

# El nuevo sistema de abastecimiento de Cantabria: El bitrasvase Ebro-Besaya-Pas y la Autovía del Agua

The new supply system to Cantabria:

The Ebro-Besaya-Pas twin transfer and the water highway

**Francisco L. Martín Gallego.** Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
*Director General de Obras Hidráulicas y Ciclo Integral del Agua*  
*Consejería de Medio Ambiente. Gobierno de Cantabria. martin\_fl@gobcantabria.es*

**José Fernández Ruiz.** Ldo. en Ciencias Químicas  
*Jefe de Servicio de Planificación Hidráulica. Consejería de Medio Ambiente. Gobierno de Cantabria.*  
*fernandez\_j@medioambientecantabria.com*

**Eduardo García Alonso.** Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
*Asistencia técnica. Consejería de Medio Ambiente. Gobierno de Cantabria. edelwar@gmail.com*

**Resumen:** En este artículo se describen las soluciones de abastecimiento adoptadas en Cantabria, una región situada en la España húmeda, tratando de conjugar las demandas de crecimiento económico y bienestar social con la conservación y recuperación de los ecosistemas acuáticos, de acuerdo con la Directiva Marco del Agua europea. Para ello se plantea una infraestructura que transporta agua a un gran embalse, situado en la cuenca del Ebro, durante el invierno, para luego retornarla en la época estival, así como el aprovechamiento global de los principales recursos fluyentes. Todo el sistema, incluyendo las principales fuentes de aportación y de puntos de demanda, queda conectado mediante una red primaria de abastecimiento denominada popularmente Autovía del Agua. El aprovechamiento integral del sistema debe estar ligado a la implantación progresiva de un régimen de caudales ecológicos en los ríos de la región.

**Palabras Clave:** Abastecimiento, Trasvase, Bitrasvase, Caudal ecológico, Caudal de mantenimiento, Sistemas de abastecimiento, Embalses laterales

**Abstract:** The main problems regarding water resources management and ecosystem conservation in Cantabria, a small mountainous region in the humid zone of Spain, are presented, together with the selected solution, which tries to integrate river habitat conservation with water consumption needs. The selected alternative consists of a combination of two measures: pumping water from the coastal basins to a large reservoir during the winter, and back in the dry season; and taking profit of daily available flowing resources, bearing in mind maintenance discharges. A main distribution branch, colloquially named Water Highway of Cantabria, connects the available sources with the demand nodes. It is extremely important to apply a maintenance discharge regime in the different river reaches, in order to optimize the outcome of the whole system.

**Keywords:** Water supply, Out-of-basin diversion, Ecological discharge, Maintenance discharge, Water supply systems, Lateral reservoir

## 1. Introducción y situación de partida

Cantabria es una región de aproximadamente 5300 km<sup>2</sup> y una población fija de unos 530.000 habitantes, que pueden llegar a duplicarse durante la época estival debido al turismo y a las segundas residencias. La mayor parte de su territorio es de naturaleza abrupta, debido a la presencia de la Cordillera Cantábrica, una formación joven de origen alpino que se alinea de este a oeste, en sentido paralelo a la costa y poca distancia de ella, configurando

un conjunto de cuencas hidrográficas de pequeña extensión surcadas por ríos rápidos y torrenciales (figura 1). Un 20 % del territorio de la región, en concreto la zona más meridional, da origen al río Ebro, el más caudaloso de España y que desemboca, tras atravesar buena parte del nordeste del país, en el mar Mediterráneo; en la cuenca del Ebro en Cantabria, y dada la importancia estratégica de este río, se construyó, en la década de 1940 a 1950, un gran embalse de cabecera de 540 Hm<sup>3</sup> de capacidad, denominado embalse del Ebro. Esta obra hidráulica tendrá un papel

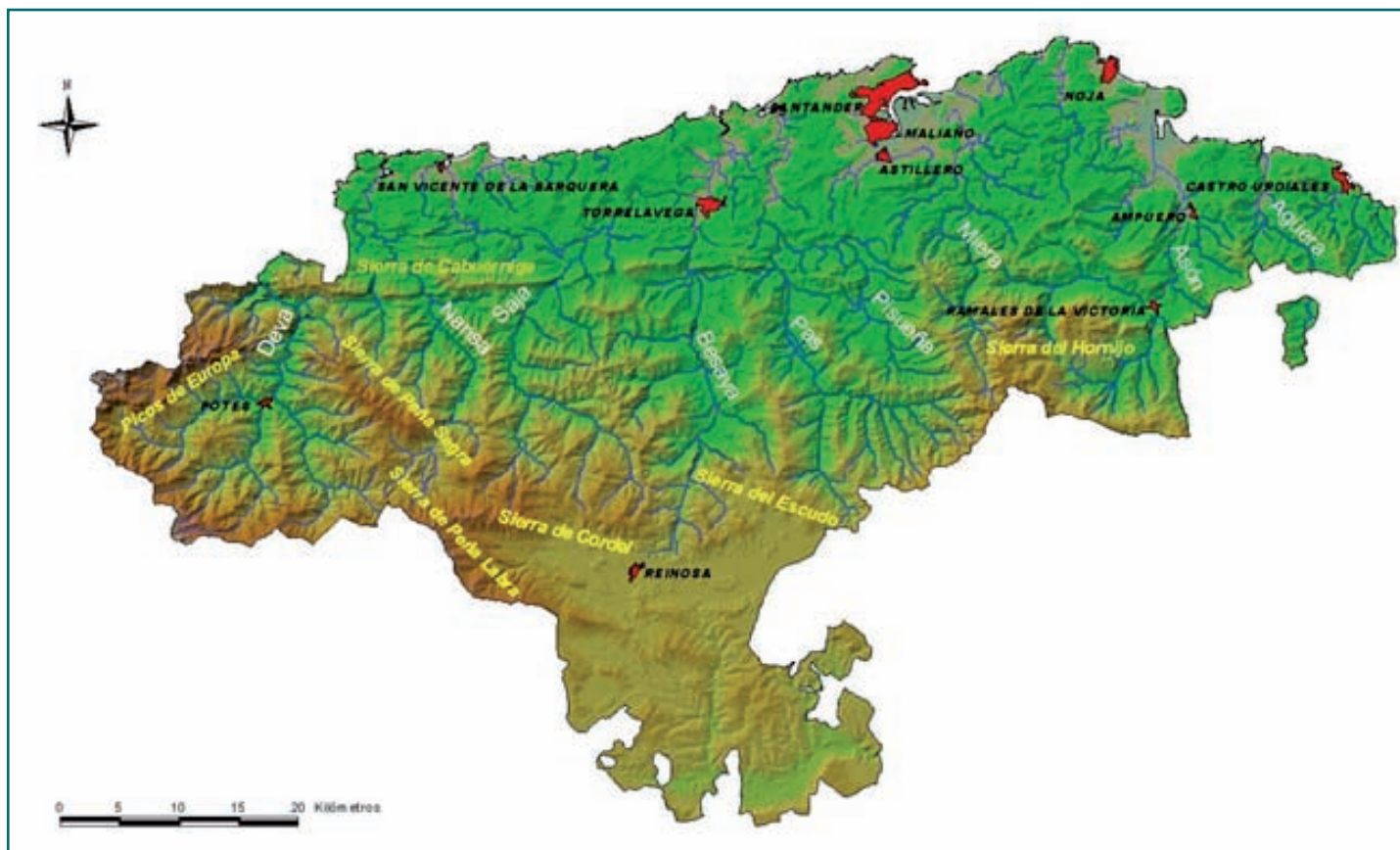


Fig. 1. Mapa físico de Cantabria (España).

clave, como se describirá más adelante, en el futuro sistema de abastecimiento de la región.

La pluviometría media anual de Cantabria es de 1300 mm, aunque muy desigualmente repartidos a lo largo del año, siendo la época más seca el verano (meses de junio a septiembre). El hecho de que se trate de un territorio relativamente poco poblado, aislado en cierta medida hasta hace poco tiempo y con abundancia de agua durante buena parte del año ha forjado paulatinamente la percepción social de que en Cantabria no hay problemas de agua; buena muestra de este hecho es que durante el periodo desarrollista español, entre 1940 y 1980, no se construyeron apenas embalses en la vertiente norte de Cantabria, salvo para usos industriales o hidroeléctricos, ya que bastaba el agua que bajaba por el río más cercano. Sin embargo, durante las últimas décadas, el aumento de la población, sobre todo la estacional, junto con la intensificación de los consumos industriales, han conducido a una situación insostenible, no sólo por la baja garantía de abastecimiento urbano, sino también por la presión a que se ven sometidos los ecosistemas acuáticos durante los meses estivales.

Cantabria, como el resto de las regiones de la Unión Europea, tiene la obligación de cumplir con los objetivos con-

tenidos en la Directiva Marco del Agua (Comisión Europea, 2000), ya transpuesta a la legislación española en diciembre de 2003. El objetivo principal de esta pieza legal innovadora, ambiciosa y compleja, es la consecución del buen estado de todas las masas de agua del territorio europeo antes de 2015; se entiende por masa de agua un tramo o sector de río, acuífero, estuario o costa, definido siguiendo determinados criterios ecológicos y de gestión. Asimismo, y como pilares complementarios, el texto de la Directiva Marco del Agua (en adelante DMA) establece para la consecución de este objetivo principal dos condiciones: la participación pública en los procesos de decisión y la recuperación de todos los costes, incluidos los ambientales y los del recurso, asociados a los usos y servicios del agua. Por lo tanto, se trata de una directiva que, en cuanto ámbito de influencia, abarca todo el ciclo del agua, incluyendo las aguas marinas y las subterráneas, y en cuanto a método o enfoque de resolución de problemas, apela tanto a criterios técnicos como sociológicos y económicos.

La meta de técnicos, gestores y políticos de la Comunidad de Cantabria, en colaboración con los del Gobierno Central español y con la propia Comisión Europea, es tratar de conjugar las exigencias de la DMA con el problema satisfacer la demanda urbana e industrial de la región, permiti-

tiendo y promoviendo un crecimiento racional y sostenible. Como se verá, se trata de un conjunto de actuaciones que requieren importantes cifras de inversión y que resultan, hasta cierto punto, poco convencionales, si bien se harán cada vez más habituales, sobre todo en los países desarrollados. Dicho proceso no se encuentra aún finalizado, por lo que sin duda habrá que seguir evaluando y controlando la eficiencia de todas las medidas que están en fase de ejecución. Antes de describir las infraestructuras que se están ejecutando y su modo de funcionamiento, se hará un breve resumen de los estudios básicos que han permitido diagnosticar la situación inicial de forma cuantitativa y llevar a cabo el análisis de las alternativas disponibles.

## 2. Estudios básicos y análisis de alternativas

Es de entender que, en una región donde la disponibilidad de recursos hídricos nunca se había considerado un problema, y donde no se habían llevado a cabo obras de regulación reseñables (al menos en la vertiente norte), existiera también una carencia de conocimientos cuantitativos y fidedignos del ciclo del agua. Asimismo, y esto ya no es un problema específico de Cantabria sino de toda España y del resto del mundo, el conocimiento de la función y estructura de los diferentes ecosistemas acuáticos, por otra parte muy variados, es por lo general escaso al inicio del siglo XXI.

Tales circunstancias motivaron que el gobierno regional contratara un conjunto de estudios a la Universidad de Cantabria en el año 2003, destinados a caracterizar el ciclo del agua y sus ecosistemas asociados; en este trabajo, se actuó de forma coordinada con el Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno Central, que también es autoridad competente en la materia, y en especial con la Confederación Hidrográfica del Norte y con la Dirección Gral. de Costas. Entre los estudios realizados destacan, para los objetivos de este artículo, cuatro, que se describen brevemente en orden lógico de redacción, y que resultan interdependientes:

- Estudio de cuantificación de los recursos hídricos
- Estudio de caudales ecológicos
- Plan integral de ahorro de agua de Cantabria
- Documentación técnica para la redacción del Plan Director de Abastecimiento en Alta de Cantabria 2006-2010

### 2.1. Estudio de cuantificación de los recursos hídricos

Para poder evaluar la cantidad disponible de agua en las diferentes cuencas de Cantabria, se deben estimar, por un lado, los regímenes naturales de descarga y, por otro, el

mínimo flujo que debe ser garantizado para no causar daños irreversibles a los ecosistemas fluviales. Desafortunadamente, como usualmente ocurre en cuencas pequeñas, el número de estaciones de aforo de caudal disponibles es muy bajo (ocho estaciones en todo el ámbito de estudio), y en algunos casos con escasa fiabilidad. La red de pluviómetros en la región, generalmente con datos diarios, era muy densa en comparación con la de caudales, aunque todavía insuficiente en algunas zonas: un total de 140 registros pluviométricos, en muchos casos con huecos, fue analizado para llegar a obtener un conjunto de 43 series completas fidedignas de datos con precipitaciones diarias entre los años 1971 y 2003 (33 años).

El Gobierno Regional proporcionó un modelo digital del terreno a escala 1:5000, conjuntamente con los mapas litológicos, edafológicos y de vegetación oficiales. Esta información fue usada, con la precipitación y los datos de aforos, para calibrar un modelo hidrológico agregado, en concreto el *Soil Moisture Account* (SMA) (Bennett, 1998) integrado en el conocido paquete HEC-HMS del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos (USACE, 2003), que se explotó con incremento de tiempo diario; el número de ríos seleccionados para la simulación fue de doce, incluyendo todos los principales y algunos menores que soportan presiones importantes. Los primeros veinte años de datos sirvieron para propósitos de calibración, mientras el resto sirvió de validación del conjunto de parámetros que definen las características de cada subcuenca. Se construyó un modelo diferente para cada cuenca, con un total de 102 subcuencas consideradas.

Dado que el objetivo principal de este estudio era generar las series temporales sintéticas de caudales en régimen medio, y no los episodios de avenida, se prestó especial atención al ajuste de las curvas de recesión de los hidrogramas en los períodos de verano. Los criterios de optimización que sirvieron para la calibración modelo fueron, por un lado, las descargas por debajo de un cierto umbral (régimen de aguas bajas), y por otro lado el ajuste del valor medio del coeficiente de escurrimiento. Puesto que los aforos disponibles reflejan obviamente condiciones de caudal modificadas debido a las actividades aguas arriba, se llevó a cabo la tarea de restitución, basada en una investigación de los usos principales de agua en cada cuenca: el suministro urbano, la industria y los embalses. Se pueden destacar los siguientes resultados generales del estudio del comportamiento hidrológico en régimen medio de las cuencas de Cantabria:

- El coeficiente anual término medio de escurrimiento es de 0,6, con variaciones medias entre 0,5 y 0,7.
- Los caudales medios de verano son un 10% de los de invierno.

- Un verano seco (con periodo de retorno 25 años) aporta una décima parte del agua de un verano medio. Por lo tanto, las sequías son muy acusadas.

## 2.2. Estudio de caudales ecológicos

Una vez que han sido caracterizados los regímenes naturales de caudales en los ríos principales, se han estimado los caudales de mantenimiento en 63 estaciones (un promedio de 5 para cada río). Dos métodos han servido para este objetivo: uno basado en criterios hidrológicos, adaptado del método de Palau (CEDEX, 1998) y otro con base biológica, en concreto una versión del *in-stream flow incremental methodology* (IFIM), originalmente propuesto por Bovee (1982). Este último método conlleva trabajo detallado de campo y ha sido aplicado únicamente en seis estaciones, con el objetivo de validar el primer método, que es más simple. Como resultado de este análisis, los regímenes mensuales de caudal de mantenimiento han sido obtenidos en cada estación. Los resultados globales muestran que los caudales mínimos necesarios durante el verano para el mantenimiento de los ecosistemas fluviales de la vertiente norte de Cantabria, deben valer aproximadamente entre el 15 y el 25 % del caudal medio interanual en régimen natural de cada tramo; los caudales de mantenimiento necesarios en los meses más húmedos son del orden del doble que en el periodo de estiaje; los meses de transición son junio y octubre. Los recursos disponibles de agua en un tramo concreto de río para usos consuntivos serán el resultado de sustraer el caudal de mantenimiento obtenido de los regímenes de caudal fluyente.

## 2.3. Plan integral de ahorro de agua de Cantabria

El Plan integral de ahorro de agua (PIAA) de Cantabria tiene su origen en un Convenio entre el Gobierno de Cantabria y la Fundación Ecología y Desarrollo de Zaragoza (España), orientado a conseguir un uso más racional y eficiente de este recurso (Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria, 2006). Los trabajos para la elaboración del Plan se han llevado a cabo a lo largo de 2005 y han requerido la elaboración previa de unos datos básicos del uso del agua de abastecimiento en Cantabria, con la finalidad de paliar la falta de información que existía y que resulta imprescindible no sólo para elaborar el citado Plan sino para su posterior seguimiento.

El PIAA de Cantabria se ha elaborado siguiendo la metodología de los planes de gestión de la demanda, y se ha estructurado en torno a Programas Operativos con medidas que, en mayor o menor grado, afectan a los diferentes aspectos que intervienen en el ciclo del agua en

las ciudades. Los programas contienen medidas o intervenciones a realizar a lo largo de los cuatro años de duración previstos para el Plan. Éstas se han elaborado bajo el criterio de la viabilidad, es decir, se han propuesto medidas perfectamente asumibles tanto desde un punto de vista ambiental, como social o económico.

Los objetivos específicos de los programas que forman el PIAA son:

- Sensibilizar al conjunto de la población sobre la necesidad de asumir comportamientos responsables en el uso del agua.
- Reducir el volumen de agua de abastecimiento hasta situarlo en 72 Hm<sup>3</sup> anuales, frente a los 80 Hm<sup>3</sup> actuales (consumo total de abastecimiento urbano en Cantabria en 2003).
- Frenar el crecimiento de la demanda unitaria en los diferentes sectores de usuarios.
- Reducir sensiblemente los volúmenes de agua no registrada en los sistemas de distribución.
- Mejorar los sistemas de medición y control de los volúmenes captados, tratados y distribuidos en los distintos municipios de Cantabria.

## 2.4. Documentación técnica para la redacción del Plan director de abastecimiento en alta de Cantabria 2006-2010

En la fecha de redacción de estas líneas (junio de 2006) la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria se encuentra inmersa en el proceso de elaboración y tramitación del Plan Director de abastecimiento en alta de Cantabria 2006-2010, así como la evaluación ambiental estratégica del mismo. Los contenidos del Plan y el resultado final del proceso dependen en gran medida de factores socio-políticos, por lo que, en este contexto, se considera más pertinente describir la documentación técnica que se ha venido elaborando hasta la fecha para justificar las soluciones propuestas.

La documentación técnica del Plan tiene como principal misión determinar cuáles son las medidas (estructurales, normativas y de gestión) más adecuadas en términos económicos, ambientales y sociales para satisfacer las demandas hídricas actuales y futuras de la región, minimizando los impactos en los ecosistemas acuáticos. Los contenidos de la misma responden al siguiente índice:

1. Introducción
2. Descripción de la situación de partida
3. Diagnóstico de la situación de partida
4. Estudio de alternativas y análisis de escenarios
5. Programas de medidas
6. Análisis económico y de recuperación de costes





Fig. 2. En algunos de los tramos de la Autovía del agua se ha utilizado maquinaria de alto rendimiento, con el fin de acelerar la puesta en servicio de las obras.

Se trata por tanto de recopilar y elaborar la información necesaria para llevar a cabo una comparación de las opciones disponibles (*alternativas*), y a continuación determinar el efecto que determinados procesos exógenos, poco modificables desde la administración ambiental, pueden tener en el sistema diseñado (*escenarios*).

Entre las alternativas que se consideran figuran las siguientes:

- Alternativas para incrementar los recursos hídricos disponibles:
  - Alternativas basadas en recursos fluyentes: conexión de ríos a la red primaria de abastecimiento, reutilización.
  - Alternativas basadas en recursos regulados: trasvases, bitrasvases, nuevos embalses, lagunas laterales de almacenamiento de agua, desaladoras, etc.
- Alternativas de diseño de la red primaria de abastecimiento
  - Alternativas de trazado y diseño del eje este-oeste de abastecimiento (autovía del agua).
  - Alternativas de conexión del eje este-oeste con el nuevo bitrasvase Ebro-Besaya-Pas.

Los posibles escenarios que se analizan son:

- Nivel de implantación del régimen de caudales ecológicos. El dimensionamiento de las distintas infraestructuras depende de los caudales ecológicos que se adopten por ley, y su nivel de cumplimiento. Este es un proceso difícil de predecir *a priori*, puesto que depende de numerosos factores, más allá de los meros criterios ecológicos.

- Evolución de la actividad industrial en la región. Esta variable, de difícil predicción a medio y largo plazo, influye en el agua disponible para usos urbanos, incluso en el caso de que las nuevas industrias no se conecten a la red de abastecimiento.
- Efecto de las medidas de gestión de la demanda y renovación de redes existentes. Es evidente la importancia de estas variables a la hora de determinar los déficit futuros (ver el epígrafe anterior sobre el Plan integral de ahorro de agua)
- Posible efecto del cambio climático. Dado que se están diseñando infraestructuras con larga vida útil (al menos 50 años para la obra civil), las posibles alteraciones climáticas pueden tener influencia en el agua fluyente disponible.
- Variables de gestión y explotación. Existen algunas opciones, relativas a criterios de gestión y explotación del sistema, que dependen de acuerdos de naturaleza económica y política, difíciles de predecir.

La solución finalmente seleccionada en el Plan de abastecimiento se describe más adelante, junto con la descripción de las principales infraestructuras que conlleva.

### 3. Descripción de la alternativa seleccionada

Como se ha expresado anteriormente, Cantabria, a pesar de ser una región húmeda en términos generales, no puede satisfacer de manera natural, es decir, sin soluciones de ingeniería, la demanda de agua concentrada en los grandes núcleos costeros durante los meses de verano, menos aún si se respeta un cierto nivel de caudales ecológicos. La solución adoptada finalmente para el abastecimiento de la región consta de dos componentes complementarios: regulación e interconexión. Se entiende por regulación el proceso de almacenar agua durante el invierno para utilizarla en la época estival; la interconexión consiste en comunicar cualquier núcleo urbano con, al menos, una fuente de recursos hídricos regulada, además de los posibles aportes de aguas fluyentes.

La opción de construir nuevos embalses en Cantabria no resulta socialmente viable, por lo que se ha optado por obtener el agua necesaria para cubrir el déficit de demanda de abastecimiento a partir de tres fuentes principales:

- El bitrasvase Ebro-Besaya-Pas: es el elemento principal de regulación, y se describe en el epígrafe siguiente.
- Aprovechamiento de las principales fuentes fluyentes, actualmente no conectadas a una red general; es decir, disponibilidad global de recursos locales.
- Construcción o utilización de lagunas o embalses laterales de regulación: se prevé derivar agua durante

Tabla 1. Características de los remotes del bitrasvase Ebro-Besaya-Pas

	Hirvienza	Alto Besaya	Corrales
Altura manométrica en sentido norte-Ebro	104 m.c.a.	248 m.c.a.	871.5 m.c.a.
Altura manométrica en sentido Ebro-Norte	210 m.c.a.	210 m.c.a.	210 m.c.a.
Altura manométrica total	314 m.c.a.	458 m.c.a.	1081.5 m.c.a.
Diámetro	600 a 700 mm	600 a 1000 mm	600 mm
Caudal máximo	0,65 m <sup>3</sup> /s	1,55 m <sup>3</sup> /s	0,7 m <sup>3</sup> /s
Capacidad media anual estimada	2,6 Hm <sup>3</sup>	6,7 Hm <sup>3</sup>	10,4 Hm <sup>3</sup>

la temporada húmeda de los ríos principales a embalses construidos en zonas situadas fuera de cauce, para luego retornarla en el verano. Representan un suplemento de recursos hídricos para ciertas zonas.

La interconexión se va a materializar mediante una conducción que comunique la mayor parte de las actuales redes de abastecimiento en alta de la región, y por lo tanto los principales ríos con sus aportaciones fluyentes. A esta nueva red primaria de abastecimiento se le ha denominado popularmente "Autovía del Agua" de Cantabria. En la figura 2 se presenta un esquema de la solución adoptada, con sus dos elementos principales: el bitrasvase y la red primaria.

### 3.1. El bitrasvase Ebro-Besaya-Pas

Se denomina bitrasvase Ebro-Pas-Besaya (en adelante bitrasvase EPB) a un conjunto de infraestructuras hidráulicas de captación, bombeo, conducción y depósito, destinadas a transportar agua durante los periodos húmedos desde la cuenca del río Besaya (una de las más extensas de la vertiente norte de Cantabria) hacia el embalse del Ebro, para posteriormente retornarla canalizada hasta la costa, durante el estiaje. Se trata, por tanto, de la piedra angular del futuro sistema de abastecimiento en alta de la región, y su funcionamiento se basa en almacenar agua durante el invierno en un embalse ya existente situado en otra cuenca, para luego bombearla en sentido inverso, en dirección a la costa, durante los meses de verano.

El bitrasvase capta el agua de tres puntos diferentes de la cuenca del río Besaya, situados a distinta cota. Las características de los tres remotes se recogen en la tabla 1.

Cabe señalar que en los remotes de Lantueno e Hirvienza, toda la energía consumida en el bombeo se puede recuperar turbinando el agua en sentido sur-norte y generando un excedente de explotación, mientras que el remonte de Corrales es deficitario; por lo tanto, está previsto que este remonte sólo se utilice en los años más secos, o en situaciones de emergencia. A la vista de esta tabla, se puede deducir que la capacidad de la nueva instalación para

trasegar agua asciende a unos 20 Hm<sup>3</sup>, en un año medio. Las tuberías asociadas son de acero, tienen un diámetro entre 1,6 y 0,6 m y una longitud total de más de 60 km; existen tramos en túnel y varias estaciones de bombeo, algunas de ellas reversibles. La inversión asociada a las obras del bitrasvase Ebro-Besaya-Pas asciende a unos 62 millones de euros de 2006, comenzaron a ejecutarse en el año 2004 y se prevé que estén finalizadas en 2007.

### 3.2. La Autovía del Agua de Cantabria

Las infraestructuras descritas anteriormente aportan el volumen de agua necesario para suplir el déficit existente, pero cada una de ellas se encuentra situada en una zona de la región, y en ocasiones lejos de los puntos de demanda. Por lo tanto, la solución completa a los problemas de abastecimiento y ecológicos en Cantabria requiere una infraestructura que conecte todos los puntos productores de agua, incluidos los ríos principales con posibles sobrantes, con las aglomeraciones urbanas.

Se denomina Autovía del Agua a una conducción continua, con sus instalaciones asociadas, que conectará en sentido paralelo a la costa todas las cuencas internas de Cantabria, desde Unquera (límite oeste) hasta Castro Urdiales (límite este). Se trata, por tanto, de una infraestructura que permitirá trasvasar agua procedente de cualquiera de los valles de la región al resto, de manera totalmente flexible y adaptada a las variaciones de la demanda en el espacio y en el tiempo. A este eje longitudinal se le incorporarán en sentido perpendicular tanto las fuentes de agua existentes, y en especial el bitrasvase, como las conducciones de derivación a las distintas redes de abastecimiento secundarias de la región. Así, la Autovía del Agua permitirá conectar, en lo que a recursos hídricos se refiere, las zonas costeras con mejor dotación con aquellas que sufren escasez, sin provocar perjuicios en las cuencas donantes.

#### Descripción de la infraestructura

La tubería es de fundición y tiene un diámetro que varía entre 1,2 m en las zonas centrales a 0,5 m en las zonas



Fig. 3. El río Agüera es uno de los que se incorporan a la Autovía del agua en la zona oriental de Cantabria. En su cuenca se sitúa el embalse del Juncal.

situadas en los extremos. Su longitud total es del orden de 150 km y conlleva un conjunto de instalaciones asociadas como bombeos, depósitos y numerosas arquetas de diversos tipos. La Autovía del agua tiene un coste total estimado de inversión de 175 millones de euros de 2004, y llevará asociado un centro de telecontrol desde el que se podrá operar la totalidad del sistema. La obra se comenzó a construir en 2004 y se prevé su conclusión en 2007, de forma simultánea con el bitrasvase, con el que operará de manera integrada.

El trazado de las conducciones, tanto en planta como en alzado, está condicionado por la ubicación de los puntos a conectar y las características técnicas del tipo de tubería elegida, fundición con junta "acerrojada", que permite desalineaciones máximas de 2° hasta diámetros de 800 mm y de 1.5° para diámetros hasta 1.600 mm, con lo cual los radios mínimos que se pueden conseguir son de 172 m y 230 m, respectivamente. Para radios de curvatura menores se está obligado a colocar piezas especiales, que obligan a dimensionar macizos hormigonados. Todas las zanjas tendrán forma trapezoidal con una anchura en la base igual al diámetro exterior de la tuberías que alojan más 1.50 metros, taludes variables en función de la calidad de los terrenos que atraviesan y altura variable dependiendo de la orografía.

Se prevén tres tipos de zanja:

- Zanja Tipo Normal: Se utilizará cuando la conducción circule por praderas y montes. Se extenderá una cama de arena de cantera de 30 cm de espesor para asiento de la tubería y se rellenará con material seleccionado procedente de la excavación o de préstamo.
- Zanja Tipo Camino: Se utilizará en caminos y vías secundarias rodadas. Se extenderá una cama de arena

de cantera de 30 cm de espesor para asiento de la tubería y se rellenará con todo-uno de cantera hasta la coronación.

- Zanja Tipo Cruce Carretera: Se utilizará en el cruce o recorrido por cualquier vía de circulación rodada (carretera local, autonómica o nacional). Toda su sección se rellenará de hormigón en masa.

Aprovechando la entidad de las obras a realizar y su forma lineal, se pretende expropiar la zona por donde transcurre la traza para formar una senda peatonal que circule la misma, que sirva como infraestructura de comunicación lúdica y a la vez como vía de servicio y mantenimiento de la propia conducción. El pavimento de la senda será en su gran mayoría el de un camino peatonal acabado en materiales granulares compactados, con una anchura variable en función de la orografía que atravesare, teniendo en cuenta que circulará principalmente por zonas rurales.

#### Modo de explotación del nuevo sistema

Uno de los aspectos más interesantes del sistema de abastecimiento planteado es su capacidad de optimizar los recursos hídricos disponibles en la región, permitiendo un funcionamiento de las infraestructuras adaptable a las condiciones meteorológicas y de demandas. La autovía del agua, desde el punto de vista operativo, se basa en tres tipos de balances, que se realizan a escala de uno o varios días en el siguiente orden de prioridades:

- 1) Balance local. Se satisfacen, en la medida de lo posible, las demandas mediante las aportaciones dis-

Fig. 4. El río Asón es uno de los más salmoneros de Cantabria y posee un buen estado general en cuanto a calidad química y ecológica.





ponibles en el río más cercano, tal y como se ha procedido tradicionalmente en la región. Para este balance local, que es viable durante buena parte del año en muchos enclaves, no interviene la Autovía del Agua. Nótese que cuando se habla de fuentes disponibles, se hace referencia al caudal fluyente menos el caudal ambiental estipulado para cada tramo.

2) Balance global de fuentes fluyentes. En un alto porcentaje del año, los principales ríos de la región (Deva, Nansa, Saja-Besaya y Asón) poseen un excedente de agua, una vez satisfechas las demandas locales asociadas. Este excedente puede ser aprovechado para abastecer otras zonas deficitarias, a través de la Autovía del Agua, siempre y cuando el coste de transporte se mantenga por debajo de cierto valor.

3) Balance global de fuentes reguladas. Una vez que se ha aprovechado el agua fluyente, primero a escala local y luego global, se debe recurrir a las fuentes de agua reguladas, y en especial al nuevo bitrasvase EPB, para cubrir el déficit restante, si es que existe. Para ello, se inyecta a la red primaria el agua necesaria de los lugares más cercanos a los puntos de demanda (en la zona más oriental, se recurre al embalse del Juncal antes que al bitrasvase).

Para poder optimizar el funcionamiento del sistema, se prevé la creación de un centro de control, así como una red de medida de parámetros de gestión, que incluyen caudales fluyentes en los ríos, caudales de demanda, niveles de depósitos e indicadores de calidad. Se dispone de un modelo numérico que simula el funciona-

miento del sistema, en la actualidad a partir de series sintéticas de demandas y aportaciones, generadas mediante análisis de series temporales y simulación hidráulica, respectivamente (Martín F.L. *et al.*, 2005; García E. *et al.*, 2006).

En la actualidad (junio de 2006) se encuentra en explotación el tramo más oriental de la conducción, entre el río Agüera (Oriñón) y Castro Urdiales. Las obras del tramo que une Oriñón con el Plan Asón (Laredo, Santoña y Noja, principalmente) se prevé que finalicen durante el último trimestre de 2006, al igual que las que conectan el río Deva con el Plan Valdáliga, que abastece los núcleos de San Vicente de la Barquera y Comillas, entre otros. Asimismo, se encuentran iniciadas, aunque con plazo de ejecución hasta 2007, las obras que conectan Ampuero (Plan Asón) con Santander. El resto de la Autovía, que corresponde al tercio centro-occidental de la región, zona que plantea menos problemas de abastecimiento a corto plazo, se encuentra aún en fase de estudio.

El ejemplo del nuevo sistema de abastecimiento de Cantabria, en la España húmeda, muestra que, en algunos casos, es posible conjugar la conservación ambiental con el desarrollo socioeconómico mediante soluciones tecnológicas más o menos complejas, que deben surgir de un buen conocimiento del medio natural y de un proceso riguroso de planificación hidrológica. El coste de este tipo de soluciones, tanto en términos de inversión inicial como de gastos de explotación, suele ser relativamente alto, en este caso en torno a 300 millones de euros de 2004, para una población de menos de un millón de habitantes, por lo que pueden no estar al alcance de todos los países y regiones. ♦

#### Referencias:

-BENNETT, T.H. (1998). *Development and application of a continuous soil moisture accounting algorithm for the HEC-HMS*. MS thesis, Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis.  
-BOVEE, K.D. (1982). *A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology*. U.S. Fish & Wildlife Service In-stream Flow Information Paper N° 12, FWS/OBS-82/26, 248 pp.  
-CEDEX (1998). *Metodología de cálculo de regímenes de caudales de mantenimiento*. Informe

técnico del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) para el Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 155 p.p.  
-COMISIÓN EUROPEA (2000). *Directiva 2000/60/EC, Establishing a framework for community action in the field of water policy*. European Commission PE-CONS 3639/1/100 Rev 1, Luxembourg.  
-CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE. GOBIERNO DE CANTABRIA (2006). *Plan integral de ahorro de agua de Cantabria*. CIMA. Gobierno de Cantabria. España.  
-U.S.A.C.E. (2003). *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)*. Version 2.2.2.

-MARTÍN F. L., GARCÍA E., REVILLA J. A. y MEDINA R. (2005). *Integrated water and ecosystem management in an Atlantic region of Europe using stochastic analysis and numerical modeling*. XXXI Congreso de la IAHR. Seúl, Corea. Septiembre de 2005.  
-GARCÍA E., MARTÍN F. L., REVILLA J. A. y MEDINA R. (2006). *Soluciones avanzadas para la gestión del agua y sus ecosistemas en zonas con marcada estacionalidad climática. El caso de Cantabria (España)*. Presentado al XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Ciudad Guayana, Venezuela. Octubre 2006.



