragona).

1.6.2.4. Demandas industriales

La demanda de agua para la industria dentro de la demarcación del Ebro tiene una importancia menor, puesto que tan solo representa del orden del 3% de la demanda consuntiva total. Por otra parte, debido al elevadísimo número de instalaciones industriales y a que una buena parte de ellas se abastece a partir de las redes urbanas, su estudio es sumamente complejo y por ello no se encuentra bien caracterizada.

El Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro (CHE, 1996) cifra la demanda industrial en 470 hm³/año, excluidas la producción energética y los escasos aprovechamientos de fuerza motriz. De la cifra citada, 258 hm³/año corresponderían a industrias no conectadas a las redes municipales. Estudios más recientes (CHE, 2001), que han analizado las demandas de los procesos productivos que conllevan degradación del recurso, cifran estas necesidades en unos 120 hm³/año.

1.6.2.5. Demandas de acuicultura

La acuicultura es una actividad que se solapa parcialmente con la ganadería y con la industria, aunque conlleva un uso del agua claramente diferenciado. Sus peculiaridades radican en precisar una especial modulación adecuada al ciclo vital de las especies, unas exigencias estrictas de calidad, un retorno prácticamente total del agua utilizada y unas singulares características del efluente vertido, habitualmente enriquecido en nutrientes.

Estas demandas no se encuentran bien caracterizadas, ya que el sector está sufriendo una importante reconversión.

A finales del año 2004 existen unas 50 instalaciones de acuicultura continental en servicio. La mayor parte de ellas dedicadas a la producción de trucha arcoiris para consumo humano y otras a la producción de trucha autóctona para repoblación piscícola. La demanda anual del sector se cifra en unos 1.000 hm³.

En el campo de la acuicultura marina, que se da en las aguas del entorno del delta del Ebro, se producen diver-

sas especies: anguila, peces ornamentales, crustáceos y moluscos, entre otros. Sus requerimientos están especialmente dirigidos a cuestiones cualitativas más que cuantitativas, aunque exista relación entre ambas.

1.6.2.6. Demandas de usos recreativos, navegación y transporte acuático

Dentro de este grupo de demandas se consideran aprovechamientos muy dispares del dominio público hidráulico, cuyo objetivo principal es satisfacer los requerimientos de ocio de la sociedad, a veces al amparo de una actividad comercial que ofrece el servicio. Estos aprovechamientos, según su naturaleza, pueden estar amparados por concesiones, por distintos tipos de autorizaciones o simplemente se pueden practicar libremente en el ámbito de los usos comunes o bien requerir autorización de otras administraciones, licencias de pesca por ejemplo.

Tienen cabida en este epígrafe múltiples actividades deportivas, que en ocasiones son difíciles de separar de otros usos, como el regadío (campos de golf), la demanda ganadera (abrevaderos para caza), la demanda urbana (piscinas). Entre los usos consuntivos más significativos que se pueden identificar en nuestra demarcación destacan los de innivación artificial, actividad implantada en la práctica totalidad de las estaciones de esquí de la cuenca.

La navegación, tanto en embalses, como en ríos, tanto de aguas lentas como rápidas, o en canales artificiales, es otra actividad recreativa que demanda agua. En el caso de derivación a canales artificiales es destacable la instalación de La Seo de Urgell (Lleida).

En el conjunto de la cuenca este conjunto de demandas resulta insignificante, no está bien caracterizado, y se estima inferior a 300 hm³/año, con un retorno prácticamente total

1.7. Sucesos extremos: avenidas y sequías

Cuando en el artículo 1 de la Directiva Marco se detalla el propósito de esta norma, explícitamente se hace referencia a que, el marco de protección que se establece debe contribuir a paliar los efectos de las inundaciones y las sequías. Por ello, seguidamente se presenta una panorámica de estos dos tipos de fenómenos climáticos e hidrológicos extremos.

1.7.1. Avenidas

1.7.1.1. Introducción

Una avenida, es una crecida temporal y excepcional en el caudal de un río, que puede deberse a causas tanto naturales como artificiales. Las primeras son las más frecuentes, las segundas pueden ser generadas voluntariamente o deberse a causas accidentales. En cualquier caso, aquí se hace referencia a las avenidas naturales debidas fundamentalmente a excesos de lluvia coincidentes o no con deshielos, provocando una elevada, excepcional y temporal escorrentía en la cuenca receptora.

En la demarcación del Ebro, este tipo de avenidas naturales se deben a dos tipos de situaciones climatológicas: 1) lluvia persistente en amplias zonas y 2) lluvia localizada muy intensa.

1) Las lluvias de larga duración con intensidades generalmente uniformes producen crecidas que abarcan un extenso ámbito hidrográfico y dan lugar a caudales punta que se mantienen durante varios días. Este tipo de avenidas halla principalmente su ubicación dentro de la cuenca, en los Pirineos y en cabecera del Ebro. Un claro ejemplo de esta clase de crecidas sería la que tuvo lugar en noviembre de 1982, afectando especialmente a la cuenca del Segre. Al mismo tiempo, dentro de esta tipología de crecidas, existe la particularidad de aquellas que pueden ser causadas por un incremento inusual de las temperaturas primaverales dando lugar a un rápido deshielo de las nieves pirenaicas. De hecho, son las avenidas que combinan como causas el incremento de temperatura y el consiguiente rápido deshielo, con lluvias intensas, las que mayores estragos pueden causar. Es frecuente, que casi todas las grandes avenidas registradas en la cuenca del Ebro pueden ser atribuidas a esta conjunción de elementos.

2) Por otro lado, lluvias de tipo convectivo de corta duración y grandes intensidades dan lugar a crecidas relámpago, de limitado ámbito territorial pero extremadamente violentas y rápidas. Esta clase de riadas es típica de la zona mediterránea e ibérica de la Cuenca, pero también se pueden manifestar con bastante asiduidad en el resto de las zonas. Buen ejemplo de esto último es nuevamente la crecida relámpago que tuvo lugar en el barranco de Arás (Biescas) en el verano de 1996.

Probablemente, la unión entre lluvias torrenciales, cuencas pequeñas y rápidas, y por consiguiente, con bajos tiempos de concentración, da lugar a las avenidas más peligrosas en términos de riesgos para las personas, debido a su imprevisibilidad y al escaso tiempo de reacción de que se dispone.

1.7.1.2. Precipitaciones máximas

El Ministerio de Fomento, a través de la Dirección General de Carreteras ha realizado distintas evaluaciones de las precipitaciones máximas en el territorio de la España peninsular (MF, 1997; MF, 2001). A partir de estos trabajos se puede indirectamente hacer una determinación de las zonas de la demarcación susceptibles de registrar idénticos rangos de precipitaciones máximas diarias para los períodos de retorno que se consideren.

En una primera aproximación se puede contemplar lo que ya es sobradamente conocido; que las máximas precipitaciones diarias en la cuenca del Ebro vienen a producirse en dos áreas claramente diferenciadas: la zona baja oriental de desembocadura del Ebro, y la cordillera de los Pirineos.

La primera de estas dos zonas, es la que soporta los riesgos más elevados de mayores precipitaciones torrenciales. Participa de las condiciones climáticas inherentes a todo el Levante peninsular de influencia mediterránea, y por consiguiente del fenómeno conocido como depresión fría en altura o "gota fría", que se produce fundamentalmente en el otoño y que es causante de importantes lluvias torrenciales, no sólo en cómputo diario sino horario, lo cual puede conducir a que se produzcan avenidas muy localizadas pero a la vez muy graves. Así, en esta zona, que registra una media anual de precipitación entre 500 y 600 mm, pueden darse, con período de retorno inferior a 50 años, precipitaciones diarias superiores a 150 mm.

El área pirenaica, por el contrario, dispone de una elevada pluviometría anual debida tanto a los propios efectos orográficos como a su influencia atlántica, que en condiciones de especial inestabilidad atmosférica, y sobre todo cuando aire cálido y muy húmedo se encaja en los valles transversales, da lugar a las correspondientes lluvias torrenciales. Estas fuertes precipitaciones en los Pirineos suelen abarcar una amplia zona de la cordillera, por lo cual las avenidas suelen producirse de forma generalizada para los diferentes ríos pirenaicos, y son especialmente intensas si van acompaña-

das del deshielo del manto nival. No obstante, son aquí también comunes las lluvias torrenciales asociadas a fenómenos tormentosos veraniegos afectando a zonas más localizadas. A modo de ejemplo cabe citar nuevamente la tragedia del Camping Las Nieves (Biescas, Huesca); en agosto de 1996, se registró una precipitación de 160 mm en el pluviómetro de la propia localidad de Biescas situado en la parte baja de la subcuenca, en apenas 75 minutos. Los cálculos posteriormente realizados (White y otros, 1997) señalan que la precipitación en la subcuenca del Betés del barranco de Arás, estuvo en torno a los 225-250 mm en una hora.

En el contexto general de la cuenca, a partir de los datos aportados por los trabajos citados (MF, 2001, en particular) y que fueron posteriormente analizados y desagregados para la cuenca del Ebro en CHE (1999b), se distinguen las siguientes zonas con las intensidades que se indican para periodo de retorno de 500 años:

-Con este período de retorno la única zona que podrían superar los 250 mm diarios, es aquella comprendida entre la confluencia del río Canaleta con el Ebro y la desembocadura de este último. En la comarca tarraconense del Bajo Ebro.

-Las áreas de la cuenca que pueden registrar precipitaciones diarias superiores a los 200 mm son más amplias y comprenden por un lado las cuencas de los ríos Tastavins, Pena, cabecera del Matarranya y del Algas, así como la cabecera del Bergantes, los ríos Montsant y Ciurana, y el Ebro desde su confluencia con este último, todo ello en el ámbito del Bajo Aragón, Bajo Ebro y Maestrazgo.

En la cordillera pirenaica nos encontramos con intensidades semejantes en las cabeceras del Flamisell, Noguera de Tor, Noguera-Ribagorzana, Isabena, Esera, Cinca, Cinqueta, Flumen, Erro, Urrobi y Arga.

-Intensidades de precipitación superiores a 150 mm en 24 horas para el periodo de retorno indicado ya se pueden encontrar extensas zonas de la cuenca, que generalmente amplían las anteriores a manera de arcos concéntricos, que en el caso del Ebro nos lleva casi hasta la altura de Mequinenza, y que para los ríos pirenaicos vienen a incluir en esta zona a los cursos altos de todos los referidos en el anterior grupo y de casi todos los demás. Además, también se identifican en la zona de cabecera del Ebro y, por la margen izquierda, el alto Nela, la cabecera del Zadorra, el curso casi completo del Irati, el curso medio del Arga, los ríos Salazar,

Esca, Veral, Subordán, y el Aragón hasta casi el embalse de Yesa, cursos altos de los Arbas, y Onsella, río Asabón y Gállego hasta el embalse de Ardisa, Cinca hasta la confluencia con el Esera, el río Vero y cursos altos del Guatizalema y Alcanadre, así como los cursos altos del Segre y Nogueras. Por la margen ibérica los únicos cauces que se añaden a la lista son las cabeceras de los ríos Guadalope y Martín.

-Precipitaciones superiores a 100 mm diarios pueden darse en toda la cuenca, salvo excepciones muy concretas, para este período de retorno. Entre 100 y 150 mm se encuentran incluidos prácticamente todos los afluentes de la margen derecha, el Ebro propiamente dicho y los cursos bajos de los afluentes pirenaicos.

Las precipitaciones máximas en 24 horas de las que se tiene referencia son las que se dieron en Góriz, con 650 mm y La Molina con 555 mm en Noviembre de 1982. En 1937 se midieron algo más de 300 mm en La Bonaigua y Benasque, y en 1907 se midieron 411 mm en Pont de Suert.

1.7.1.3. Zonas inundables

El Plan Hidrológico de cuenca identifica, a partir de estudios precedentes (Comisión Nacional de Protección Civil, 1985a) 282 zonas con riesgo potencial de inundación a lo largo de la red fluvial de la cuenca. Estas zonas están tipificadas como de riesgo máximo (18 casos), medio (45 casos) o mínimo (219 casos). Estas zonas fueron objeto de estudio (Comisión Nacional de Protección Civil, 1985b) para definir medidas estructurales o de gestión dirigidas a prevenir y reducir los daños ocasionados por las inundaciones.

A la vista de los trabajos citados y en relación con la delimitación de las zonas inundables, entendidas, de acuerdo con el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, como las que quedarían cubiertas por las aguas bajo una avenida de período de retorno de 500 años, técnicos de la Confederación Hidrográfica del Ebro han promovido diversos y numerosos estudios dirigidos al conocimiento y delimitación en determinados ríos o tramos de cuenca. Esencialmente de los ejes principales y especialmente afectados por este fenómeno: Segre, eje del Ebro, Cinca, Aragón, Guadalope...

Actualmente estos estudios están orientados hacia la realización de estudios hidráulicos que permitan la simulación digital del tránsito de la onda de avenida sobre modelos de elevación precisos apoyados con

estaciones de seguimiento. La finalidad de estos estudios está orientada a la delimitación del dominio público y de la zona inundable para distintos periodos de retorno.

También se realizan valoraciones de las zonas afectadas por inundación aplicando para ello tecnologías combinadas EO/GIS (CHE, 2003b) de acuerdo con las conclusiones del proyecto europeo CLIFF (Cluster Initiative for Flood and Fire Emergencies) (CE, 2002b). La fig. 1.119 muestra un ejemplo de estos trabajos.

Entre las actuaciones que se contemplan para prevenir y reducir los daños provocados por las inundaciones cabe considerar dos grandes grupos: estructurales y no estructurales.

Entre las actuaciones estructurales se encuentran las presas para embalses de laminación y regulación, obras en los cauces (encauzamientos y otras protecciones de distinto tipo) y otras obras de conservación de cuencas, suelos y cubiertas vegetales. En todo caso, dentro de estas actuaciones estructurales hay que diferenciar entre las que limitan o condicionan la formación de la avenida (embalses, repoblaciones forestales...) y las que ayudan a conducirla (encauzamientos, dragados...). Dentro de los embalses laminadores es de destacar el papel desempeñado por el conjunto de Mequinenza y Ribarroja, al final del tramo medio del Ebro, reduciendo claramente el impacto de las grandes avenidas con su adecuada gestión. En particular las poblaciones de la zona baja, como Tortosa se ven favorecidas por estos elementos de laminación. Esta ciudad ha sido arrasada en varias ocasiones por las aguas, destacando las grandes catástrofes sufridas en 1787 y en 1907, anteriores a la construcción de los grandes embalses, para las que se carece de datos foronómicos. En noviembre de 1982 tuvo lugar una nueva avenida de entidad comparable a las antes citadas, tuvo su origen en la zona pirenaica, a través de las subcuencas de los ríos Aragón, Gállego, Cinca y Segre. En este caso el efecto laminador del embalse de Mequinenza (1.500 hm³ de capacidad) redujo la magnitud de esta avenida en el bajo Ebro, que en caso contrario se estima que habría alcanzado valores comparables a la de 1907. De cualquier modo, sin llegar a ser catastrófica, produjo cuantiosos daños. El hidrograma laminado de este episodio se presenta en la Fig. 1.120, donde se muestra que la tarde del día 9 de noviembre de 1982 se alcanzó una punta de caudal estimada en 3.760 m³/s.

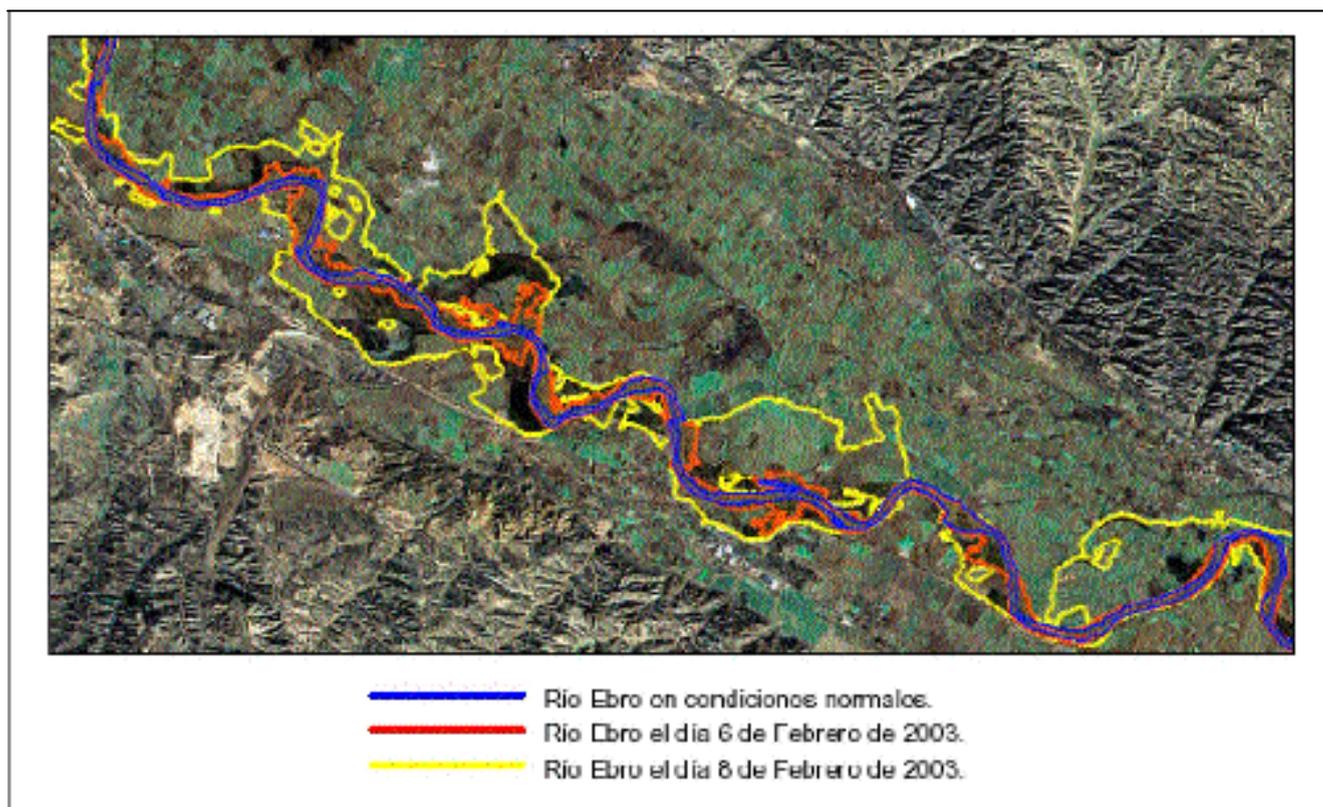


Fig. 1.119. Aplicación de las tecnologías de observación de la Tierra y GIS al estudio del tránsito de una onda de avenida a lo largo del valle medio del Ebro.

En lo que se refiere a las obras que "conducen" las avenidas, la ejecución de obras de dragado, realizadas en su mayor parte en las proximidades de las zonas urbanas, que son las más afectadas, constituye una de las actuaciones de tipo estructural más frecuentemente aplicada. La realización por parte de la Administración de actuaciones en los cauces de los ríos viene determinada bien por la solicitud de los afectados o bien por necesidades surgidas a raíz de las grandes avenidas.

Sin embargo, la creciente sensibilidad ambiental de la sociedad obliga a que estas actuaciones se realicen de forma muy controlada ya que conllevan un gran deterioro hidromorfológico de los cauces. Ésto conduce a la necesidad de un conocimiento de la situación real del cauce, identificando su valor geomorfológico (CHE, 2003 y CHE, 2004) y los espacios naturales con valor medioambiental relevante. definiendo las actuaciones de mejora que se estimen convenientes, para, con todos los datos obtenidos, poder tomar las medidas necesarias de restauración y definir las condiciones técnicas a exigir antes de abordar este tipo de actuaciones estructurales.

Como actuaciones no estructurales cabe considerar aquellas que favorecen la reducción o eliminación de

los daños que producirían las avenidas mediante una adecuada política de gestión de los usos del suelo en las zonas inundables y un sistema eficaz de alarma y previsión en coordinación con los planes de protección civil y de ordenación del territorio de las comunidades autónomas. En este sentido existen buenos ejemplos llevados a cabo por la Agencia Catalana del Agua a través de los denominados Planes de Ordenación de los Espacios Fluviales (Molina y otros, 2004), en los que también tienen cabida ciertas actuaciones estructurales allí donde resulta más aconsejable o donde recuperar la anchura requerida por el corredor fluvial no resulta social y económicamente adecuado.

En el ámbito de los sistemas de previsión, la cuenca del Ebro cuenta con el denominado SAIH-Ebro que muestra sus resultados y lecturas en tiempo real a través de las páginas web del organismo de cuenca (www.chebro.es). La Fig. 1.121 muestra la pantalla de acceso al sistema a través de Internet. Este Sistema Automático de Información Hidrológica y de Comunicación Fónica de la Cuenca Hidrográfica del Ebro, responde a la necesidad de racionalizar y agilizar el proceso de toma de decisiones en tres aspectos fundamentales relacionados con la gestión hidráulica de la cuenca:

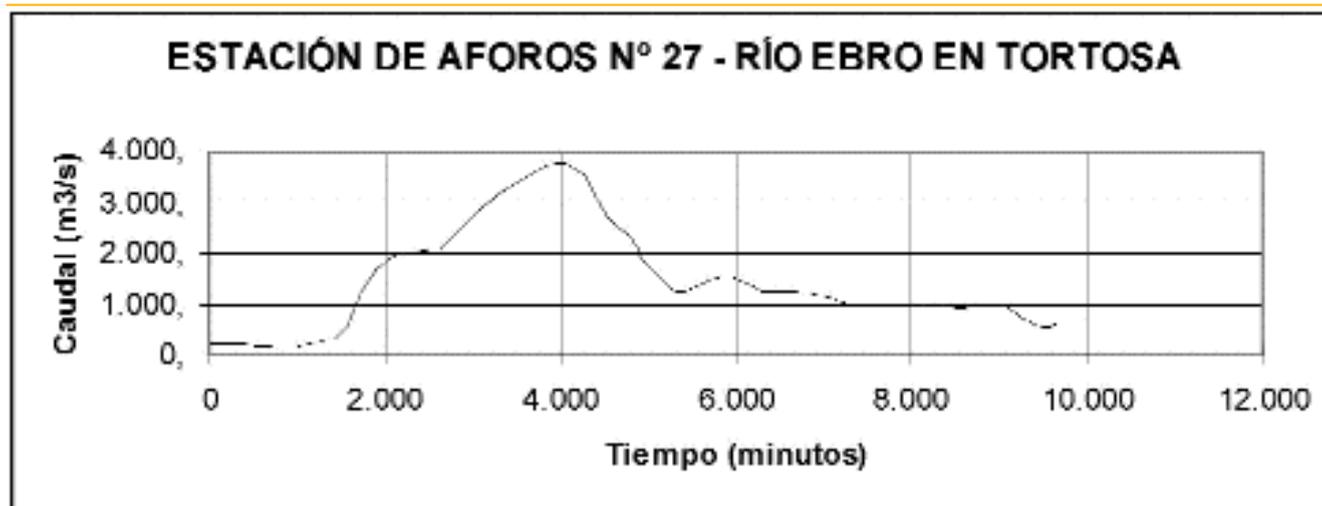


Fig. 1.120. Hidrograma de la avenida registrada el 9-11-1982 en Tortosa, a pesar de la laminación producida por el sistema de embalses de Mequinenza y Ribarroja en el curso medio del Ebro.

- Gestión global de los recursos hidráulicos, a fin de optimizar su asignación y explotación (abastecimientos, regadíos, centrales hidroeléctricas, etc.).

- Previsión y actuación en situaciones de avenidas, con objeto de minimizar los daños causados por las mismas.

- Vigilancia de los niveles de contaminación de las aguas de los ríos y canales.

Para cumplir estos objetivos se ha dispuesto de una red de telemedida y telecontrol que transmite y procesa todas las variables captadas.

El SAIH-EBRO se estructura en tres niveles jerárquicos: 1) Punto de Control o Estación Remota (E.R.), 2). Punto de Concentración (P.C.) y 3) Centro de Proceso de Cuenca (C.P.C.).

En el Punto de Control se efectúa la adquisición de los datos de campo, realizándose un almacenamiento de la información, una primera elaboración de la misma y la transmisión al nivel jerárquico superior, Punto de Concentración, a petición de éste, a través de la red secundaria de comunicaciones. Los Puntos de Concentración constituyen el segundo nivel, y responden a la necesidad de dividir la Cuenca en varias zonas siguiendo, fundamentalmente, criterios de explotación. En cada uno de estos puntos, situados en Logroño, Tudela, Ejea de los Caballeros, Huesca, Monzón, Alcañiz y Zaragoza, se concentra la información captada en los puntos de control de su zona, se procesa y almacena esa información y se transmite al Centro de

Proceso de Cuenca, a petición de éste, a través de la red primaria de comunicaciones.



Fig. 1.121. Pantalla de acceso al SAIH-Ebro a través de Internet.

En síntesis la operatoria del Sistema Automático de Información Hidrológica sigue los siguientes pasos:

- Recogida de los datos proporcionados por los sensores mediante la estación remota.
- Envío de los mismos mediante la red de radioenlaces a los Puntos de Concentración.
- Envío de los Puntos de Concentración al Centro Proceso de Cuenca.

- Tratamiento informático de los datos recibidos tanto en los Puntos de Concentración como en el Centro de Proceso de Cuenca.

Las formas de operación o funcionamiento del S.A.I.H. son tres: Normal, de Crisis y Virtual.

SITUACIÓN NORMAL

En este modo de funcionamiento las estaciones son interrogadas en períodos quinceminutales por el concentrador del P.C. correspondiente.

Las estaciones, que han estado adquiriendo valores durante todo este tiempo, responden con la media de los valores analógicos almacenados durante ese período de tiempo, o bien los cambios de estado acaecidos en el mismo.

Toda la transmisión de datos se hace a través de la red de teledatada (secundaria o primaria, dependiendo de la dirección de la pregunta o respuesta), mediante la utilización de un protocolo de comunicaciones específico que analiza los mensajes y los encamina.

En esta situación también se recibe periódicamente el estado de funcionamiento de la red de teledatada, transmitiéndose en su caso las alarmas producidas.

Todos los datos recibidos son visualizados en el Punto de Concentración y en el Centro de Proceso de Cuenca a través del Sistema de Gestión de Datos de que están dotados.

SITUACIÓN DE CRISIS

Es la provocada en caso de avenidas o situaciones de alerta por causa de la lluvia. La declaración de zona en crisis sólo se puede hacer desde el control del Centro Proceso de Cuenca, y para una zona de la cuenca o subcuenca.

Al declarar una zona de la cuenca o subcuenca afectada en crisis todas las estaciones pertenecientes a dicha zona pasan a ser interrogadas en períodos de tiempo más cortos, normalmente cincominutales, aunque dependiendo del número de estaciones este tiempo puede disminuirse, hasta valores compatibles con los radioenlaces.

El resto de estaciones de la cuenca o subcuenca no afectadas por la crisis, pasan a ser interrogadas en

períodos de tiempo mayores, del orden de 20 a 30 minutos, para dejar más tiempo de comunicación para las estaciones en crisis.

El estado de crisis suministra también estadísticas e históricos, que facilitan las decisiones a tomar en situaciones de emergencia, realiza comparaciones con los datos de otras crisis en la misma zona, presenta gráficos de probabilidades, etc., manteniendo también el resto de funciones para las demás estaciones. De la situación de crisis se sale bajo orden expresa del C.P.C. o por time-out.

TERMINAL VIRTUAL

Permite emular una remota desde cualquier sistema informático, bien Punto de Concentración, bien Centro de Proceso de Cuenca.

Mediante esta función se accede en tiempo real directamente a todos los parámetros definidos en la remota y a la información que está adquiriendo. Es posible así tratar los parámetros introducidos en la remota, modificándolos o comprobándolos.

Esta función utiliza los tiempos de comunicación disponibles fuera de las tareas encomendadas de adquisición. Por lo tanto jerárquicamente se sitúa en tercer nivel detrás del funcionamiento en situación de crisis y situación normal de adquisición quinceminutal.

1.7.2. Sequías

1.7.2.1. Caracterización de la sequía en la demarcación del Ebro

La definición conceptual de sequía es difícil de precisar, tanto en su inicio y finalización como en el área geográfica que abarca debido al gran número de factores que en ella intervienen. Algunas definiciones hacen intervenir la variable tiempo, mientras que otras son independientes de él. Siempre está relacionada con la ocurrencia de un período prolongado con ausencia o escasez de precipitaciones, anormal respecto a las condiciones climáticas medias de la zona, admitiendo diversas definiciones según el punto de vista desde el que se aborde: climático, biogeográfico, agrológico, hidrológico, u otros.

Desde el punto de vista climático son numerosas las definiciones de sequía, basadas todas ellas en la cuan-

tía de la precipitación registrada en una determinada zona, que presenta marcadas diferencias respecto al régimen pluviométrico medio de dicha zona. Además en nuestro ámbito climático, es necesario tener en cuenta la irregularidad del clima, bastante suavizada en las zonas de influencia atlántica y en ciertas regiones montañosas, pero determinante en las de clima mediterráneo, especialmente si éste presenta degradación semiárida, como es el caso del sector central de la depresión del Ebro (ver epígrafe 1.3.1. condiciones climáticas).

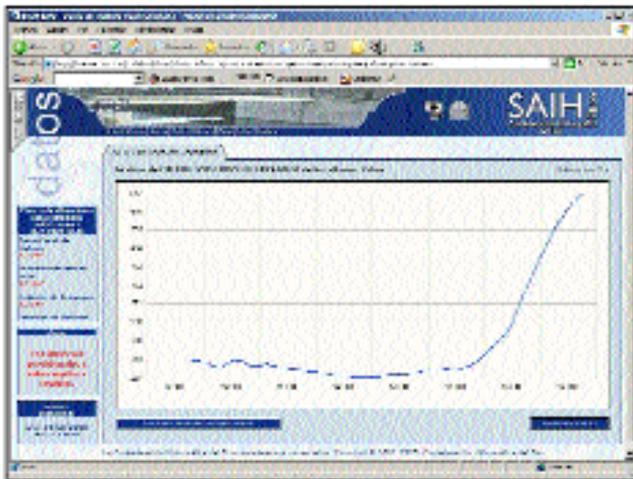


Fig.1.122. Hidrograma registrado por la estación de aforo sobre el río Ebro en Zaragoza. Datos en tiempo real.

Por ello, hay que considerar normal la ocurrencia de períodos considerablemente largos en los que la precipitación es escasa o nula, lo que obliga a considerar como sequías sólo los lapsos de tiempo en que estas condiciones se alargan y se agudizan, o de lo contrario el número de períodos secos definidos sería tal que perderían su condición de anormalidad.

Estos períodos secos se presentan con una marcada irregularidad. No ha sido posible establecer ciclos o tendencias para los períodos secos, ni siquiera en las series más extensas de observación.

Desde el punto de vista biogeográfico se registra cuando las formaciones vegetales de una determinada zona, sufren un déficit hídrico como consecuencia de una sequía edáfica. En el origen de esta sequía edáfica, hay una sequía climatológica que puede acentuarse por factores tales como períodos de viento intenso tras las lluvias, que intensifiquen la evapotranspiración y la desecación del suelo, o una excesiva concentración horaria de lluvia, que puede ocasionar fuertes escorrentías con

una infiltración escasa, reduciéndose el volumen de agua aprovechable por las plantas, aunque, en términos estrictamente climáticos, la precipitación caída no sea notablemente inferior a la normal.

Desde el punto de vista agrológico, se registra cuando la disponibilidad hídrica del suelo no es capaz de satisfacer la demanda evapotranspirativa de los cultivos de secano, lo que se traduce en un descenso de productividad. En su ocurrencia influyen, además de la sequía climática, factores tales como la capacidad de retención de humedad del suelo, las necesidades del cultivo instalado, etc. Aunque la relación con la sequía climática es evidente, no se puede establecer un total paralelismo entre ambas, ya que la repercusión de períodos secos climáticos sobre la agricultura depende mucho de la fase de desarrollo en que el cultivo se encuentre.

Desde el punto de vista hidrológico, puede definirse como un período durante el cual los caudales son insuficientes para satisfacer los usos establecidos bajo un sistema dado de administración de recursos hidráulicos. En su origen está causada por una sequía climática que puede afectar de diferente forma a la regulación natural de la escorrentía. Esta sequía puede acentuarse o amortiguarse según la gestión del recurso que se haga.

La sequía hidrológica tiene una repercusión social más amplia por la variedad de sectores y actividades que pueden verse afectados, algunos de gran importancia económica.

A modo de síntesis, puede concluirse diciendo que las situaciones de sequía son un fenómeno de escasez hídrica temporal que se da episódicamente en nuestra demarcación y para cuya mitigación es preciso estar preparado. Sancho (1991) analiza el problema de la gestión del agua en la cuenca del Ebro durante las situaciones de sequía a partir de experiencias reales llevadas a cabo en diversas subcuencas y territorios: Guadalope, Jalón, Aragón y Arbas, Gállego y Cinca, País Vasco y corredor del Ebro, de su trabajo cabe destacar las siguientes conclusiones:

- Deben centrarse esfuerzos en la mitigación de los efectos de las sequías. Esto puede hacerse por dos vías: aumentando la disponibilidad de agua en los sistemas de explotación e introduciendo una mejor administración que redunde en un ahorro de agua en todos los usos, especialmente en el regadío.

- El ahorro en los regadíos ha de venir de la mano de una modernización de las infraestructuras y de una mayor responsabilidad y organización por parte de los regantes en la distribución y uso de las aguas en el seno de sus zonas.

- La eficacia de las medidas que se tomen ante una sequía depende decisivamente de su abierta discusión y aceptación previas. Todo ello depende de la activa participación de los usuarios. Ello ha de conseguirse facilitando a los mismos la debida información técnica sobre la situación y discutiendo con ellos las posibles medidas a adoptar.

- Resulta imprescindible mantener la unidad de gestión en el ámbito de la unidad de cuenca. Ello permite coordinar elementos de regulación distribuidos por el territorio y la readscripción de los diferentes usos según prioridades en su atención.

- Debe profundizarse en la investigación de las aguas subterráneas, que resultan un elemento estratégico de gran interés para su sobreexplotación temporal y planificada en momentos de sequía.

- Las sequías se seguirán presentando en nuestra demarcación. Por consiguiente, en determinados casos (abastecimientos urbanos o industriales, por ejemplo) se hace necesario disponer de infraestructuras de emergencia para que entren en servicio, exclusivamente, en esos momentos. Infraestructuras que deben ser estables y mantenerse adecuadamente conservadas.

1.7.2.2. Indicadores de sequía

Para avanzar en la definición y caracterización de las sequías, el Ministerio de Medio Ambiente viene trabajando en el estudio y cálculo de un sistema de indicadores con los que se pretende evaluar el estado hidrológico de las diferentes cuencas españolas. Para cada cuenca se ha realizado una zonificación y se han habilitado una serie de puntos que registran evoluciones temporales de variables de interés: precipitaciones, caudales, reservas en embalses, niveles en acuíferos y almacenamiento de nieve.

Para la demarcación del Ebro se han diferenciado 10 zonas (Fig. 1.123) buscando homogeneidad y representatividad. En cada zona existe un conjunto de indicadores seleccionados para buscar la mejor caracterización posible, no en todas los mismos. Se utilizan 18

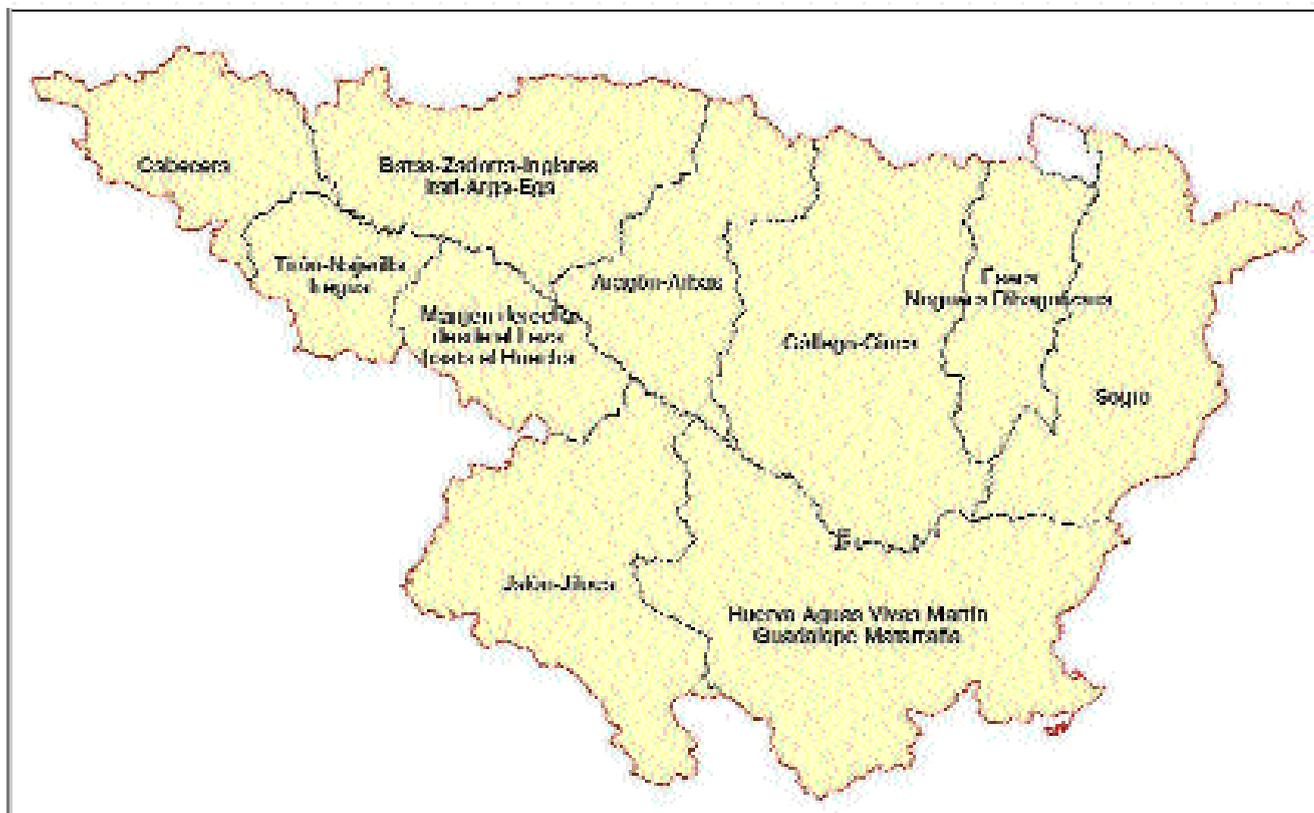


Fig. 1.123. Zonas consideradas en la cuenca del Ebro para el estudio de los indicadores de sequía.

pluviómetros, 24 estaciones de aforo de caudal en ríos y entradas a embalses, 8 volúmenes almacenados en embalses, 11 registros de nivel piezométrico y 5 estaciones que valoran la acumulación de nieve en la zona de los Pirineos.

El estado hidrológico del sistema se evalúa mediante la comparación de cada valor mensual o de varios meses, con su evolución temporal. La comparación se realiza con valores puntuales o con valores ponderados a partir de varios puntuales. Los resultados se plasman en forma de mapas con una gama de colores adecuada y son publicados en Internet por el Ministerio de Medio Ambiente.

1.7.2.3. Acciones en la demarcación del Ebro

En la cuenca del Ebro se han iniciado trabajos para avanzar en el conocimiento, la valoración y la mitigación de las sequías. Estos trabajos está previsto que se desarrollen durante los próximos dos años; sus objetivos y trabajos concretos a desarrollar son: 1) Caracterización de sequías, 2) Análisis de sequías históricas, 3) Estudio de indicadores, 4) Estudio de vulnerabilidad y medidas de actuación, 5) Redacción de un Plan de Actuación y 6) Recomendaciones para la redacción de planes de emergencia.

1.7.2.3.1. Caracterización de sequías

En esta tarea se realizará en primer lugar una caracterización general física y climatológica de la cuenca del Ebro, así como un análisis de los recursos y demandas, y una descripción de las principales infraestructuras hidráulicas existentes.

Seguidamente se realizará lo que es propiamente la caracterización de las sequías en la cuenca del Ebro, tanto meteorológica como hidrológica. Para la caracterización meteorológica se emplearán los datos de precipitaciones de las estaciones del Instituto Nacional de Meteorología disponibles en la Oficina de Planificación Hidrológica, y del Servicio Automático de Información Hidrológica de la cuenca del Ebro. Se identificarán los ciclos secos con el criterio definido en el Plan Hidrológico del Ebro (CHE, 1996): "se considera que comienza un periodo seco cuando en dos meses consecutivos de la serie, la precipitación registrada es inferior al 60% de la media de dicho mes y este periodo finaliza cuando la precipitación registrada en un mes sea igual o superior a la media de la serie utilizada, es decir, hasta que recupera un comportamiento que se considera normal"; y se contrastarán emple-

ando los índices de identificación más apropiados debidamente justificados (deciles, SPI, Palmer, RDI, SWSI...). Se tendrán en cuenta los resultados del estudio "Las precipitaciones en la cuenca del Ebro. Caracterización espacio-temporal y análisis de tendencias" realizado por la Oficina de Planificación Hidrológica con la Asistencia Técnica de la Universidad de Zaragoza en 2001 (<http://oph.chebro.es>).

Para la caracterización hidrológica se emplearán las aportaciones registradas en las estaciones de aforos y los datos de entradas, salidas y reservas almacenadas en embalses. Para la caracterización se podrá definir un índice similar al empleado en la caracterización meteorológica y se contrastarán los ciclos secos meteorológicos identificados previamente con los hidrológicos. También se analizarán los registros piezométricos y se tratará de hallar su correspondencia con los ciclos secos meteorológicos e hidrológicos. Además se tendrán en cuenta los datos de volúmenes acumulados en forma de nieve aportados por el programa ERHIN.

La caracterización de las sequías se llevará a cabo regionalmente, teniendo como base las 17 Juntas de Explotación de la cuenca y la zonificación considerada por el Ministerio de Medio Ambiente (Fig. 1.123), agrupándose las regiones homogéneas o separándose aquellas que manifiesten un diferente comportamiento.

1.7.2.3.2. Análisis de sequías históricas

En este apartado se desarrollará una recopilación de los impactos y las medidas de respuesta tomadas para sequías pasadas en la cuenca del Ebro a través de la información disponible en los archivos de la Confederación Hidrográfica del Ebro. El análisis de los efectos sobre el suministro de las demandas en sequías precedentes permitirá validar la identificación de ciclos secos y la definición de umbrales de sequía, mientras que el análisis de las medidas tomadas en el pasado será un elemento a tener en cuenta a la hora de definir las actuaciones en caso de sequía.

1.7.2.3.3. Indicadores de sequía

A partir de la caracterización desarrollada y a los indicadores definidos por la Oficina de Planificación Hidrológica en el marco de los trabajos de la Dirección General del Agua para la construcción de un Sistema de Indicadores Hidrológicos para toda España al que se ha hecho referencia anteriormente, se definirán las variables y los indicadores de sequía que resulten más

explicativos de la situación en la cuenca del Ebro. Las variables a tener en cuenta podrán ser:

- Precipitaciones.
- Caudales en estaciones de aforo y entradas a embalse.
- Reservas embalsadas.
- Datos piezométricos.
- Volumen acumulado en forma de nieve (programa ERHIN).

Para la definición de indicadores se habrá de tener en cuenta que, excepto los datos piezométricos y los volúmenes en forma de nieve, las variables deberán estar disponibles a través del Sistema Automático de Información Hidrológica. A partir de los indicadores se definirán unos valores umbrales y un Índice de Estado sencillo que califique el nivel de sequía. Los umbrales marcarán el paso de situación del índice de normalidad, a situaciones de prealerta, alerta y emergencia, según la sequía sea leve, severa o extrema. La elección de los valores umbrales debe hacerse pensando que han de servir posteriormente para escalonar la entrada en funcionamiento de las medidas; es por ello que para el establecimiento de umbrales debe calibrarse la evolución de los indicadores con los fallos en las garantías de suministro de las demandas.

Para la obtención del Índice de Estado se construirá una aplicación informática que se alimente de las variables seleccionadas y lo calcule de forma automática o semiautomática. El Índice de Estado deberá poderse calcular regionalmente y para toda la cuenca del Ebro. Para la definición de umbrales e Índice de Estado se tendrá en cuenta la experiencia de los trabajos desarrollados en la cuenca del Júcar y otros que pudieran existir.

1.7.2.3.4. Vulnerabilidad y medidas de actuación

En esta tarea se analizarán las vulnerabilidades de los diferentes sistemas de explotación para los diferentes usos, y se plantearán las diferentes medidas de actuación en caso de sequía, que serán graduadas y progresivas según el Índice de Estado del momento.

Las medidas se clasificarán en estratégicas, tácticas y de emergencia, entendiéndose por tales lo siguiente:

- Medidas estratégicas: actuaciones a largo plazo de carácter institucional e infraestructural, que forman parte de la planificación hidrológica.

- Medidas tácticas: actuaciones a corto plazo planificadas y validadas con anticipación en el marco del plan de sequía.

- Medidas de emergencia: adoptadas una vez bien avanzada la sequía, variando en función de la misma y su extensión o grado de afección a la cuenca.

Para la definición de las medidas se tendrán en cuenta las diferentes reglas y estrategias de explotación existentes y los acuerdos de las Comisiones de Desembalse, así como los resultados del estudio de sequías históricas.

1.7.2.3.5. Redacción del Plan Especial de Actuación

A partir de todo lo anterior se redactará un borrador de Plan Especial de Actuación en Situación de Alerta o Eventual Sequía, que sirva de propuesta para su discusión en el Consejo del Agua de la cuenca, para que de este modo sea incorporado en la planificación de la demarcación.

1.7.2.3.6. Recomendaciones para la Redacción de Planes de Emergencia.

Se redactarán recomendaciones para la elaboración de Planes de Emergencia por parte de los "sistemas de abastecimiento urbano que atiendan, singular o mancomunadamente, a una población igual o superior a 20.000 habitantes" (art^a 27.3 de la Ley del Plan Hidrológico Nacional). Estas recomendaciones deberán prever su conexión con el Plan Especial de Actuación, y tendrán en cuenta los manuales de gestión de sequía desarrollados por algunos entes suministradores, como el Canal de Isabel II para Madrid, EMASESA u otros.

1.8. Redes de control

1.8.1 Redes cuantitativas

1.8.1.1 Red meteorológica

El Instituto Nacional de Meteorología cuenta con la red de estaciones meteorológicas con mayor cobertura sobre la cuenca del Ebro y con las series más prolongadas. En el ámbito de la demarcación, su base de datos incluye 1.573 estaciones meteorológicas en la cuenca del Ebro, 613 de ellas vigentes en la actualidad.

Con esta red se dispone de datos desde 1900 hasta la actualidad. Los registros incluyen, de forma general, precipitación y temperatura, además de otras variables

en estaciones más completas (velocidad del viento, insolación y humedad relativa).

Por su parte, las CCAA de Navarra, La Rioja, Aragón y Cataluña disponen de redes meteorológicas propias en sus respectivos ámbitos, usualmente equipadas con sensores de lectura automática.

1.8.1.2 Red ERHIN

Esta red se enmarca en el Programa ERHIN (Evaluación de los Recursos Hídricos procedentes de la Innivación), que tiene por objeto la obtención de datos del manto nival con los que se realiza una evaluación de las reservas de agua en forma de nieve, pudiéndose llegar a obtener, mediante la posterior aplicación de modelos hidrológicos, el posible hidrograma de fusión para cada una de las cuencas que se estudian.

A tal efecto, se dispone de una red de pértigas sobre las que anualmente se vienen efectuando 2 o 3 campañas de mediciones de campo. Básicamente consisten en datar cada una de las pértigas con su correspondiente altura de nieve, así como la realización de ensayos de

densidad cuya finalidad es correlacionar la altura de nieve y su correspondiente altura de agua equivalente

En la Cordillera Pirenaica la red de pértigas instaladas en el ámbito de la demarcación del Ebro es de 107, 104 en la cuenca del Ebro y otras 3 en la cuenca del Garona.

En la Cordillera Cantábrica, el área correspondiente a la cuenca del Ebro contiene 5 pértigas.

Con todos los datos y análisis realizados para cada una de las mediciones de campo se genera un informe, que representa las disponibilidades hídricas en forma de nieve detalladas para cada una de las subcuencas.

1.8.1.3 Red Estaciones de Aforo

1.8.1.3.1 CHE

La CHE gestiona dos redes de cuantitativas de aguas superficiales: la Red Oficial de Estaciones de Aforo y la red SAIH.

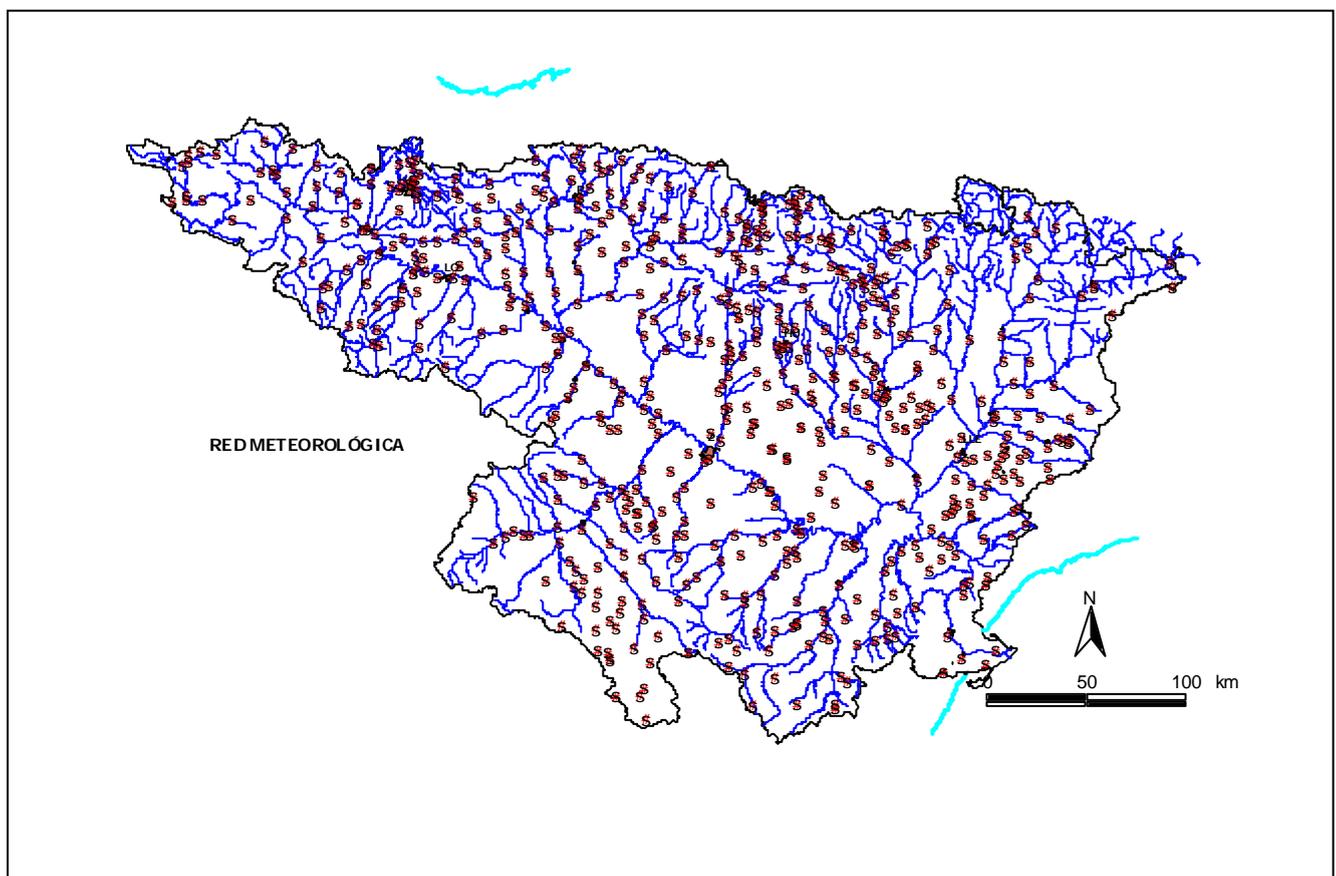


Figura 1.124. Estaciones meteorológicas en la demarcación del Ebro (fuente INM)

Red foronómica.

La Red Oficial de Estaciones de Aforo en servicio totaliza 346 puntos, correspondientes a instalaciones explotadas directamente y a otras propiedad de ciertos Organismos y empresas, fundamentalmente hidroeléctricas.



Figura 1.125. pértiga de la red ERHIN

Las instalaciones explotadas, mantenidas y conservadas directamente por el Servicio de Hidrología ascienden a 204, de las que 174 son estaciones de aforo en ríos; 25 estaciones de aforo en canales, y 5 estaciones de aforo en embalses.

SAIH

El Sistema Automático de Información Hidrológica de la Cuenca Hidrográfica del Ebro (SAIH-EBRO), responde a la necesidad de racionalizar y agilizar el proceso de toma de decisiones en tres aspectos fundamentales relacionados con la gestión hidráulica de la Cuenca:

- Gestión global de los recursos hidráulicos, a fin de optimizar su asignación y explotación
- Previsión y actuación en situaciones de avenidas, con objeto de minimizar los daños causados por las mismas.
- Vigilancia de los niveles de contaminación de las aguas de los ríos y canales (ver redes de calidad)

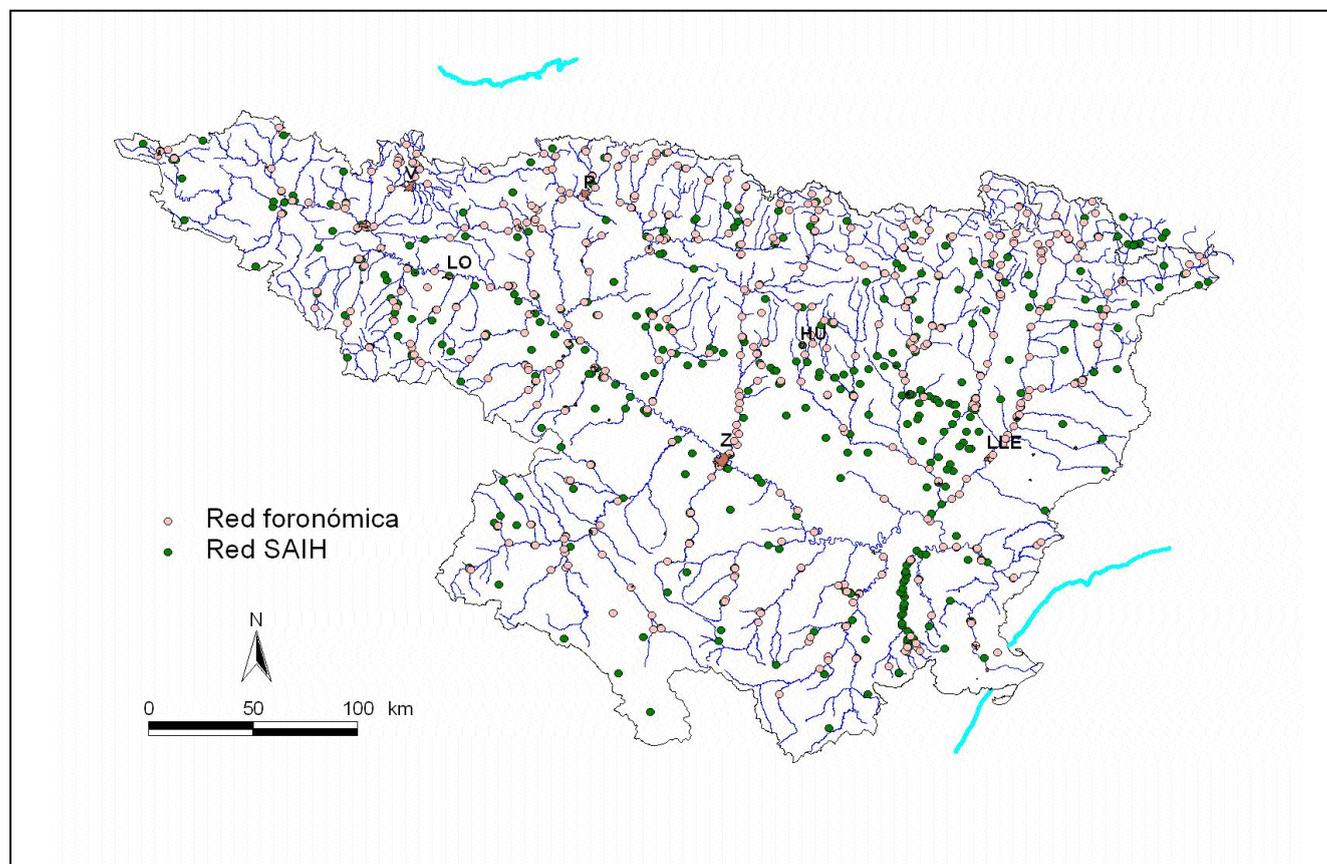


Figura 1.126: Distribución de las estaciones de medida integradas en el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) y de las estaciones de la red foronómica de la CHE

Para cumplir estos objetivos se ha dispuesto de una red de telemetría y telecontrol que transmite y procesa todas las variables captadas.

La red de telemetría incluye 354 estaciones de control. Las variables medidas incluyen: precipitación, calados en ríos y canales, medidas de operación en válvulas y compuertas, nivel de embalses, parámetros de calidad del agua.

1.8.1.3.2 Otras

El Gobierno de Navarra explota una red foronómica propia que incluye 15 estaciones de aforos en ríos de la cuenca del Ebro.

En el País Vasco, el EVE gestiona una red de aforos en manantiales significativos, formada por 6 estaciones dotadas con sistemas de telemetría (<http://www.entevascodelaenergia.com/redbas/>)

1.8.1.4 Redes de piezometría

1.8.1.4.1 CHE

En el año 1996 el MIMAM preparó el Proyecto de Instalación de Redes Oficiales de Control de Aguas Subterráneas para la cuenca del Ebro, que incluía la definición y proyecto de una nueva red piezométrica de carácter oficial y básico, que sería de nueva ejecución, titularidad pública, acondicionada específicamente y gestionada por el propio MIMAM y la Confederación Hidrográfica del Ebro. Esta red da continuidad a las redes históricas que con carácter general cubrían la mayor parte de la cuenca (IGME), así como otras más específicas diseñadas para fines concretos. Actualmente esta red está en fase de ejecución, de forma que nuevos piezómetros construidos van sustituyendo paulatinamente a los puntos históricos de control, mientras que otros amplían la red a zonas anteriormente no estudiadas.

A fecha de hoy, la Red oficial de Piezometría del MIMAM cuenta con 168 puntos de control, con una cadencia de medidas mensual.

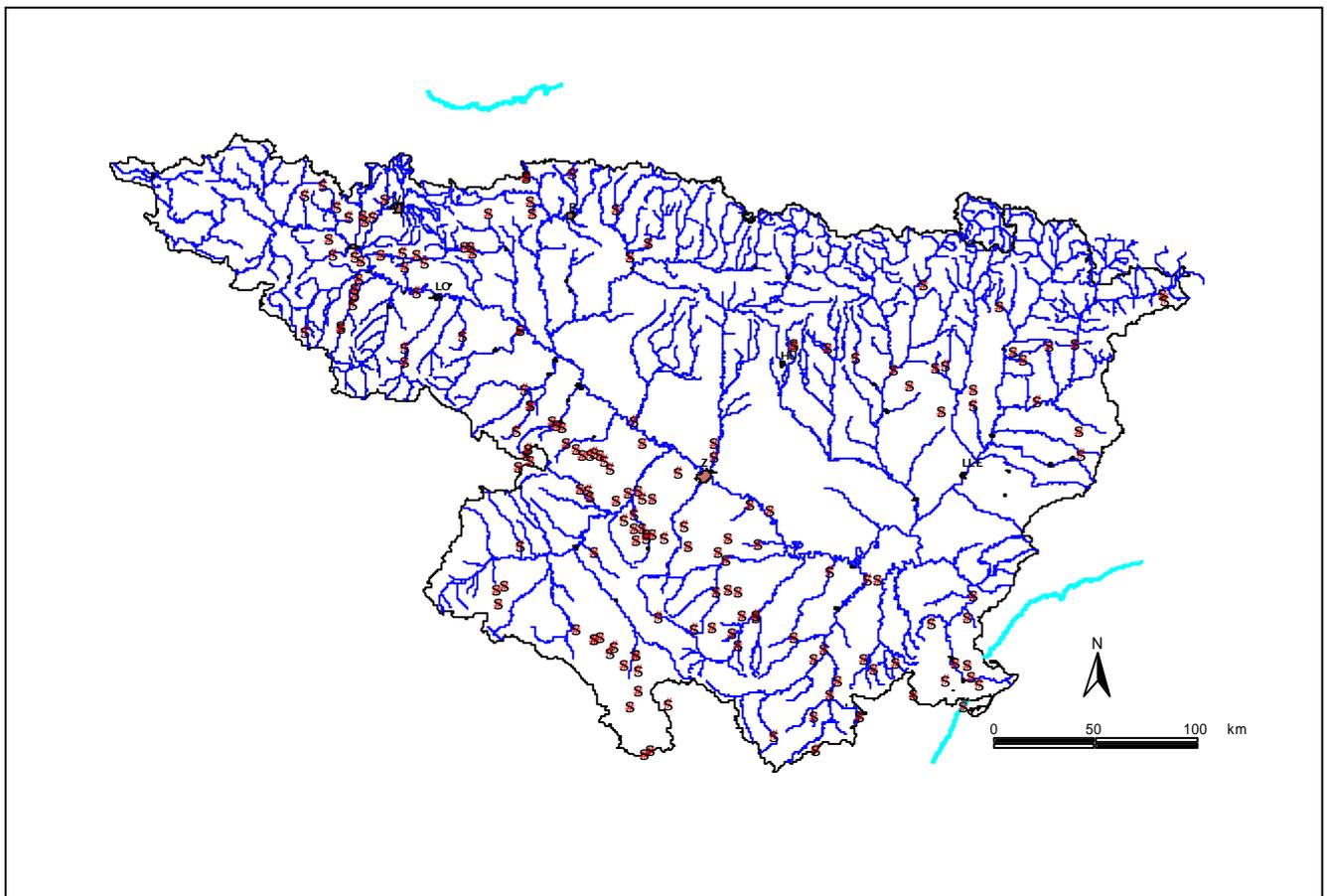


Figura 1.127: Red de piezometría del MIMAM.

1.8.1.4.2 Otras

El gobierno de Navarra realiza medidas piezométricas en 32 puntos en el ámbito de la cuenca del Ebro. Algunos puntos están instalados sensores automáticos de registro continuo; en el resto la cadencia de medida es mensual. Su red es vigente desde 1976.

La Agencia Catalana del Agua dispone de una red piezométrica propia con 50 piezómetros en el ámbito de la cuenca del Ebro, con una cadencia de medida mensual.

En el País Vasco, el EVE controla 9 piezómetros en el ámbito de la cuenca del Ebro, instalados con equipos de medición automatizados. Operativa desde 1998. La Diputación Foral de Álava explota una red piezométrica de 46 puntos, con cadencia mensual. Operativa desde 1992.

1.8.2 Redes cualitativas

1.8.2.1 Aguas superficiales CHE

Las redes de vigilancia y control de calidad de las aguas responden a un doble objetivo; por un lado cumplir

con la normativa vigente en materia de calidad de aguas, y por otro ofrecer una información que ayude a gestionar de forma óptima los recursos de la cuenca.

En la página Web de la Confederación se puede consultar el listado de estaciones de muestreo y visualizarlas en un mapa. Asimismo están disponibles los datos históricos y los datos actuales de cada estación de muestreo. Para el caso de las Redes de Control de Sustancias Peligrosas y Plaguicidas, existen sendos apartados específicos con la información correspondiente más detallada.

Durante los años 2005 y 2006 se trabajará en la redefinición y unificación de las redes para su adaptación a los requisitos de la DMA (que establece el control de vigilancia, el control operativo, el de investigación y el adicional en el caso de zonas protegidas). Actualmente en los informes ya se diferencia entre Red Básica y Red de Impacto que es una primera aproximación al control de vigilancia y al operativo respectivamente. La Red de Impacto de momento incluye la Red de Control de Sustancias Peligrosas, la Red de Plaguicidas y otros puntos de muestreo periódico seleccionados por su calidad deficiente.

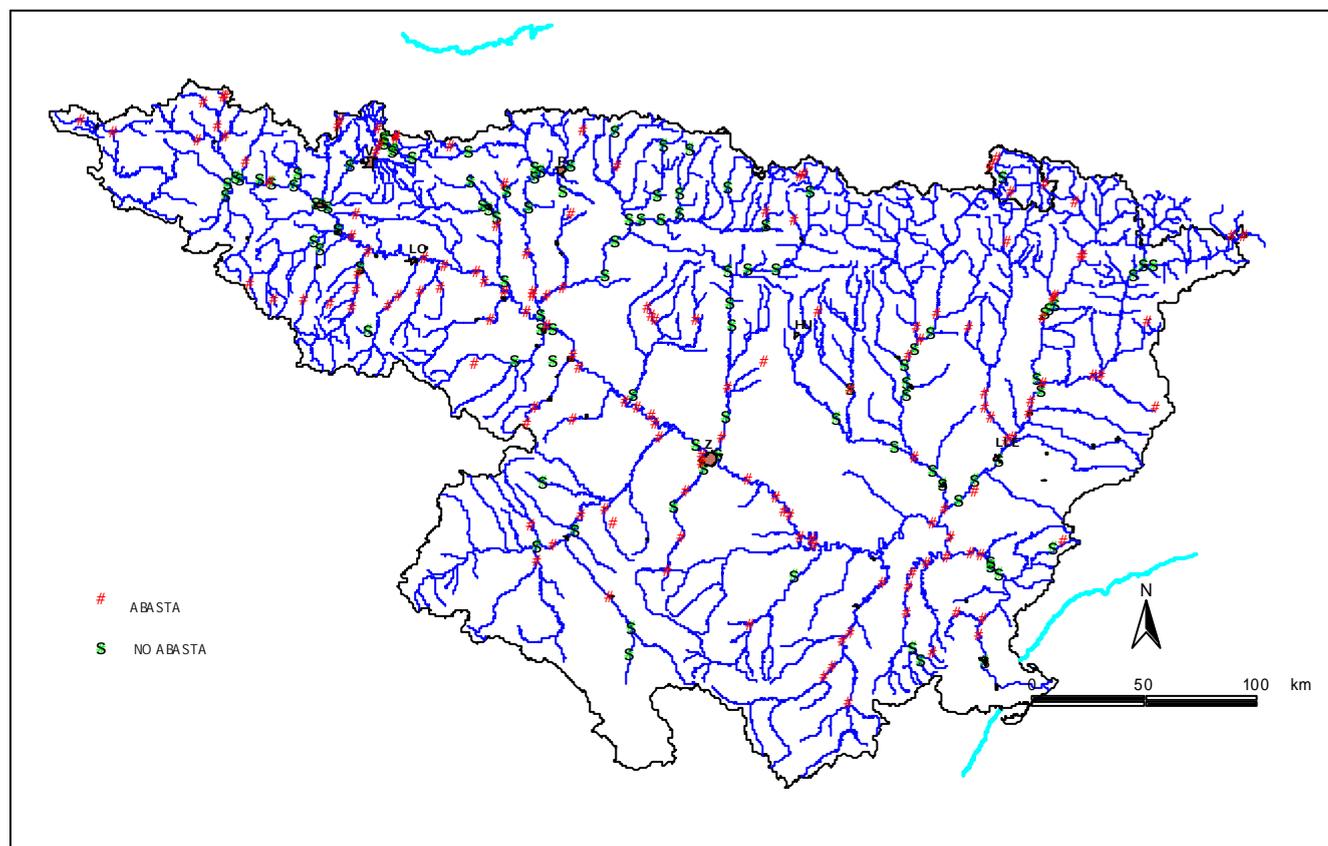


Fig. 1.128. Red ICA de aguas superficiales. Puntos de muestreo activos.

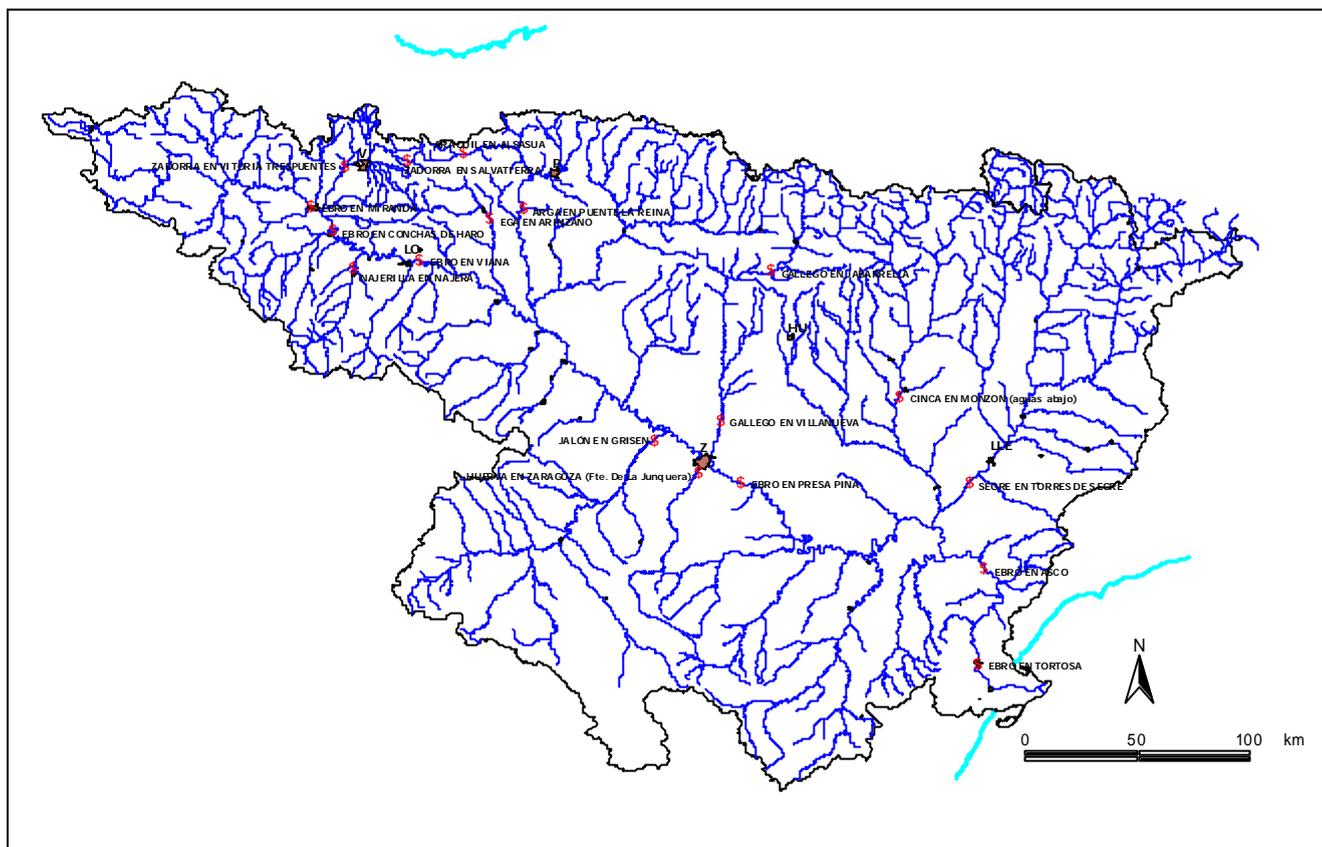


Fig. 1.129. Red de control de sustancias peligrosas.

1.8.2.1.1 Red ICA (Red Integrada de la Calidad de las Aguas)

La Confederación Hidrográfica del Ebro realiza un control sistemático de la calidad físico-química y microbiológica de las aguas epicontinentales del ámbito territorial.

Estos controles se plasman en la realización de muestreos periódicos sobre una red de puntos fijos -red ICA de aguas superficiales-, para los que se efectúan medidas in-situ y determinaciones analíticas en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la Confederación.

Desde 1993 se emiten informes mensuales, que recogen los resultados y reflejan las incidencias observadas. Se encuentran disponibles para su visualización o descarga los elaborados desde enero de 1999. Anualmente se condensa la información en otros informes que estudian la evolución de la calidad de los ríos.

La Red ICA engloba los siguientes controles:

- Red de Control de Aguas Prepotables
- Red de Control de Zonas Piscícolas

- Red de Control de Calidad General

De estas redes se elaboran los siguientes Informes:

- Mensuales desde el año 93 (desde el año 99 disponibles en la web)
- Anuales desde el año 98

- Red de Control de Zonas de Baño.
- Red de Control de Sustancias Peligrosas.
 - Red de Control de Sustancias Peligrosas de origen Puntual.
 - Control básico
 - Control suplementario
 - Red de Control de Plaguicidas de origen Difuso.

De cada una de estas redes se elabora un informe anual.

La Red de Control de Sustancias Peligrosas (RCSP) se ha diseñado para el control de la contaminación de origen puntual debida fundamentalmente a la industria.

La RCSP está implantada desde el año 1992. El objetivo de esta red es controlar la concentración de los

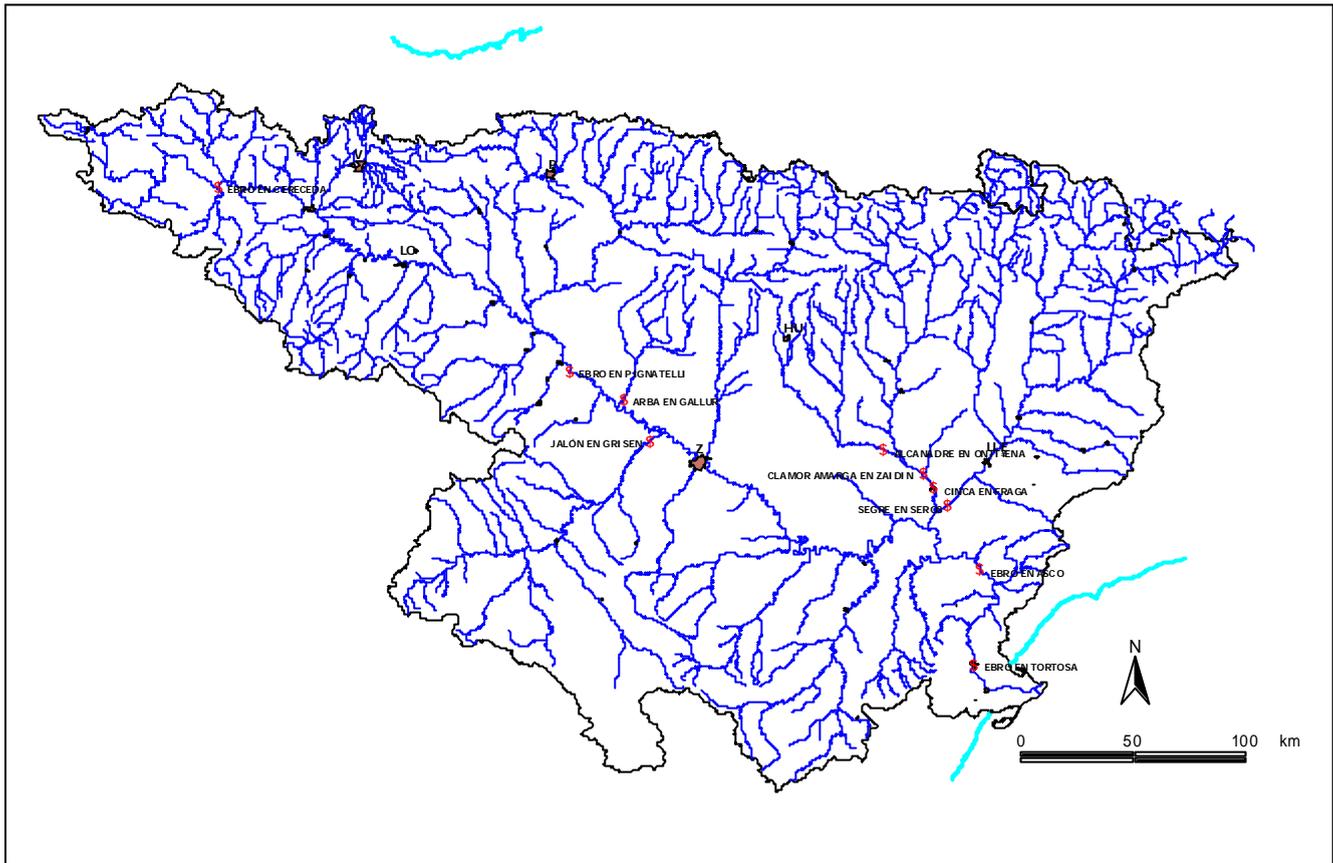


Fig. 1.130. Red de control de plaguicidas.

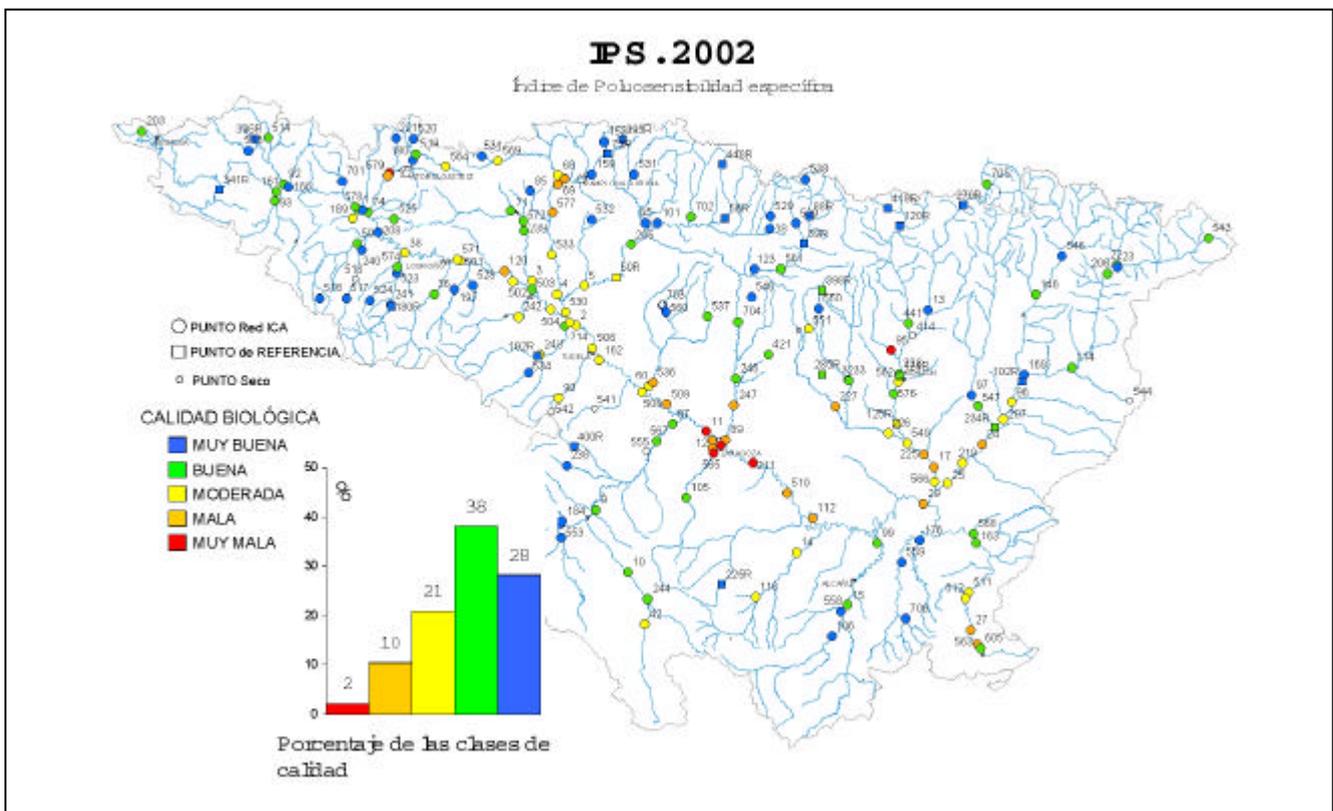


Fig. 1.131. Índice de Poliosensibilidad específica.

compuestos de Lista I (Dir. 76/464/CE) y de Lista II Preferentes (R.D. 995/2000) aguas abajo de los principales focos de emisión. El control exige la toma de muestras de aguas, de sedimentos y de biota, habitualmente peces. En agua se han fijado Normas de Calidad Ambiental (NCA's), y en sedimentos y en biota el objetivo es que las concentraciones en estas matrices no aumenten significativamente con el tiempo (principio básico de mejoría continua o standstill). Desde el año 2002 se trabaja en la inclusión en el control de compuestos pertenecientes a la Lista de Sustancias Prioritarias de la Directiva 60/2000/CE.

La Confederación Hidrográfica del Ebro ha definido la Red de Control de Plaguicidas para controlar la contaminación de origen difuso debida a la agricultura.

El objetivo de esta red es vigilar la contaminación causada por los plaguicidas de la Lista I (Dir. 76/464/CE), Lista II Preferentes (R.D. 995/2000) y Lista de Sustancias Prioritarias (Dir. 2000/60/CE), aguas abajo de zonas principalmente agrícolas, y en particular, comprobar el cumplimiento de las normas de calidad ambiental (NCA's) establecidos en la legislación vigente.

1.8.2.1.2 Redes de Control biológico

- Red de Diatomeas. Años 2002 y 2003
- Red de Control de Variables Ambientales.

Se trabaja en la puesta en marcha del análisis de los diferentes indicadores biológicos de la DMA, por lo que en los próximos meses se ampliará el número de indicadores estudiados, y se buscará una unificación de estas redes con las redes tradicionales físico-químicas. Se cuenta con el apoyo de grupos de expertos en cada indicador biológico.

Red de Diatomeas

Durante los veranos de 2002 y 2003, se ha llevado a cabo un estudio en toda la cuenca del Ebro cuyo objetivo ha sido evaluar la calidad de las aguas mediante la utilización de diatomeas bentónicas como indicadores del estado biológico del agua.

El estudio de la calidad del agua mediante diatomeas bentónicas se ha efectuado en 190 estaciones de muestreo (166 red ICA, 22 de referencia) distribuidas por toda la cuenca del Ebro. Los muestreos se realizaron durante los meses de agosto y septiembre de los años 2002 y 2003.

Los resultados obtenidos han sido muy concordantes con la calidad diagnosticada por los parámetros físico-químicos.

Este primer estudio de las diatomeas bentónicas de la cuenca del Ebro permite constatar que estos organismos son buenos indicadores de la calidad biológica de los ríos de la cuenca, y que los índices europeos exis-

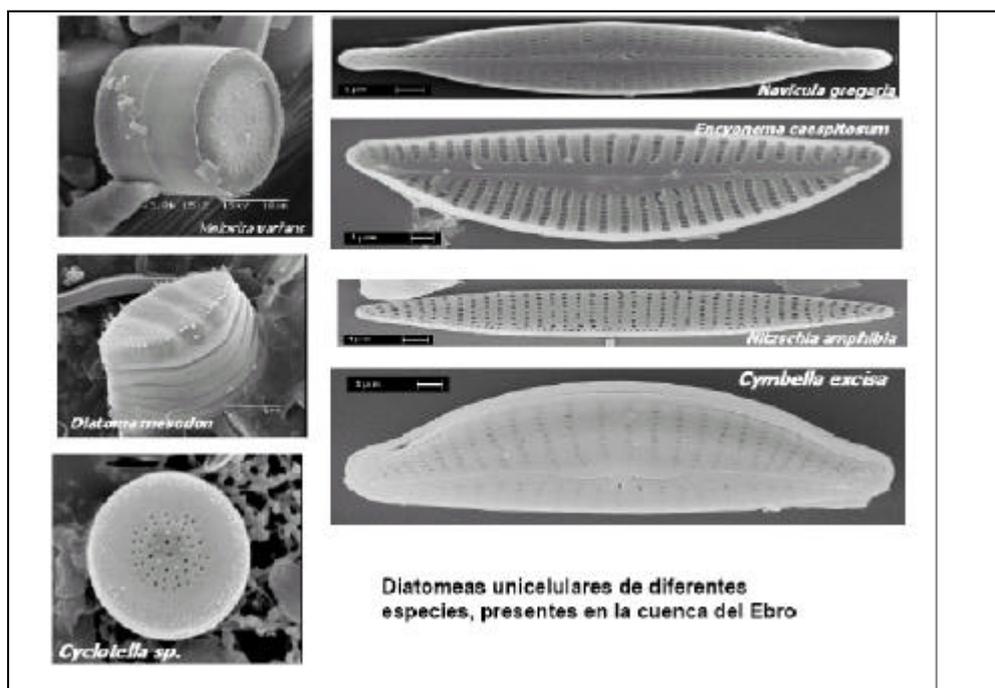


Fig. 1.132. Diatomeas unicelulares de diferentes especies, presentes en la cuenca del Ebro.

tentes de calidad biológica del agua mediante diatomeas son aplicables a toda la red hidrográfica del Ebro.

las biocenosis, comunidades animales y vegetales, y del biotopo.

1.8.2.1.6 Red de Variables Ambientales

Desde 1993 se viene realizando el estudio de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca, contándose con datos de más de 500 puntos. El índice que se utiliza es el IBMWP.

Consta de más de 500 estaciones en las que se viene acumulando datos de:

- fauna macroinvertebrada
- ictiofauna
- vegetación de ribera
- disponibilidad de hábitat

La Red de Control de Variables Ambientales (RCVA) se instauró en 1993 a partir de trabajos previos llevados a cabo por el Centro de Estudios Hidrográficos. Su objetivo es acumular información sobre la calidad de las aguas y del medio acuático a partir del estudio de

Los datos de fauna macroinvertebrada se han trabajado mediante el uso del bioindicador BMWP' (Alba y Sánchez, 1988) y sus versiones derivadas. Los datos de ictiofauna recogen información censal, referida a

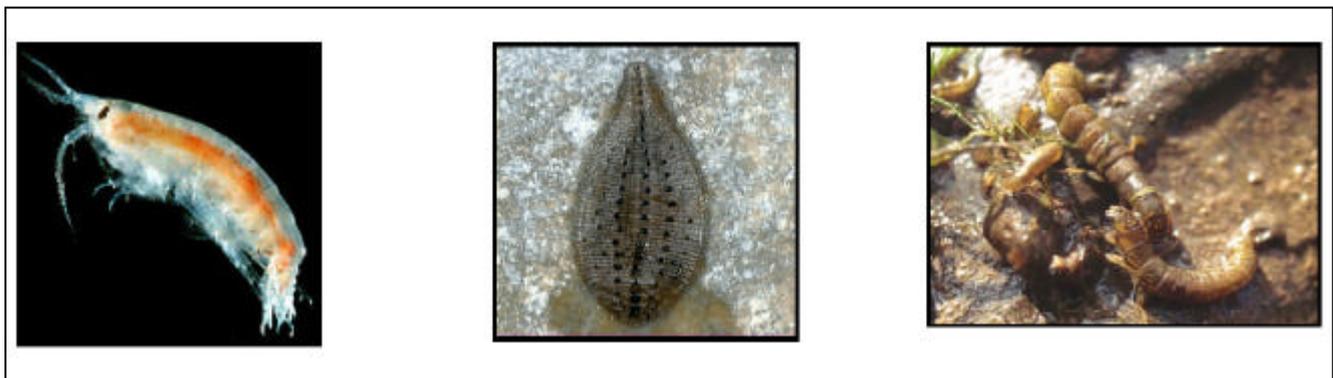


Fig. 1.133. Macroinvertebrados.

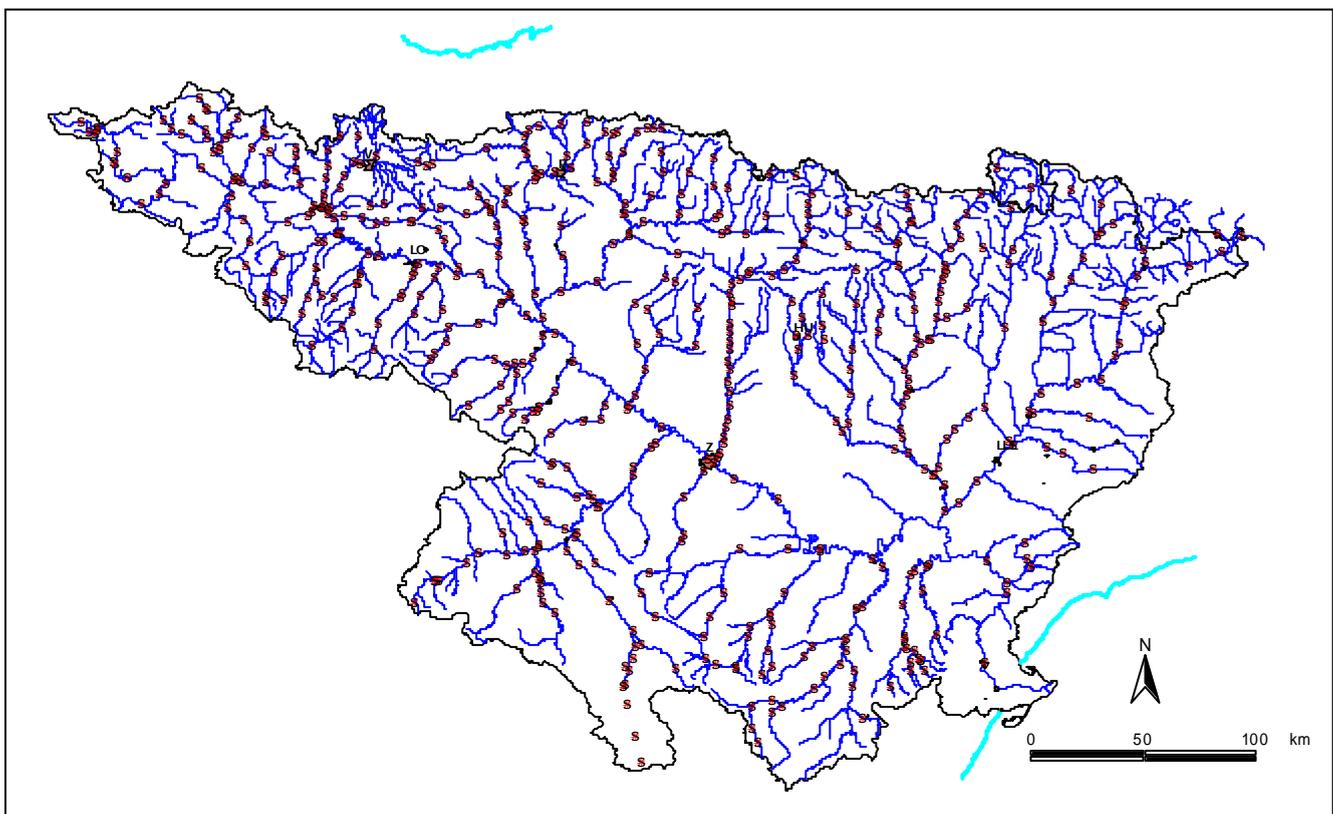


Fig. 1.134. Red de control de variables ambientales.

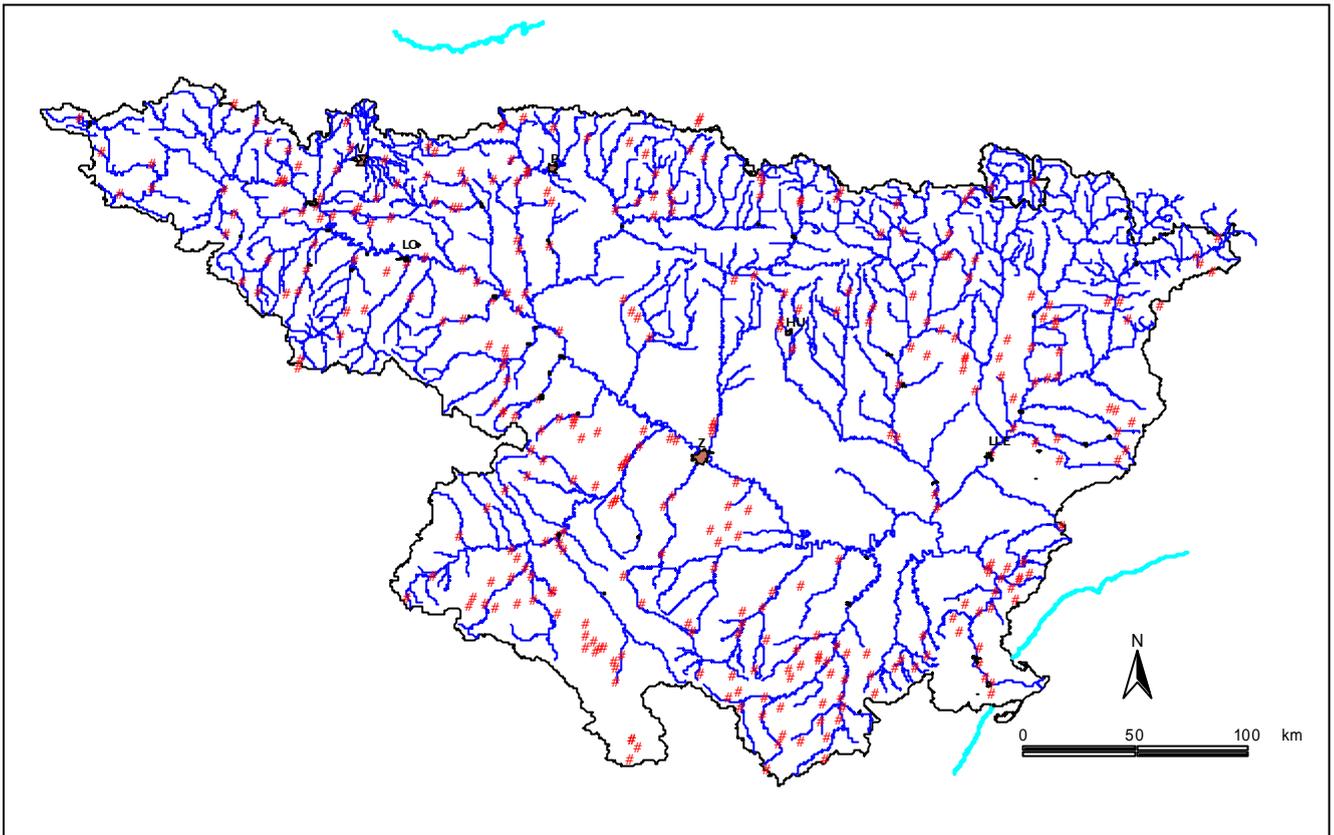


Figura 1.135. Red básica subterránea.

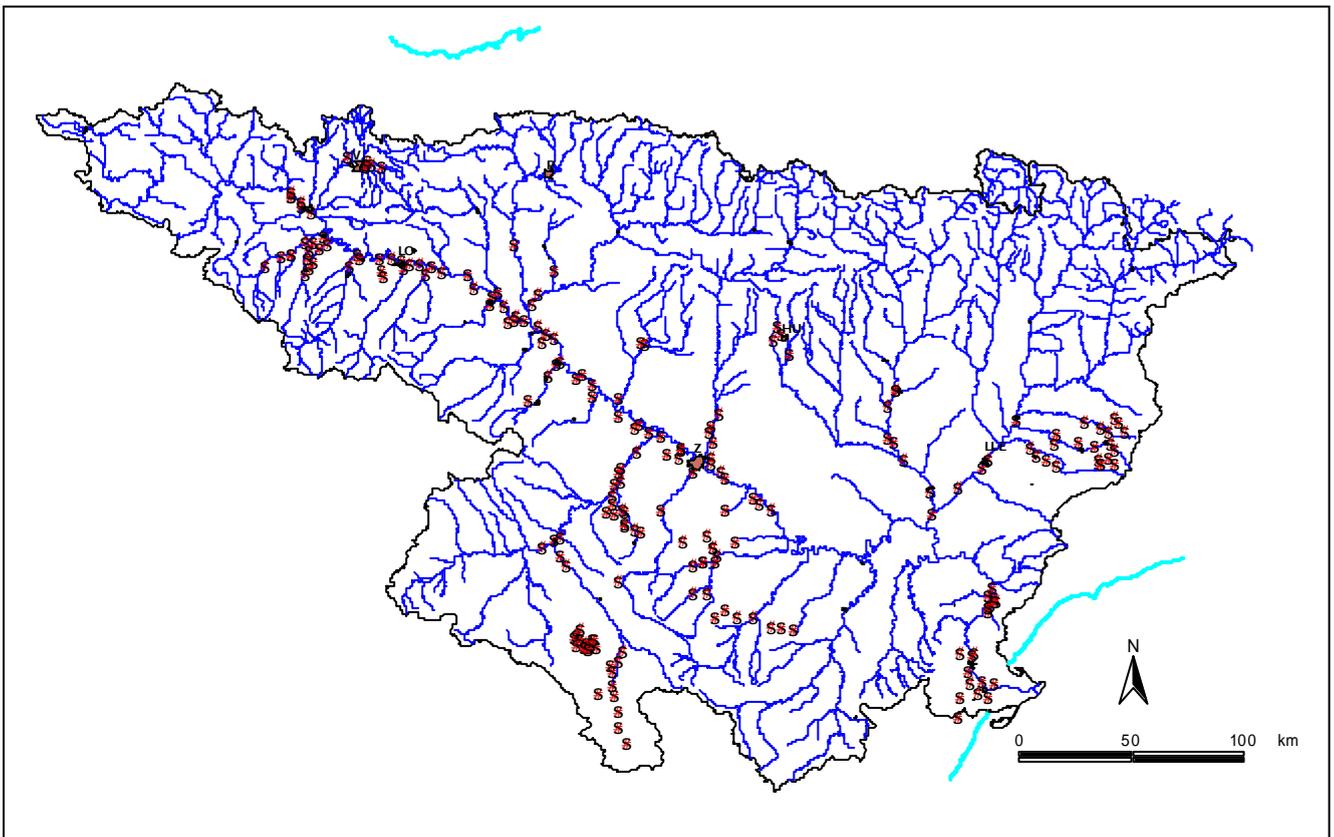


Figura 1.136.. Red de nitratos subterránea.

número de individuos y biomasa de las distintas especies de peces presentes en las aguas epicontinentales fluviales. La vegetación de ribera se ha evaluado gracias al bioindicador QBR (Munné et al, 1998). La disponibilidad de hábitat se ha valorado según distintos procedimientos que persiguen objetivos particulares.

1.8.2.1.3 Red de Alerta de la Calidad

Red de Control de Calidad integrada en el sistema SAIH. En algunos puntos especialmente sensibles a variaciones de calidad se han instalado estaciones automáticas de alerta de calidad (EAC), que miden en continuo varios parámetros físico-químicos indicadores de calidad en las aguas superficiales. Los datos se envían en tiempo real, bien vía satélite, bien vía telefónica, a un centro de control, en donde personal especializado realiza el análisis y seguimiento de la información recibida y determina las actuaciones procedentes.

Los criterios para los emplazamientos han sido:

- Abastecimientos y derivaciones importantes (protección)
- Agrupaciones de vertidos (control)

Los datos de esta red no están disponibles en la web, aunque se puede encontrar información general de la misma, estaciones, parámetros, etc, y los datos pueden ser solicitados directamente a la Confederación.

1.8.2.1.4 Red de Control de Embalses

Desde el año 1989 existen trabajos de seguimiento del estado de los embalses. Se está diseñando un nuevo control siguiendo las directrices de la DMA, y las bases para establecer el potencial ecológico de los mismos.

1.8.2.1.5 Red de Control de Humedales

De nuevo siguiendo las exigencias de la DMA, durante el año 2004 se han dado los primeros pasos encaminados al control de zonas húmedas.

1.8.2.1.6 Red de Estaciones de Referencia

Selección de estaciones en zonas de la Cuenca no sometidas, o sometidas mínimamente, a presiones antropogénicas, para obtener las condiciones de referencia, fundamentales para valorar posteriormente el estado de las masas de agua.

1.8.2.2 Otras redes de calidad de aguas superficiales

En 2003, Cataluña ha rediseñado las redes de control de la calidad de las aguas superficiales, según los criterios que la DMA expone en el Anexo V, apartado 1.3. Se dispone de:

- Una red para el control de la vigilancia (estaciones con frecuencia mensual de muestreo): 17 estaciones en la cuenca del Ebro.
- Una red de control operativo (estaciones con frecuencia trimestral de muestreo): 10 estaciones en la cuenca del Ebro.
- Una pequeña red de control de pequeños abastecimientos (estaciones con frecuencia trimestral de muestreo): 3 estaciones en la cuenca del Ebro.

En la red de control de vigilancia, se integra el control de sustancias tóxicas y peligrosas en sedimentos (6 estaciones en la cuenca del Ebro) y peces (13 estaciones en la cuenca del Ebro), que se realiza en los términos especificados por la Directiva 76/464.

En el ámbito de la cuenca del Ebro dentro del territorio de Cataluña no existen redes de seguimiento de indicadores biológicos a cargo de la ACA. En los años 2002 - 2003 se realizaron dos estudios, uno de diatomeas y otro de peces en diferentes puntos pero que no han tenido una continuidad temporal.

El País Vasco (a través de la Viceconsejería de Medio Ambiente del Gobierno Vasco) dispone de una Red de Vigilancia de Calidad de las Aguas y del Estado Ambiental de los Ríos operativa desde 1993. Esta red se ha integrado, en 2002, en la Red de vigilancia de la calidad de las masas de agua superficial de la C.A.P.V. que recoge las directrices de la DMA. En la cuenca del Ebro existen 28 estaciones de control. También dispone de otras redes de control, dirigidas a :

- Humedales interiores
- Sustancias prioritarias en ríos
- Zonas Vulnerables por los nitratos procedentes de la actividad agraria.

En el ámbito de la C.A.P.V. existen otras redes de control que no dependen de la Viceconsejería de Medio Ambiente:

- Diputación Foral de Álava: Información Hidrológica (22 estaciones de aforo y 64 puntos de muestreo mensual fisicoquímico).

- Departamento de Sanidad: Calidad de aguas de baño.

El Gobierno de Navarra dispone de una red de seguimiento de la calidad fisicoquímica del agua que incluye 99 estaciones en la cuenca del Ebro, con datos recopilados desde 1971. También dispone de una red de seguimiento de la calidad biológica (índices bióticos) con 72 estaciones en la cuenca del Ebro

1.8.2.3 Aguas subterráneas CHE

La Confederación Hidrográfica del Ebro mantiene en la actualidad dos redes principales para el seguimiento de la calidad natural y la prevención de la contaminación de las aguas subterráneas: red básica y red de nitratos.

1.8.2.3.1. Red Básica RBAS (Hidroquímica Natural)

Objetivo: conocer quimismo natural en acuíferos en afección antrópica.

Puntos: 335 puntos en toda la cuenca.

Parámetros: componentes mayoritarios

Frecuencia: mínimo 1 vez cada 6 años

Resultados: consultables en internet (www.chebro.es)

1.8.2.3.2. Red de Nitratos RNIT (Nitratos de Origen Agrario)

Objetivo: conocer afección por nitratos en acuíferos en zonas agrarias.

Puntos: 200 puntos en toda la cuenca.

Parámetros: nitratos y componentes mayoritarios

Frecuencia: mínimo 1 vez al año.

Resultados: consultables en internet (www.chebro.es)

Definición de Zonas Afectadas o en Riesgo.

Se hace cada 4 años teniendo en cuenta los resultados de la red de control.

La última definición se realizó en 2003.

Previsión futuro 2005-2006

Adaptar la red RNIT a la nueva definición de masas de aguas subterráneas.

Ampliar a todas las zonas de regadío.

Realizar nueva definición de zonas afectadas.

Complementariamente se estudian las contaminaciones puntuales de origen industrial/urbano:

a. Red de Contaminaciones RCON.

Objetivo: seguimiento de casos de contaminación puntual conocidos.

Parámetros: específicos de cada caso (hidrocarburos, organoclorados, etc.)

Frecuencia: variable, mínimo 1 vez al año.

b. Expedientes de descontaminación o remediación.

Se exige a los responsables de cada contaminación que se lleven a cabo los trabajos necesarios para la remediación del acuífero afectado.

1.8.2.4 . Otras redes de calidad de aguas subterráneas.

El Gobierno de Navarra cuenta con una red de control de aguas subterráneas formada por 81 estaciones de muestreo en el ámbito de la cuenca del Ebro. Cadencia mensual en ocho de ellos. El resto se mide con cadencia semestral. La red data de 1970, y se determinan: Temperatura, pH, O₂ disuelto, conductividad, S. Sus., dureza, materia orgánica, PO₄, Cl, SO₄, CO₃, CO₃H, Ca, Mg, Na, K, NH₄, NO₃, NO₂.

El EVE realiza controles de calidad química de aguas subterráneas en 14 puntos de la cuenca del Ebro. Cadencia mensual. Se analiza ph, C.E. Oxidabilidad, Residuo seco, Cl, SO₄, CO₃, CO₃H, Ca, Mg, Na, K, NH₄, NO₃, NO₂, P₂O₃ (datos disponibles en <http://www.entevascodelaenergia.com/redbas/LCalidad.html>)

La Agencia Catalana del Agua cuenta con una base red de control de calidad de aguas subterráneas que consta de cuatro redes: general, nitratos, plaguicidas y salinidad. En conjunto, con todas ellas y en el ámbito de la cuenca del Ebro, dispone de 446 puntos con información hidroquímica. Estos datos son objeto de resúmenes y análisis estadísticos disponibles en la red (http://mediambient.gencat.net/aca/ca//medi/aigues_subterranies/).

El Gobierno de La Rioja dispone de una red específica de control de nitratos en 73 puntos de control, vigente desde el 2003.

1.8.2.5. Redes sobre las aguas costeras (ACA)

El Departamento de Medio Ambiente de la Generalidad de Cataluña mantiene en el entorno del delta del Ebro diversos puntos de muestreo de aguas en el mar Mediterráneo como parte de su red de control

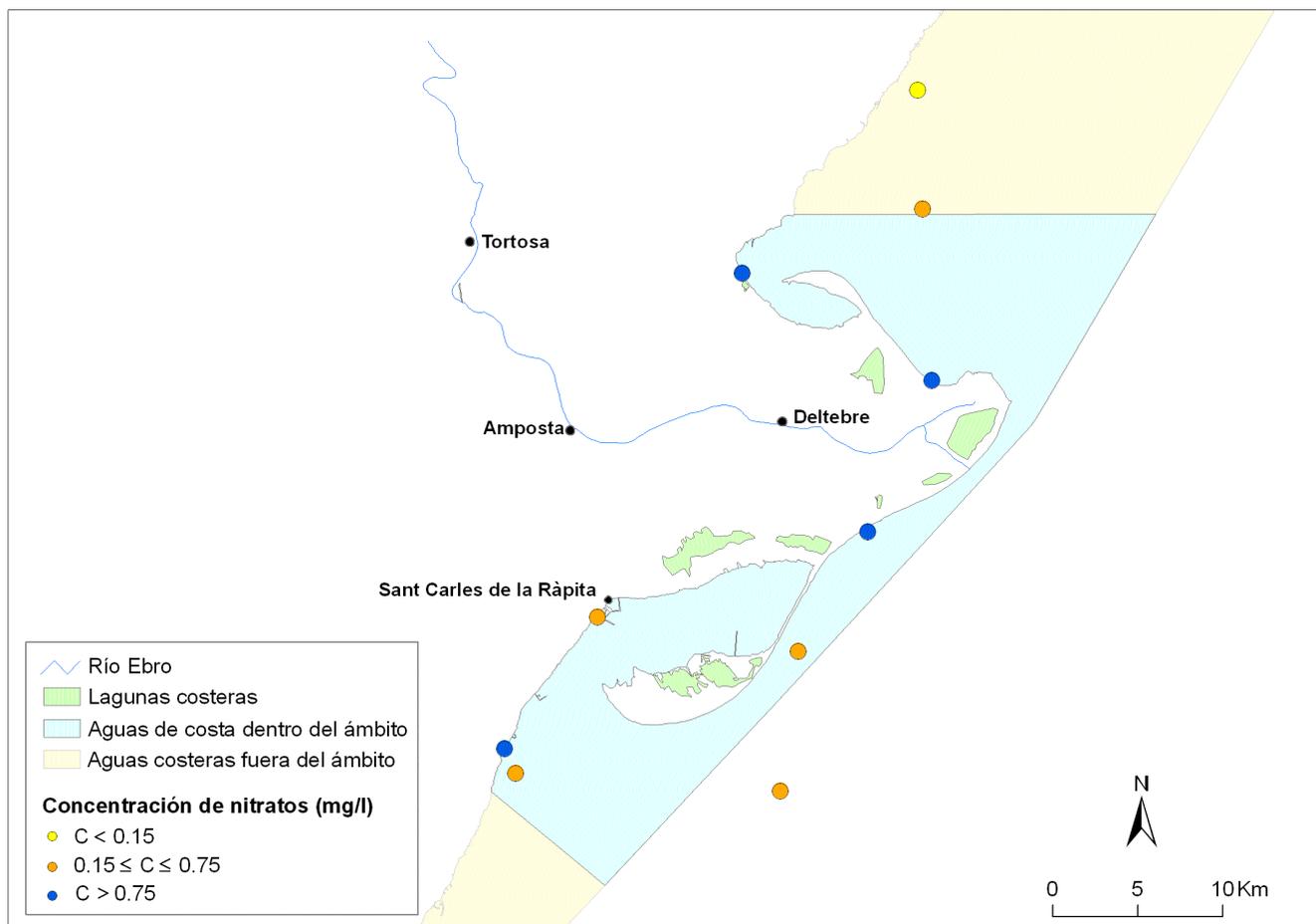


Fig. 1.130. Red de seguimiento sobre las aguas costeras de la demarcación del Ebro operada por la Agencia Catalana del Agua.

de aguas litorales. Esta red cuenta, en esta zona, con 8 puntos de registro, operativos desde 1994 hasta la actualidad. Valora parámetros físicos y químicos: salinidad, temperatura, clorofila, nitrato, fosfato y otros.