

#### **4. AFECCIONES EN ORIGEN**

En esta sección se estudiarán las posibles afecciones producidas en los orígenes de las transferencias, como consecuencia de la derivación de caudales en estos puntos.

Los efectos generales previsibles sobre los distintos medios han sido descritos en apartados anteriores, por lo que el análisis se centrará en evaluar tales efectos en la situación concreta planteada por este Plan Hidrológico. Para ello se hará una breve referencia a los previsibles efectos socioeconómicos y territoriales en las áreas de origen, tras lo que se desarrollarán los posibles efectos ambientales sobre el medio natural abiótico y biótico.

##### **4.1. AFECCIONES SOCIOECONÓMICAS Y TERRITORIALES**

Para acotar los impactos de las posibles transferencias sobre el medio socioeconómico y territorial hay que recordar, como premisa básica, el supuesto de partida adoptado en este Plan Hidrológico para el cómputo de volúmenes susceptibles de ser trasvasados.

Este supuesto básico es el de que tales volúmenes son aquellos que pudieran detraerse de los puntos de toma, sin que esta detracción empeore las condiciones de garantía de ninguna demanda de la cuenca cedente, y ello para la situación a largo plazo, con el máximo desarrollo de los aprovechamientos propios previstos en su planificación hidrológica.

Ello significa que no existe ningún uso actual del agua, ni ningún uso previsto a largo plazo, ni ningún requerimiento ambiental actual o futuro previsto en la planificación hidrológica, que vaya a verse afectado por las posibles transferencias externas.

En consecuencia, las derivaciones de caudal pueden ser contempladas como una actuación transparente a los usos y la explotación de la cuenca cedente, que puede operar, literalmente, como si no existiera tal derivación.

Bajo este supuesto, es claro que no existe afección socioeconómica ni territorial alguna por causa de las transferencias, ya que éstas no van a inducir en ningún caso un perjuicio a la población, al empleo, ni a ninguno de los sectores de actividad económica en la cuenca de origen. Si tales efectos adversos se producen, la razón será endógena, y distinta de los posibles trasvases, pues, como se indicó en los análisis hidrológicos, éstos no requieren la realización de ninguna nueva infraestructura en la cuenca cedente, ni van a derivar agua que sea requerida –ni ahora ni en el futuro- en esta cuenca, y por tanto no van a perjudicar a la población ni a menoscabar sus posibilidades de desarrollo.

La única excepción a este criterio la constituyen aquellos territorios situados aguas abajo de los puntos de derivación. En este caso, no cabe descartar que se produzcan afecciones adversas ya que, aunque se deriven caudales no utilizados ni reservados, pueden darse efectos indirectos que generen algunos impactos económicos.

Sin perjuicio de los someros análisis que se realizan más adelante, corresponderá en su caso a los oportunos Es.I.A. la identificación y detalle de tales efectos adversos.

#### **4.2. AFECCIONES SOBRE EL MEDIO NATURAL**

Desde el punto de vista de la afección sobre el medio natural, la situación es distinta a la planteada sobre el medio socioeconómico y territorial.

Así como en este medio no se prevé ninguna afección significativa aguas arriba ni aguas abajo de la captación -salvo algún posible efecto indirecto aguas abajo-, y el medio natural aguas arriba de la toma tampoco va a verse afectado en absoluto, es indudable que el medio natural aguas abajo puede verse claramente afectado por la derivación de caudales, y este efecto debe ser estudiado con detalle en el contexto de las posibles transferencias del Plan Hidrológico Nacional.

En este punto, es necesario diferenciar dos situaciones claramente distintas, que son las correspondientes a posibles transferencias desde los ríos Duero y Tajo, o posibles transferencias desde el Ebro.

La diferencia fundamental radica en que Duero y Tajo son ríos transfronterizos, con condiciones hidrológicas regidas por acuerdos internacionales. Las afecciones ambientales singulares que pudieran introducirse como consecuencia de una transferencia no pueden ser conocidas y evaluadas por uno solo de los países, sino que deben ser analizadas conjuntamente por ambos, en instancias supranacionales. Por contra, las afecciones ambientales desde el Ebro son de incumbencia única española, y pueden ser estudiadas y evaluadas sin necesidad de recurso a terceros. Si se optase por desarrollar transferencias desde las cuencas internacionales, cabría plantear el inicio conjunto de tales estudios previos.

En definitiva, y sin prejuzgar aquí la idoneidad relativa de las distintas opciones, el análisis de las afecciones en origen que procede desarrollar en este momento ha de centrarse en el curso bajo del río Ebro, y más concretamente, y de forma singular, en su delta. Esta es la única zona donde realmente pueden darse afecciones ambientales apreciables, por lo que su estudio detallado es un requisito obligado para las posibles futuras transferencias desde este ámbito.

En la siguiente sección se avanza de forma preliminar algunas ideas y datos para este estudio específico.

## **4.3. EL DELTA DEL EBRO**

### **4.3.1. INTRODUCCIÓN**

Tras una breve introducción al marco físico e hidrológico del delta del Ebro, en esta sección se analizan someramente aquellos aspectos principales en los que podrían producirse afecciones negativas al detraer caudales del Ebro con destino a transferencias externas. Estos aspectos básicos se refieren al transporte sólido, la cuña salina, los caudales mínimos, y la navegación fluvial.

Entre todas las posibles afecciones se analizan con un mayor detalle el efecto sobre la cuña salina y sus posibles medidas correctoras, junto con la especificación de caudales mínimos, por estimar que ambos aspectos engloban otros efectos secundarios y requieren, a priori, una mayor atención inicial.

Como es obvio, cuanto aquí se ofrece tiene el carácter de una primera aproximación, adecuada para centrar los problemas y magnitudes básicas, pero que debe, en su caso, ser desarrollada en el futuro.

### **4.3.2. MARCO FÍSICO E HIDROLÓGICO**

El delta del Ebro tiene una superficie de 330 km<sup>2</sup> y una población cercana a los 50.000 habitantes, de los cuales unos 15.000 residen en el interior del delta y los restantes en poblaciones situadas junto a su límite interior.

Una característica básica del delta del Ebro es su escasa elevación respecto al nivel del mar, ya que un 45% de la llanura deltaica está por debajo de los 50 cm de elevación.

Desde el punto de vista ecológico, el Delta destaca por su gran diversidad de hábitats y especies en un espacio físico relativamente reducido, lo que le confiere un singular valor ambiental.

Así, el delta del Ebro está incluido en la lista española de zonas Ramsar, figura de protección de los humedales de importancia internacional, y catalogado como Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA), de acuerdo con lo dispuesto en la Directiva Aves de la Unión Europea.

Desde tiempos remotos, el delta ha sido un medio muy antropizado. Los cultivos y zonas urbanas representan el 80% de la superficie total y los ambientes naturales sólo el 20%. El cultivo principal, el arroz, con 21.000 hectáreas ocupa el 65% de la superficie total. En la actualidad existen unas 30 especies de vertebrados y 17 especies de plantas en peligro de extinción.

La principal actividad económica del Delta es el cultivo del arroz, aunque otros sectores tienen cada vez más peso específico, como el terciario, especialmente con el turismo, que se incrementó notablemente durante los años ochenta a partir de la creación del Parque Natural. Otras actividades económicas son la acuicultura, estrechamente ligada a la calidad de las aguas, la pesca, que ha entrado en crisis en los últimos años por la sobreexplotación y degradación del medio marino, el sector

cinagético, que empieza a tener una cierta relevancia económica por los beneficios obtenidos de los cotos, y el sector industrial que, aunque de importancia creciente, no es esencial en la economía de la zona.

La aportación natural media anual del Ebro en el Delta supera los 17.000 hm<sup>3</sup>/año, mientras que la aportación media actualmente aforada en la estación de Tortosa no llega a los 12.000 hm<sup>3</sup>/año, diferencia debida a los consumos de agua en la cuenca. La aportación en Tortosa ha ido disminuyendo en los últimos años como consecuencia del aumento en los consumos, especialmente los debidos a la agricultura, tal y como se expone en el análisis de la cuenca del Ebro incluido en este Plan Hidrológico Nacional.

En la cuenca existe una capacidad de embalse actual próxima a los 7.000 hm<sup>3</sup>, que suavizan la distribución natural de los caudales. En particular, los embalses de Mequinenza (1.528 hm<sup>3</sup>) y Ribaraja (210 hm<sup>3</sup>) situados en el curso bajo del propio Ebro, tienen un muy importante efecto regulador de los caudales en el Delta.

Aguas abajo del último embalse, el de Flix, y aguas arriba de la estación de aforos de Tortosa, están las tomas para la refrigeración de la Central Nuclear de Ascó (77,3 m<sup>3</sup>/s de concesión) y de alimentación de los dos canales de riego en Xerta (50 m<sup>3</sup>/s de capacidad) que funcionan entre los meses de Marzo y Diciembre. Conviene también recordar que en el Plan hidrológico de la cuenca del Ebro está previsto un caudal ecológico de 100 m<sup>3</sup>/s continuos en el Delta.

Para una mejor comprensión de la dinámica reciente de este espacio, es interesante observar la evolución de sus usos del suelo desde el pasado siglo. Para ello, la figura adjunta, tomada de Ibañez et al (1999), muestra el grado relativo de ocupación del arrozal frente a los espacios naturales del delta desde 1860, año en que se construyó el primer canal de riego en la margen derecha.

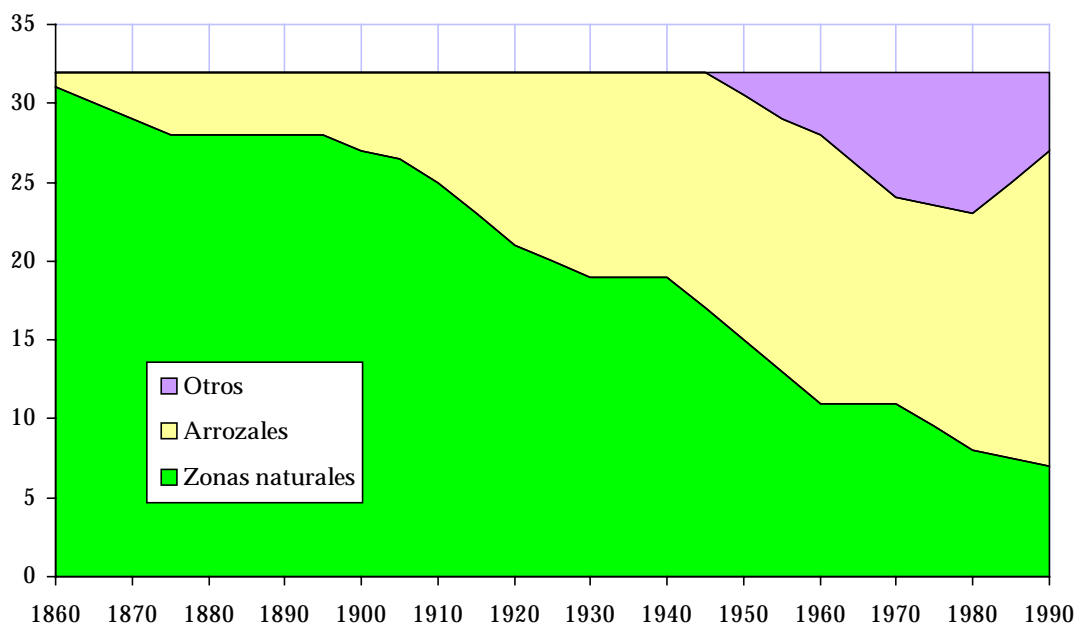


Figura 1. Evolución de usos de suelo en el delta

Como se observa, la gran expansión del cultivo de arroz se produce en la primera mitad del siglo XX, dando lugar a profundas alteraciones en el régimen hidrológico del delta. Ello, unido al proceso de construcción de embalses en la cuenca, ha hecho que los flujos circulantes hayan ido en progresivamente regularizándose, y estableciendo un régimen estacional claramente controlado por las necesidades del cultivo (abril a octubre). Pese a la drástica modificación de las condiciones anteriores, los impactos más importantes no se producen hasta los años 60, con la llegada de plaguicidas y la mecanización agraria, lo que cambió sustancialmente tanto los métodos de cultivo como el medio ambiente deltaico (Ibañez et al., 1999).

En este periodo, entre las décadas de los 60 y 70, se produce también la gran expansión de los regadíos del Ebro, pasando, como se vió en el análisis de este sistema, de apenas 500.000 ha a principios de los años 60, donde la capacidad de embalse era muy pequeña y se aprovechaba prácticamente la regulación natural del Ebro, a unas 800.000 ha en la década de los 80. Desde esa fecha el ritmo de crecimiento de los regadíos desciende notablemente.

Otras series indicativas del proceso seguido son las de captura de peces en las lagunas del delta, y las de concentración de nitratos y fosfatos en el curso inferior del río, ambas tomadas de Ibañez et al. (1999) y ofrecidas en la figura adjunta. En el gráfico de evolución de capturas se muestra también, junto con el total, la serie correspondiente a la laguna de l'Encanyssada, que es la más extensa de las cuatro hábiles para la pesca (l'Encanyssada, el Canal Vell, la Tancada y les Olles).

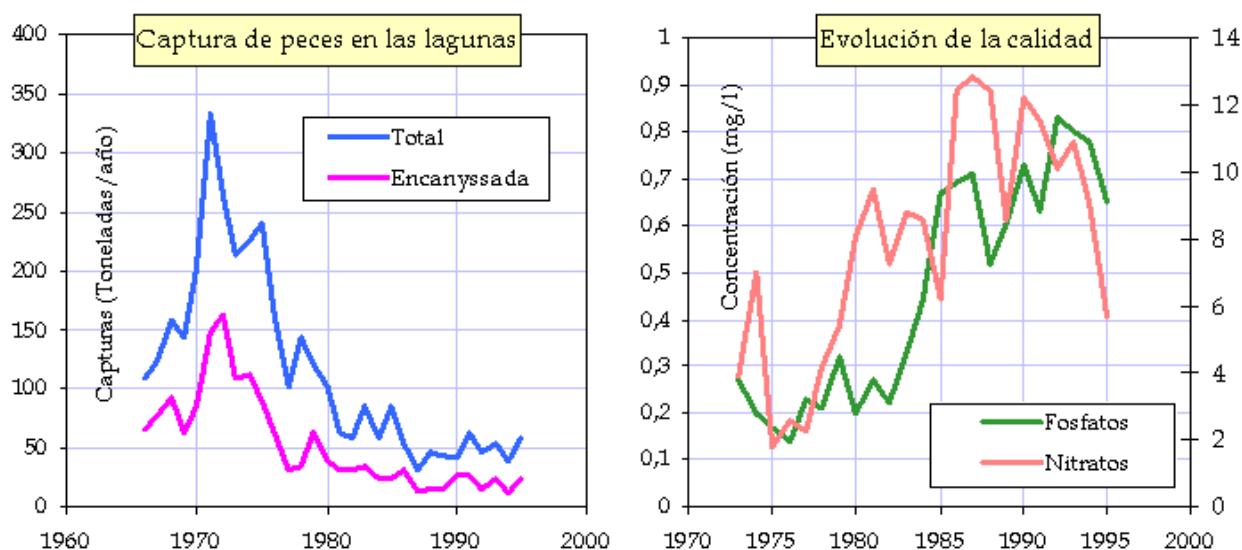


Figura 2. Evolución de algunos indicadores en el delta y su entorno

Como puede verse, desde los años 70 ha ido descendiendo progresivamente el ritmo de capturas totales, hasta los últimos años, en que se estabiliza en torno a los 50.000 kg. La razón debe buscarse, previsiblemente, en el deterioro ambiental de estas áreas desde los años 70.

En cuanto al nivel de fosfatos y nitratos, asociados a la eutrofización del agua, se observa un aumento progresivo desde comienzos de los 70 debido al desarrollo de las actividades agrícolas e industriales en la cuenca y a sus efluentes urbanos. Desde finales de los 80 el proceso parece estabilizarse e incluso mejorar en los años más recientes. En capítulos posteriores se estudiará este problema con mayor detalle, en el contexto de los impactos ambientales de la calidad del agua.

La eutrofización da lugar a la proliferación de algas en el curso bajo del río y, en combinación con la cuña salina, a la anoxia del fondo, con sus muy adversos efectos sobre la fauna fluvial. En posteriores epígrafes se estudia también este problema específico de la penetración de la cuña.

En definitiva, en la reciente historia del delta pueden identificarse distintas fases evolutivas, tal y como se ha puesto de manifiesto sintéticamente por SEO/Birdlife (1997, Tabla 7). El periodo 1960-80 parece ser el más adverso desde el punto de vista de los impactos ambientales sobre el delta, produciéndose desde entonces una cierta estabilización.

### **4.3.3. EL TRANSPORTE SÓLIDO**

El transporte sólido de un río se puede producir básicamente de dos formas: en suspensión y por arrastre de fondo.

El transporte por arrastre afecta al sedimento de mayor tamaño que viaja por el fondo del cauce. Con la construcción de los embalses de Mequinenza y Ribaraja el transporte por arrastre de fondo se retiene totalmente por los embalses y según Guillén y Palanques (1992) era prácticamente nulo en el periodo 1988-1992.

También el transporte por suspensión se ha reducido notablemente con la construcción de los embalses en la cuenca y especialmente con los dos citados. Actualmente la aportación media anual que llega al Delta no llega al 5% de la que existía a principios de siglo. La figura adjunta muestra con claridad este efecto contrapuesto de aumento de los almacenamientos y reducción de aportes sólidos.

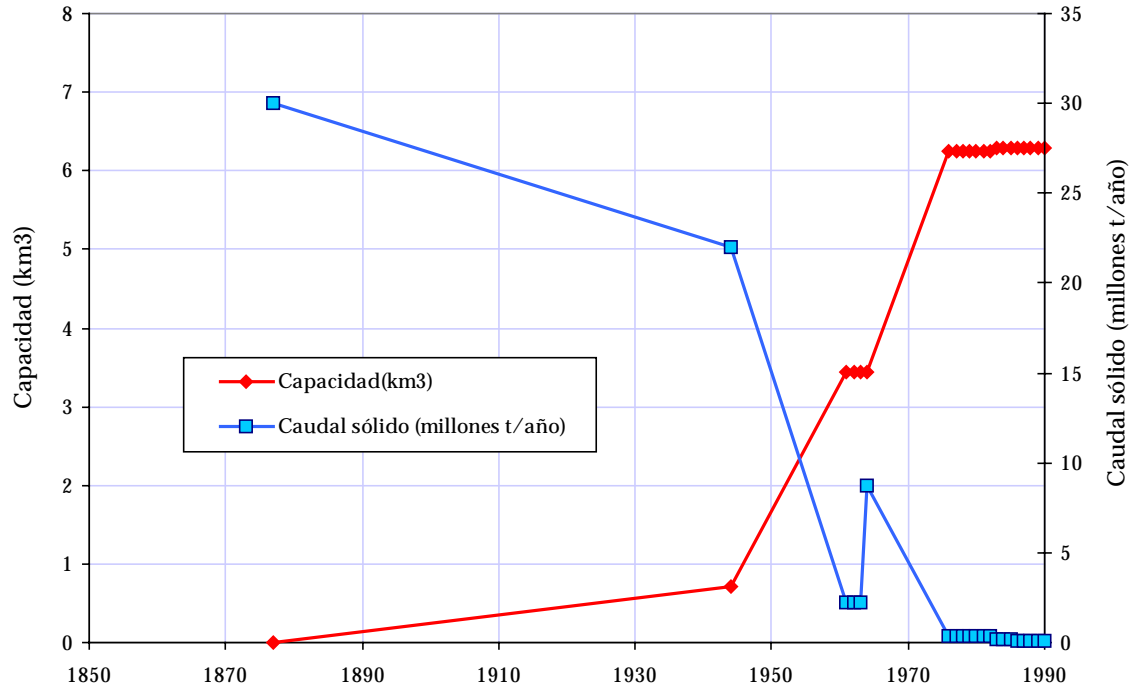


Figura 3. Evolución de almacenamientos y aportes sólidos

Los sólidos en suspensión actualmente transportados por el Ebro en el Delta son los no retenidos en los embalses, básicamente cuando se producen vertidos en situaciones de crecida, los procedentes del propio cauce y los aportados por la pequeña cuenca tributaria del Ebro aguas abajo de los embalses de Mequinenza y Ribarroja. En el año 1990 se estimaba que el transporte sólido en suspensión oscilaba entre 0,1 y 0,15 millones de toneladas/año. Uno de los factores principales que contribuye a la aportación sólida es el propio cauce del río aguas abajo de los embalses, donde se está produciendo la degradación de las márgenes al ser mayor la capacidad erosiva de las aguas por la menor concentración de sedimentos.

Puede concluirse, sin duda alguna, que el problema de la falta de sedimentos que llega al Delta es un problema asociado de forma directa a la construcción de embalses en la cuenca, y a su capacidad de retención. Desde la existencia de Mequinenza y Ribarroja, no es de prever que ningún nuevo embalse que pudiera ejecutarse vaya a empeorar sensiblemente este efecto, y una posible detracción de caudales, dados los valores previstos, como mucho disminuiría en un porcentaje muy reducido la carga másica asociada a la concentración de sedimentos en suspensión. Su efecto real sería prácticamente despreciable.

#### 4.3.4. LA NAVEGACIÓN

Desde principios de los años 80 la Generalitat de Cataluña y la Diputación de Tarragona han promovido estudios y realizado obras para hacer navegable el Ebro en sus últimos 118 km, desde el mar hasta Ribarroja en el límite de Aragón. Esta navegación está orientada fundamentalmente como actividad turística que permitirá entre otras cosas disfrutar del Parque Natural del Delta del Ebro.

En verano de 1994 se inauguraron las obras que hacen navegable al río en los 31 km últimos, desde Tortosa hasta la desembocadura. La profundidad mínima es de 2 metros, lo que permite navegar en horas diurnas a embarcaciones de hasta 1,5 metros de calado a una velocidad máxima de 10 km/h, siempre que el río transporte caudales comprendidos entre 60 y 800 m<sup>3</sup>/s.

Una posible detracción de caudal del Ebro sólo produciría afecciones negativas a la navegación si disminuyesen los calados por debajo de 2 metros, lo que dada la magnitud y modulación de las detracciones no es previsible.

#### **4.3.5. LA INTRUSIÓN FLUVIAL Y LA CUÑA SALINA EN EL DELTA DEL EBRO**

##### **4.3.5.1. INTRODUCCIÓN**

El delta del Ebro experimenta un fenómeno de intrusión fluvial del agua del mar, mediante una cuña salina cuya penetración en el río ha sido conocida y estudiada desde antiguo. Se trata de un fenómeno natural, propio de todos los estuarios y desembocaduras fluviales, pero que puede afectarse por la intervención humana. Existen referencias históricas de que en años muy secos, cuando todavía no existía regulación de los caudales mediante los embalses y se producían fuertes estiajes, la cuña salina podía avanzar hasta muy cerca de Tortosa a unos 40 km de la desembocadura, donde se sitúa el límite teórico de influencia marina (zona marítimo-terrestre) en el Ebro.

Dada la importancia ambiental de esta cuestión desde el punto de vista de las posibles transferencias externas, que pueden obviamente afectar la situación actual, se ha estimado necesario proceder a su estudio en el contexto de este Plan Hidrológico Nacional, y, en consecuencia, se ofrece el presente análisis cuyo objeto es caracterizar el funcionamiento actual de la cuña salina en el delta del Ebro, y analizar el impacto sobre la intrusión fluvial de distintos escenarios de detracción de caudales y de las posibles medidas correctoras.

##### **4.3.5.2. CONCEPTOS HIDRÁULICOS Y EFECTOS AMBIENTALES**

En los cursos finales de los ríos, sus lechos se encuentran a niveles inferiores al del mar, por lo que el agua salada puede penetrar por el cauce formando la cuña salina. Al ser el agua del mar más densa que la dulce, se forma una lengua de agua marina que avanza hacia aguas arriba del río, por debajo del agua dulce que éste aporta, hasta que ambos flujos alcanzan el equilibrio hidrodinámico.

Así, una cuña salina fluvial se caracteriza hidráulicamente como un flujo bicapa, donde la capa superior está formada por agua dulce que fluye del río hacia el mar, y la capa inferior por agua salada que se introduce desde el mar hacia el río. El contacto entre ambas capas se produce a través de una tercera capa de pequeño espesor que tiene unos gradientes elevados de densidad y salinidad.



Simplificadamente puede decirse que son estas situaciones de flujo mixto, dulce y salado, las que caracterizan hidrodinámicamente los estuarios de los ríos, y su avance y extensión permite separar las áreas marinas de las estuariales y las propiamente fluviales, en las que solo existe circulación de agua dulce.

La geometría de la cuña salina depende de la morfología del cauce, del caudal circulante y del nivel del mar. En el delta del Ebro, al ser pequeñas las sobrelevaciones del nivel medio del mar provocadas por las mareas (del orden de 20 cm), y muy puntuales las provocadas por otras causas como vientos persistentes y cambios de presión, el régimen dinámico de la cuña viene principalmente controlado por el caudal del río y la morfología del cauce. Sólo en las situaciones de caudales bajos y en los tramos cerca de la desembocadura (hasta unos 2 km aproximadamente), la circulación mareal predomina sobre la gravitacional.

Las consecuencias ambientales de este fenómeno hidráulico son muy diversas, pero pueden resumirse indicando que en la cuña salina, las aguas eutróficas, con exceso de algas, producen, entre otros efectos indeseables, la anoxia (agotamiento de oxígeno) del fondo, lo que provoca la asfixia de los animales y limita la vida a bacterias y algunos organismos muy resistentes a la falta de oxígeno (Ibañez et al., 1999). Con aguas no eutróficas, se trata de un fenómeno natural del que no cabe esperar un perjuicio por salinización de las tierras agrícolas adyacentes.

En principio, debe pensarse que una detracción de caudales en el delta del Ebro - como consecuencia de mayores consumos en la propia cuenca o de una transferencia externa- facilitaría el avance de la cuña salina y una mayor concentración de nutrientes, lo que daría lugar a una anoxia mas prolongada en el tiempo y, en consecuencia, a una mayor degradación ambiental. No obstante, dado que la principal variable que controla el avance de la cuña y la concentración de nutrientes es el caudal del río, la magnitud de este efecto ambiental dependerá muy significativamente de la distribución estacional de esas detracciones, existiendo acaso la posibilidad de que llegue a no producirse, o ser poco significativa, con una modulación adecuada de los flujos del Ebro en su tramo final. Tal posibilidad de minimización de impactos es la que se analiza en los siguientes epígrafes.

#### **4.3.5.3. RÉGIMEN DINÁMICO DE LA CUÑA SALINA**

Existen distintos estudios que han analizado el régimen dinámico de formación de la cuña de intrusión marina en el cauce del Ebro, así como la relación con las principales características físico-químicas del río en el tramo del delta.

Una síntesis indicativa del estado del arte sobre la cuestión es la ofrecida en Ibañez (1993). En este trabajo se presenta un análisis riguroso y sistemático de la penetración marina en el delta, basado en diferentes campañas de medidas realizadas entre el mes de abril de 1988 y el mes de mayo de 1992. Este estudio también se apoya en los datos de caudal registrados en la estación de aforos E-27 río Ebro en Tortosa, en los niveles de mareas en Ametlla de Mar, y en las condiciones meteorológicas en Sant Carles de la Rápita y Roquetes.

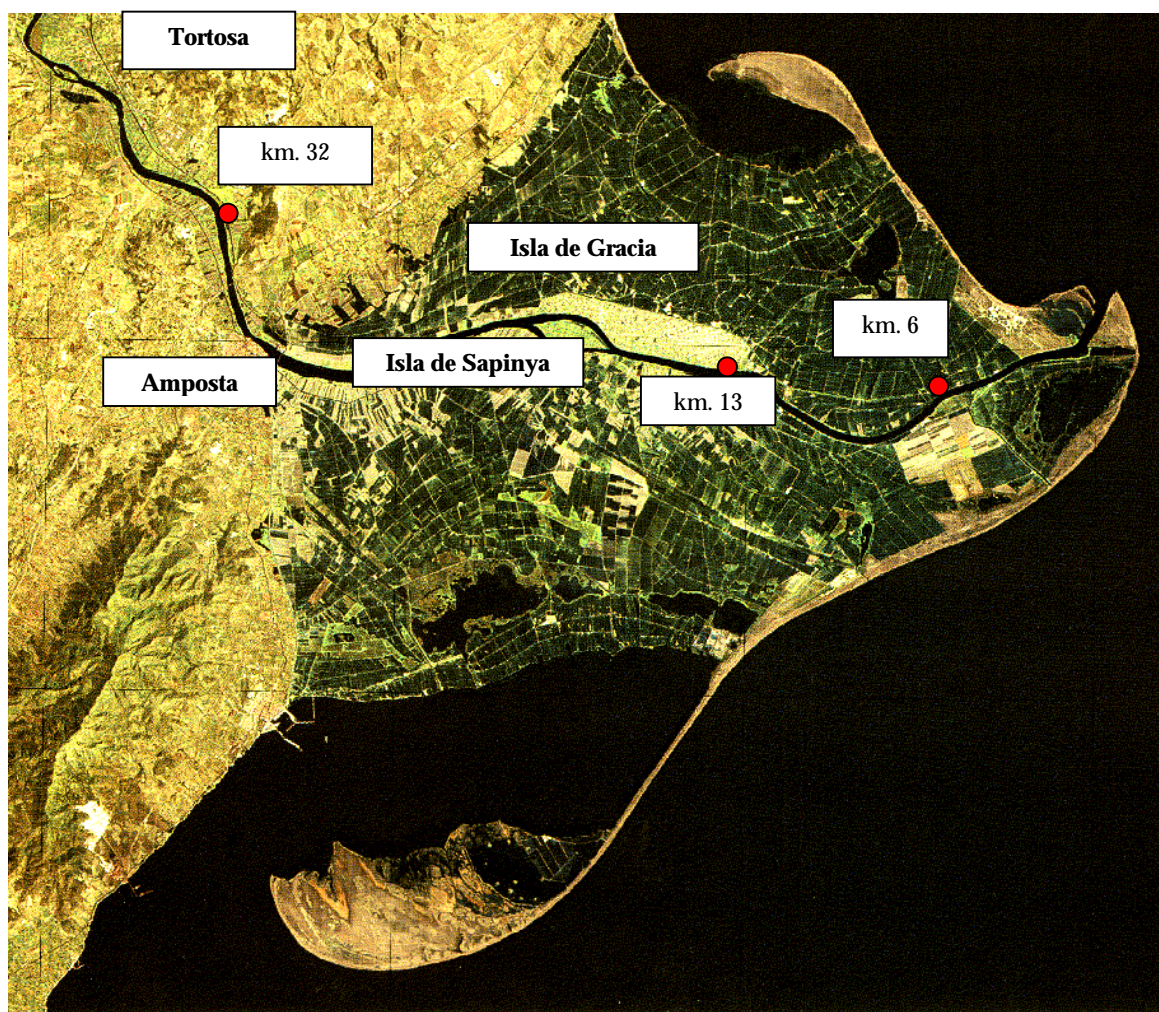


Figura 4. Puntos de control en el delta

En las campañas de muestreo realizadas en el mencionado estudio se midió la conductividad eléctrica mediante el uso de un conductivímetro conectado a sondas de 15 o 50 metros. Para determinar los perfiles de salinidad se efectuaron sondeos cada metro en las capas superior e inferior y cada 20 cm en la capa de interfase. En cada campaña también se remontó el río hasta detectar el límite de la capa salina. La tabla y figuras adjuntas muestran numéricamente y gráficamente estos resultados.

Como puede verse, parece existir una relación lineal entre los caudales medios diarios registrados en la estación de aforos de Tortosa y la profundidad de la interfase agua dulce-salada en dos puntos de control situados a 6 y 13 km de la desembocadura.

Fecha	Q (m <sup>3</sup> /s) E-27 Ebro en Tortosa	Prof. interfase (m) Km 6 de desemb.	Prof. Interfase (m) Km 13 de desemb.	Límite de la cuña (Km desemb.)
29-4-88	1091	-	-	0
10-6-88	414	4,6	-	6
14-6-88	599	5,1	-	0
22-6-88	1040	-	-	0
21-7-88	181	2,8	3,2	18
27-7-88	235	2,5	3,4	18
3-8-88	275	3,4	-	18
19-8-88	140	-	3	18
25-8-88	155	-	2,9	18
30-8-88	275	3,4	4,2	18
15-9-88	200	-	3,6	18
27-9-88	208	-	3,8	18
13-10-88	210	-	3,4	18
3-11-88	224	-	3,6	18
15-11-88	240	-	4,1	18
1-12-88	245	-	4	18
22-12-88	168	-	4,1	18
13-1-89	176	-	-	18
17-2-89	84	-	2,4	20
13-3-89	60	1,4	1,9	30
13-7-89	99	-	2,5	18
14-7-89	150	-	3,1	18
5-10-89	60	1,4	2,4	20
8-2-90	191	4,5	-	12
30-5-90	168	2,8	3,4	18
10-7-90	75	2,4	2,6	18
19-7-90	107	-	2,8	18
21-2-91	247	-	5,6	12
9-7-91	84	-	2	30
24-7-91	168	-	3	18
13-5-92	247	-	3,9	18

Tabla 1. Relación entre el caudal en Tortosa, la profundidad de la interfase en los km 6 y 13 de la desembocadura, y la penetración de la cuña

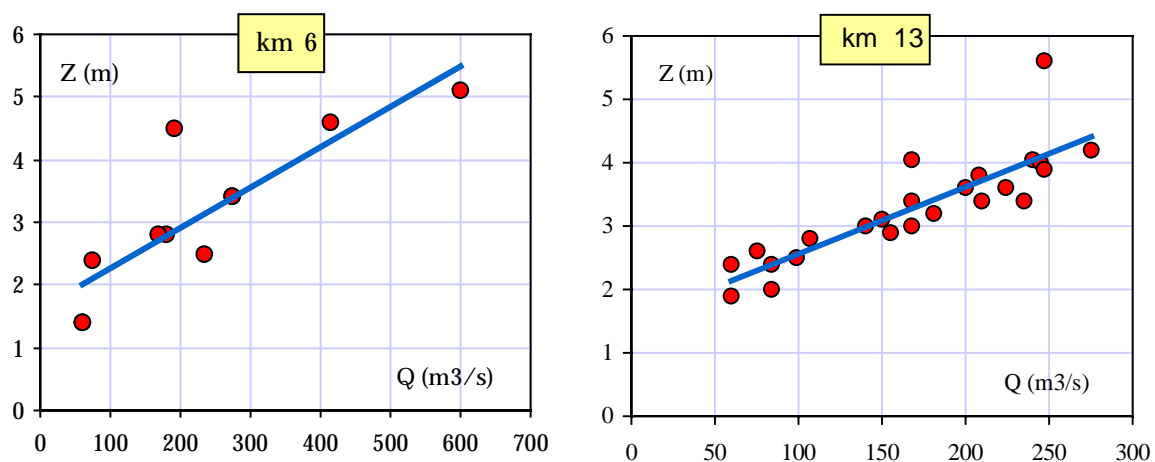


Figura 5. Relación entre el caudal en Tortosa y la profundidad de la interfase en los km 6 y 13 de la desembocadura

Aunque estos resultados eran previsibles al ser el caudal del río el principal elemento regulador de la intrusión marina en el delta, es interesante constatar la buena correlación lineal entre la profundidad a la cual se encuentra la interfase en los dos puntos de control y el caudal medio diario del río en Tortosa. Las ligeras dispersiones de los puntos respecto a la recta de regresión son debidas a la no consideración de otros factores que también intervienen, aunque en menor medida en este caso, en la dinámica de la intrusión marina, tales como cambios en el nivel del mar debidos a las mareas, el viento, las condiciones de presión, etc.

Sin embargo, a pesar de esta relación lineal en los puntos de control, el avance o retroceso de la cuña salina no depende linealmente del caudal del río. En efecto, observando la tabla puede verse que el límite de la cuña salina se mantiene constante para muy amplios rangos del caudal circulante, empezándose a formar con caudales inferiores a unos 400 m<sup>3</sup>/s, y progresando con rapidez hasta llegar al km 18 (zona de la isla de Gracia).

Este efecto de no linealidad se debe principalmente a la irregularidad del fondo del cauce, donde la existencia de singularidades (zonas de pequeño calado) representa un obstáculo al avance de la cuña salina, y juega un papel clave en su retroceso.

La figura adjunta, elaborada a partir de Ibañez (1993), muestra el perfil del lecho del río y las principales posiciones de confinamiento de la cuña.

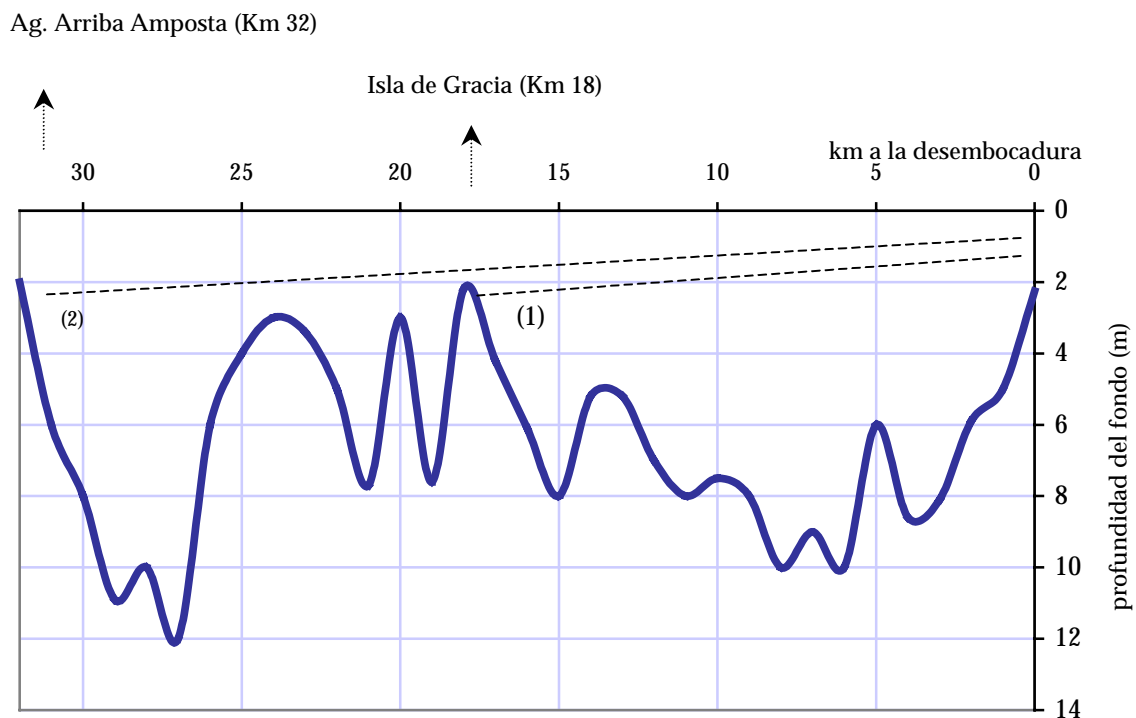


Figura 6. Fondo del cauce del río y posiciones de la cuña salina

Como puede verse, existen unas pocas posiciones de umbrales dominantes (sobre todo 5, 18 y 32 km) en los que el límite de la cuña salina se mantiene confinado para amplios rangos de los caudales circulantes. En la figura siguiente se han representado los caudales y las posiciones de la cuña según la tabla anterior, y la función de tipo escalón que ajusta a esos puntos.

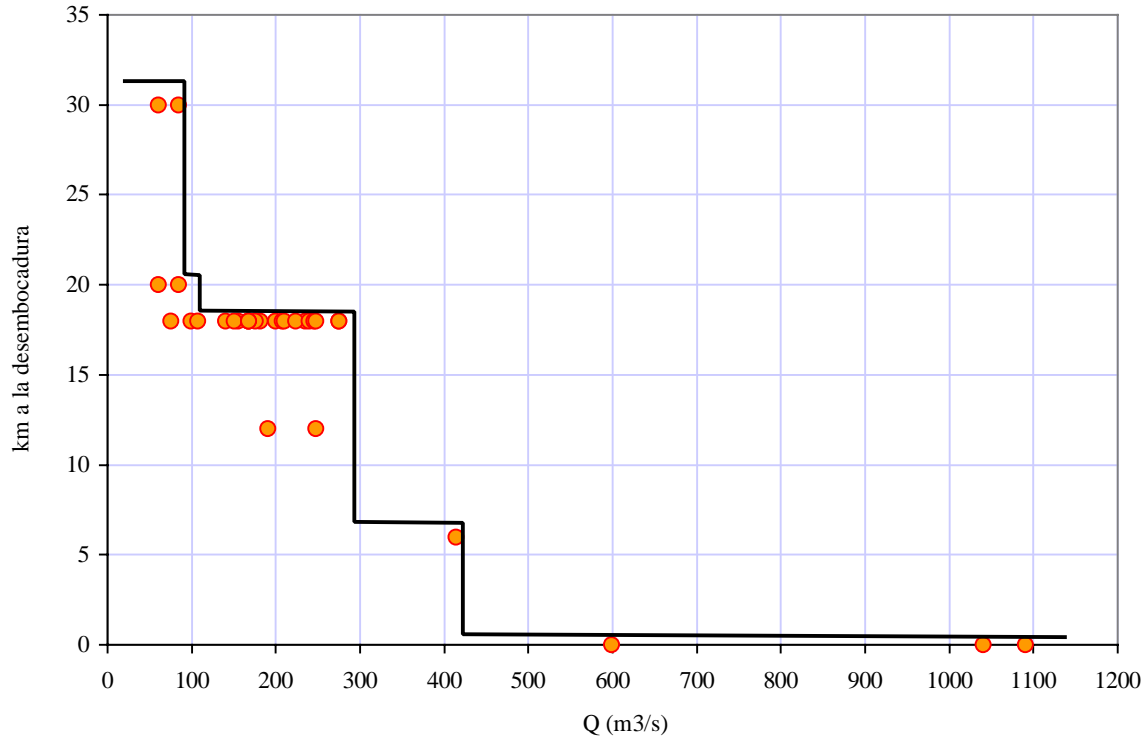


Figura 7. Relación entre el caudal en Tortosa y la penetración de la cuña salina

En definitiva, observando esta figura pueden extraerse las siguientes conclusiones, que son coincidentes con las ofrecidas por Ibañez

- La cuña comienza a penetrar para caudales del Ebro en Tortosa inferiores a 400 m<sup>3</sup>/s. Cuando el caudal es superior a 300 m<sup>3</sup>/seg la cuña salina penetra escasamente en el cauce del río, alcanzando como mucho el km 5-6 de la desembocadura. Se puede considerar en la práctica que es una situación de ausencia de intrusión marina.
- Si el caudal es inferior a 300 m<sup>3</sup>/seg la cuña salina penetra por la desembocadura y avanza rápidamente hasta la Isla de Gracia, a unos 18 km de la desembocadura. Esta es la posición más frecuente.
- La cuña salina no supera la Isla de Gracia hasta que el caudal no baja de los 100 m<sup>3</sup>/seg.
- El obstáculo siguiente se encuentra en la Isla de Sapinya (km 20 de la desembocadura), donde la cuña permanece confinada en esa posición para caudales comprendidos entre 100 y 80 m<sup>3</sup>/seg.
- Para caudales inferiores a los 80 m<sup>3</sup>/s la cuña avanza hasta su límite máximo, a 32 km de la desembocadura, aguas arriba de Amposta.

Sin embargo, existen referencias históricas (Aragón, 1943) de que en años muy secos, cuando todavía no existía regulación de los caudales mediante los embalses y se producían fuertes estiajes, la cuña podía avanzar hasta muy cerca de Tortosa, a unos 40 km de la desembocadura, donde se sitúa el límite teórico de influencia marina en el Ebro. Con este fundamento, el dominio público marítimo-terrestre del Mediterráneo se extiende, de hecho, hasta esta localidad.

Considerando esta información, es sencillo construir un modelo del comportamiento de la cuña salina que explique su evolución en función del caudal circulante y el punto kilométrico del río, con lo que conociendo el caudal circulante se puede calcular aproximadamente el tiempo medio de permanencia de la cuña salina en las diversas posiciones.

Así, por ejemplo, los análisis realizados en este Plan Hidrológico muestran que, considerando los datos de caudales medios mensuales del periodo comprendido entre los años hidrológicos 1970/71 y 1995/96, se deduce que la cuña ha estado presente cada año en promedio 6,6 meses, de los cuales en 1,2 meses ha superado la Isla de Gracia. Se ha tomado este periodo como el de referencia dado que, como se observa en el correspondiente Anejo de este Plan en que se estudia el sistema del Ebro, desde principios de los años 70 el número de infraestructuras hidráulicas no se ha incrementado de forma significativa en la cuenca, y desde ese punto de vista el periodo puede ser considerado como razonablemente homogéneo.

Por otra parte, es interesante constatar que en los 31 días de campañas de muestreo ofrecidos en la tabla no se produjeron vertidos en el embalse de Ribarroja salvo en dos ocasiones (el 29-4-88 y el 22-6-88), siendo las 29 restantes caudales turbinados, y no hubo vertidos en ninguna ocasión en el embalse de Mequinenza. Ello indica que, en principio, y considerando los caudales de equipo de sus centrales hidroeléctricas frente a los umbrales detectados de la cuña, existe una amplia posibilidad de control de los flujos y la salinidad del delta mediante la explotación de estos dos embalses.

#### **4.3.5.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE DISTINTOS ESCENARIOS DE CAUDALES EN EL DELTA**

En el análisis que se realiza a continuación se consideran únicamente 3 situaciones o posiciones básicas de la cuña salina, con las cuales se representa de forma suficientemente aproximada -para el análisis comparativo que se persigue- el fenómeno de penetración de la cuña salina. Estas situaciones son las siguientes:

- Ausencia de intrusión, cuando los caudales en Tortosa son superiores a 300 m<sup>3</sup>/seg.
- Penetración hasta la Isla de Gracia, cuando los caudales están comprendidos entre 100 y 300 m<sup>3</sup>/seg.
- Penetración hasta Sapinya y Amposta, cuando los caudales son inferiores a 100 m<sup>3</sup>/seg.

En la figura adjunta se muestra, para cada uno de los meses del año y para el total agregado, el porcentaje de las veces que se dan las situaciones referidas anteriormente en el periodo comprendido entre los años hidrológicos 1970/71 y 1995/96. Puede verse que en un 9 % de las veces la cuña salina ha superado la Isla de Gracia, al ser el caudal medio inferior a 100 m<sup>3</sup>/seg. Este hecho se produce con mayor frecuencia en los meses de Julio a Septiembre, presentando en el mes de Agosto un porcentaje del orden del 25%. Salvo situaciones muy excepcionales, esta situación no debería darse en el futuro al estar fijado en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro el caudal mínimo ecológico del tramo final en 100 m<sup>3</sup>/seg.

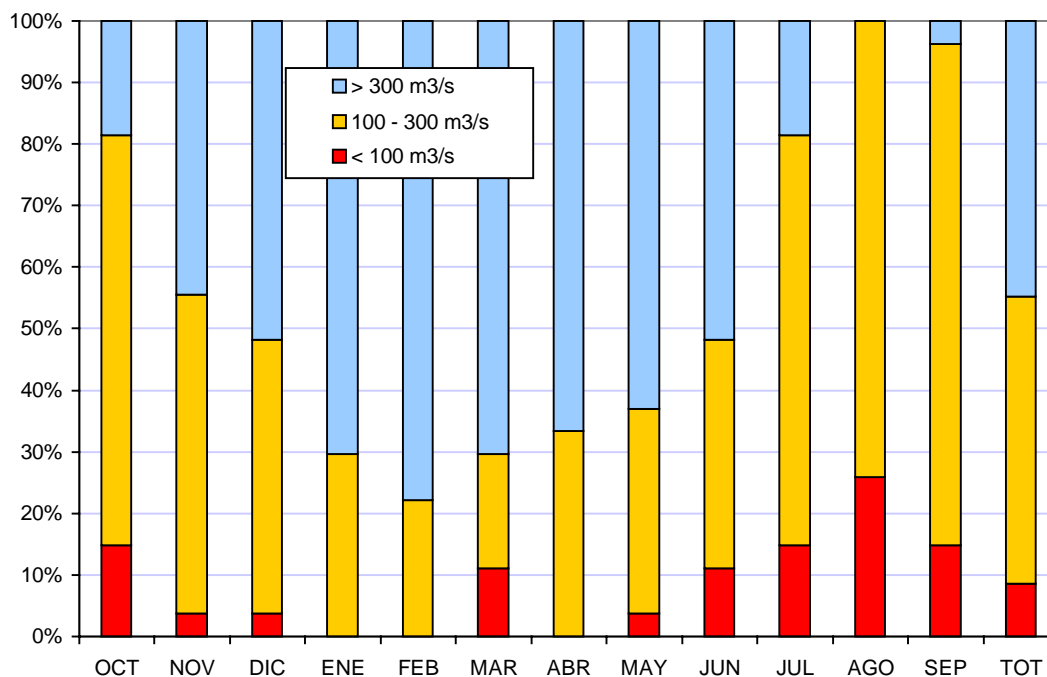


Figura 8. Porcentaje de veces en cada mes que se dan las situaciones de intrusión consideradas (periodo 1970/71 a 1995/96)

Al analizar a continuación situaciones futuras en las que se asume la restricción del caudal ecológico, sólo se van a contemplar por tanto dos estados: ausencia de cuña, para caudales mayores de 300 m<sup>3</sup>/seg, y penetración de la cuña hasta la Isla de Gracia, cuando los caudales están comprendidos entre 100 y 300 m<sup>3</sup>/seg.

Los incrementos en las demandas de agua y la restricción del caudal ecológico previstos en los Planes de cuenca, producirían una modificación de los caudales que circulan por el Delta. El efecto será doble: a) uno positivo, que es la contención de la cuña salina en la Isla de Gracia, impidiendo que ésta penetre hasta Amposta, cuando históricamente lo hacía 1,2 meses al año (debido a la restricción del caudal ecológico) y b) otro negativo, al aumentar el porcentaje de veces que la cuña alcanza la Isla de Gracia, pasando de 6,6 meses a 8,7 meses al año (debido a la disminución de caudales al aumentar la demanda).

Tomando la situación anterior (aumento de la demanda y restricción del caudal ecológico) como referencia, se han analizado los efectos diferenciales de una detracción de agua en el Ebro con destino a transferencias externas, y las posibles medidas para paliar los efectos negativos que producen.

Al detraer caudales en el delta aumentará el porcentaje de veces que la cuña alcanza la Isla de Gracia. Una posible solución para paliar este efecto negativo, es disponer de un volumen de almacenamiento para programar los caudales del río de forma que el régimen de penetración de la cuña salina sea parecido al existente antes de la detracción. Esto se resume en el objetivo de buscar que los meses en que el caudal del río era superior a 300 m<sup>3</sup>/seg antes de la detracción, el caudal no disminuya por debajo de 300 m<sup>3</sup>/seg con la detracción.

Se han analizado los caudales circulantes por el delta en los siguientes escenarios hipotéticos:

- Escenario 1. Demandas para el segundo horizonte del Plan de cuenca y restricción de caudal ecológico de 100 m<sup>3</sup>/seg.
- Escenario 2. Corresponde al escenario 1 más una detracción a caudal uniforme con una capacidad de toma de 1.000 hm<sup>3</sup>/año y un volumen de embalse para regulación de 500 hm<sup>3</sup>.
- Escenario 3. Corresponde al escenario 1 más una detracción a caudal uniforme con una capacidad de toma de 2.000 hm<sup>3</sup>/año y un volumen de embalse para regulación de 500 hm<sup>3</sup>.
- Escenario 4. Corresponde al escenario 2 más un volumen de regulación adicional para la intrusión de 100 hm<sup>3</sup>.
- Escenario 5. Corresponde al escenario 3 más un volumen de regulación adicional para la intrusión de 100 hm<sup>3</sup>.

En la figura adjunta se muestran los porcentajes que en cada mes se ha producido intrusión salina para los escenarios 1, 2 y 4. Se observa que la detracción de caudal supone ligeros aumentos en el número de veces en que existe intrusión, estando en promedio presente la cuña en el escenario 2 durante 9,3 meses al año, lo que significa un aumento respecto a los 8,7 meses de la situación de referencia. Con un volumen de regulación adicional de 100 hm<sup>3</sup>/año (escenario 4) ese aumento se paliaría significativamente, bajando la cifra promedio a 9 meses por año. Los peores meses son los de diciembre a febrero, donde se producen las mayores detracciones.

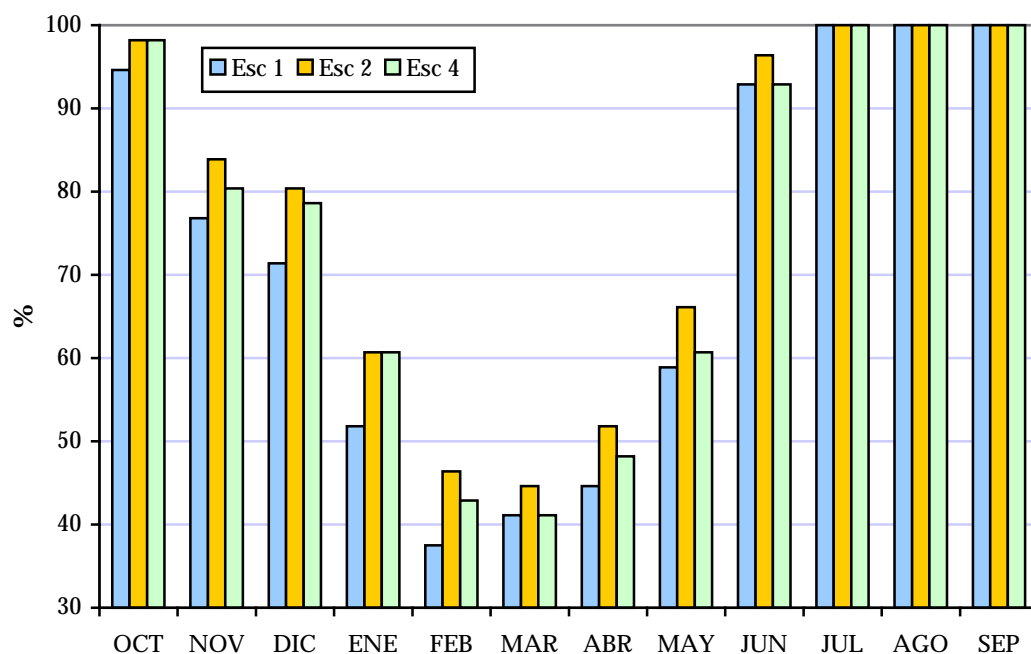


Figura 9. Porcentaje de veces en cada mes que se dan las situaciones de intrusión en los escenarios 1,2 y 4

En la figura siguiente se muestran los porcentajes correspondientes a los escenarios 1, 3 y 5. Se observa que el efecto negativo sobre la intrusión de la detracción



correspondiente al escenario 3 es mucho más acusado que con la detracción del escenario 2 y que no es suficiente para paliar estos efectos con un volumen de regulación adicional de 100 hm<sup>3</sup>. En el escenario 3 la cuña está presente en promedio durante 9,6 meses y se puede bajar solo hasta 9,4 meses mediante el volumen de regulación mencionado.

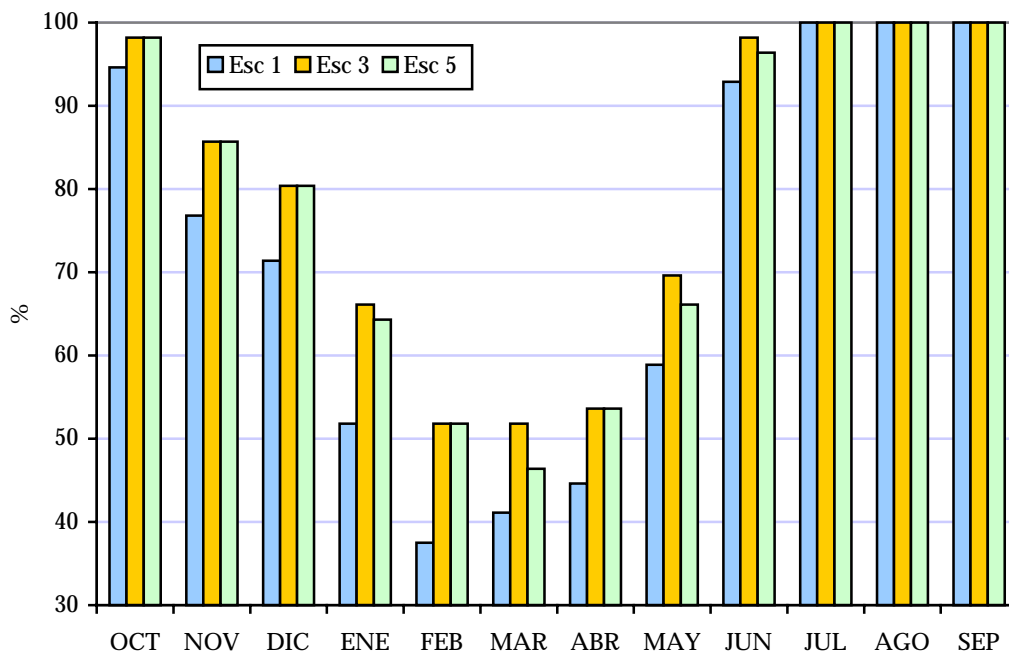


Figura 10. Porcentaje de veces en cada mes que se dan las situaciones de intrusión en los escenarios 1,3 y 5

#### 4.3.5.5. CONCLUSIONES

- En el delta del Ebro el régimen de penetración de la cuña salina viene principalmente regulado por el caudal del río y la morfología del cauce.
- El avance o retroceso de la cuña salina no depende linealmente del caudal del río, manteniéndose el límite de la cuña constante para amplios rangos del caudal que circula por el delta. Esto se debe principalmente a la irregularidad y singularidades del fondo del cauce.
- Existen unas pocas posiciones en las que el límite de la cuña salina se mantiene confinado para amplios rangos de los caudales circulantes. Básicamente éstas posiciones son tres: ausencia de cuña, cuando los caudales son superiores a 300 m<sup>3</sup>/s, penetración hasta la Isla de Gracia, cuando los caudales están comprendidos entre 100 y 300 m<sup>3</sup>/s, y penetración hasta Sapinya y Amposta, cuando los caudales son inferiores a 100 m<sup>3</sup>/s.
- Conocido el caudal circulante se puede calcular aproximadamente el tiempo medio de permanencia de la cuña salina en las diversas posiciones. En el periodo 1970/71 y 1995/96, la cuña ha estado presente cada año en promedio 6,6 meses, de los cuales en 1,2 meses ha superado la Isla de Gracia.

- Los incrementos en las demandas de agua y la restricción del caudal ecológico previstos en los Planes de cuenca, producirían una modificación de los caudales que circulan por el delta. El efecto conjunto sería doble: a) uno positivo, que es la contención de la cuña salina en la Isla de Gracia, impidiendo que ésta penetre hasta Amposta, cuando históricamente lo hacía 1,2 meses al año (debido a la restricción del caudal ecológico) y b) otro negativo, al aumentar el porcentaje de veces que la cuña alcanza la Isla de Gracia, pasando de 6,6 meses a 8,7 meses al año (debido a la disminución de caudales al aumentar la demanda).
- Una posible detracción de caudales en el delta significaría un aumento respecto a la situación anterior del porcentaje de veces que la cuña alcanza la Isla de Gracia.
- La detracción de un caudal correspondiente a una capacidad de toma de 1.000 hm<sup>3</sup>/año en régimen uniforme y a un volumen de regulación de 500 hm<sup>3</sup>, supondría ligeros aumentos en el número de veces en que existe intrusión hasta la isla de Gracia, aumentando en promedio la presencia de la cuña desde 8,7 meses al año en la situación de referencia anteriormente citada, hasta 9,3 meses. Con un volumen de regulación adicional de 100 hm<sup>3</sup>/año ese aumento se paliaría significativamente, bajando la cifra promedio a 9 meses por año.
- En consecuencia, no parece que las posibles transferencias externas impliquen un grave problema desde el punto de vista de la penetración de la cuña salina en el delta. Una adecuada gestión de los flujos circulantes, que tenga en cuenta el régimen de umbrales mostrado, podría minimizar posibles efectos adversos y mejorar las condiciones hidrológicas desde el punto de vista ambiental.

#### **4.3.6. CAUDALES MÍNIMOS EN EL BAJO EBRO**

##### **4.3.6.1. INTRODUCCIÓN**

En este apartado se analizan los caudales mínimos ambientales del curso bajo del Ebro empleando las nuevas metodologías de cálculo de caudales básicos de mantenimiento, actualmente en desarrollo en nuestro país.

Puesto que la principal afección ambiental de la detracción de caudales de un río es la disminución de los flujos aguas debajo de la derivación, se ha considerado conveniente realizar este estudio específico del bajo Ebro, sin perjuicio de la adopción en nuestros análisis de los sistemas hidráulicos de los caudales mínimos actualmente vigentes, que son los formalmente adoptados por la planificación hidrológica de la cuenca del Ebro.

Como es obvio, los resultados obtenidos deben contemplarse con la necesaria cautela, teniendo en cuenta que se trata de técnicas aún en desarrollo, no consolidadas, y no sancionadas científicamente por la evidencia empírica. Pese a ello, se ha considerado oportuno realizar este estudio con el objetivo de obtener los órdenes de magnitud proporcionados por estas nuevas metodologías, contrastar sus resultados con los caudales vigentes, y verificar si estos resultados pueden alterar sensiblemente las determinaciones y balances de la cuenca del Ebro.

El análisis de las especificaciones de caudales mínimos permite asimismo englobar muchos otros aspectos ambientales de los ríos de los que este caudal es la principal variable controladora.

#### **4.3.6.2. ANTECEDENTES**

La necesidad de establecer un régimen de caudales cuyo fin sea el mantenimiento de condiciones aceptables de diversidad biológica y paisajística en los ríos viene planteándose desde hace décadas, como reacción a las cada vez mayores presiones ejercidas sobre los medios fluviales y sus consecuentes procesos de degradación ambiental.

Como se indicaba en el Libro Blanco del Agua, existe una muy extensa literatura técnica sobre el asunto, aunque las herramientas existentes para la determinación de caudales mínimos se han desarrollado, en general, para ríos o tramos de ríos con unas condiciones climáticas e hidrológicas diferentes de las que se dan en nuestro entorno mediterráneo, siendo sólo aplicables a las cuencas de la cornisa cantábrica, y siempre con la necesaria adecuación a ese contexto. Además, esas herramientas se han desarrollado con frecuencia atendiendo a aplicaciones concretas para determinadas especies de peces, lo que, sin perjuicio del carácter indicador del estado de calidad ecológica que puedan tener estas especies, ha conllevado una cierta visión reduccionista de la naturaleza, asimilando los caudales mínimos a los requeridos para el mantenimiento de la pesca fluvial.

En España se han puesto a punto algunas técnicas para la determinación de caudales ecológicos con planteamientos de partida que se apoyan en metodologías ya desarrolladas, como es el caso de la adaptación a la península ibérica de la metodología IFIM, o bien en el análisis detallado de ciertas comunidades biológicas, como es el caso del denominado, por sus autores método Vasco, u otros procedimientos. Todas estas propuestas tienen en común el que no han sido llevadas a la práctica de forma sistemática y metódica, con su correspondiente validación empírica en distintas condiciones ambientales, por lo que no se puede asegurar que los resultados perseguidos con su puesta en práctica vayan a ser necesariamente conseguidos. La dificultad no reside obviamente en la calidad técnica de las propuestas, sino en la falta de programas globales científico-técnicos, a medio y largo plazo, y extendidos a los distintos y muy variados ambientes hidrobiológicos representativos de país, en los que se haya estudiado la situación previa, se haya puesto en práctica la propuesta de caudales de que se trate, y se hayan medido parámetros cuyo resultado tenga una relación causal demostrable con los caudales dotados.

Entre las más recientes aproximaciones al problema, y con el objetivo de disponer de forma rápida y generalizada de regímenes de caudales con fines ambientales en el territorio español, se está desarrollando el denominado método de los Caudales Básicos de Mantenimiento.

Este método se ha aplicado al curso bajo del río Ebro con el objetivo de determinar tales caudales mínimos.

Como se ha indicado, los resultados obtenidos deben contemplarse desde un punto de vista exclusivamente teórico, ya que no han sido llevados a la práctica en el campo y validados desde un punto de vista hidrobiológico. Pese a ello, cabe apuntar que existen fundadas razones para considerar tales resultados como mínimos razonables, desde el principio de la prudencia y cautela que debe regir cualquier propuesta con implicaciones ambientales. Dicho de otro modo, los resultados obtenidos se pueden considerar como suficientes para no alterar sensiblemente las condiciones ecológicas actuales, sin perjuicio de las incertidumbres que plantean tales predicciones sobre el funcionamiento de los ecosistemas.

Teniendo en cuenta que no se ha realizado una validación de los fundamentos conceptuales del método propuesto, se hace necesario profundizar en el desarrollo de la metodología utilizada antes de llevar a la práctica sus resultados concretos.

Seguidamente se describen estos fundamentos conceptuales y se expone su aplicación a nuestro caso concreto.

#### **4.3.6.3. METODOLOGÍA**

Los caudales ambientales se diseñan para mantener un nivel de funcionalidad biológica suficiente que asegure la continuidad de los procesos y las comunidades naturales existentes tanto en la ribera como en el medio acuático, cuando éste se ve afectado por actuaciones que modifiquen el régimen preexistente de circulación de flujos.

En el caso de los trasvases, que es el pertinente a los efectos de este Plan Hidrológico Nacional, la especificación de tales caudales debe llevarse a cabo en todos los tramos de río situados aguas abajo de los puntos de los que se deriven caudales hacia otras cuencas. Como ya se ha indicado, en nuestro caso, y a la luz de los resultados obtenidos en los diferentes análisis de este Plan Nacional, procede estudiar el curso del río Ebro en su tramo final, aguas abajo de Tortosa.

El principio inspirador del método de los caudales de mantenimiento es el estudio de las tendencias de variación de la distribución de los caudales más bajos obtenidos a partir del registro de los caudales medios diarios, y la localización del valor –que se denominará *caudal básico*– que representa el mínimo por debajo del cual las condiciones de habitabilidad biológica de un río pueden verse claramente limitadas.

El río Ebro, con longitud total de unos 3.100 km y cuenca hidrográfica de 85.000 km<sup>2</sup>, desemboca en el Mediterráneo formando un delta cuyas características se deben conservar debido, como se indicó, a su gran interés biológico y paisajístico, además de encontrarse protegido en gran parte de su territorio por su declaración como espacio natural protegido al amparo de la legislación de protección de la naturaleza. El Plan Hidrológico del Ebro así lo ha sancionado al incorporar entre sus determinaciones el objetivo de mantenimiento de un caudal mínimo orientativo en desembocadura de 100 m<sup>3</sup>/s, y remitir a estudios posteriores la definición más precisa, cualitativa y cuantitativa, de los caudales y condiciones ecológicas mínimas requeridas para este tramo.

#### 4.3.6.3.1. Tratamiento de los datos

La afección por regulaciones en el río, inmediatamente anteriores al tramo final de desembocadura (98 km aguas arriba), existe desde hace décadas con la construcción de las presas de Flix (1948, 11 hm<sup>3</sup> de capacidad), Mequinenza (1966, 1534 hm<sup>3</sup>) y Ribarroja (1969, 207 hm<sup>3</sup>).

Para la realización del estudio de caudales ambientales en el curso final del Ebro se han empleado los datos de caudales medios diarios registrados en la estación de aforos 09027 (Tortosa) situada aproximadamente a 40 km de la desembocadura y a 8 msnm.

El período de años con datos disponibles en la estación foronómica se inicia en el año 1912-13, aunque con diversas lagunas en los registros disponibles. Así, falta el período de años hidrológicos comprendido entre 1936-37 y 1950-51 ambos inclusive, y hay años en los que faltan registros durante meses enteros, incluyendo los de verano (años 1912-13, 1935-36, 1983-84 y 1984-85), o meses de verano sin algún registro diario (año 1988-89). También existen algunos años en los que únicamente faltan períodos diarios de datos en meses que no corresponden con los de estiaje y han podido ser completados con la media mensual interanual, en el caso de años anteriores a la afección del río inmediatamente aguas arriba de Tortosa (antes de 1948, año en que se terminó de construir la presa de Flix) como ocurre en 1916-17, 1918-19, 1920-21, 1923-24 y 1927-28. En otros casos, como febrero y marzo del año 1988-89, las lagunas han sido completadas con la media diaria del día anterior y posterior al requerido ya que la media interanual difiere en gran medida del orden de magnitud de los datos medios diarios que se han registrado.

Considerando los objetivos de este estudio, se han seleccionado los últimos 11 años comprendidos entre 1986/87 y 1997/98 ambos inclusive, por ser el período más reciente, representativo de la situación actual, del que se dispone de datos de registros de caudales diarios, aunque no sea un período consecutivo al faltar algunos datos en el año 1988/89, el cual se ha suprimido, debido a que las carencias de valores se dan en los meses de mayor estiaje, y su completado podría influir en el resultado final. Aunque resulte más apropiado trabajar con series de datos consecutivos, en este caso ha prevalecido el criterio de cercanía en el tiempo con un número suficiente de años, frente al de continuidad cronológica, ya que se ha considerado cada año como un suceso hidrológicamente independiente.

Las tablas siguientes muestran los datos básicos de la serie.



#### 4.3.6.3.2.1. Año hidrobiológico

Se debe establecer el mes en el que empiezan los años de las series de datos disponibles, de manera que éste no sea el mes con la media mensual de caudales medios diarios más baja, ni que contenga el mínimo caudal medio diario anual. El objetivo buscado es garantizar que el período de caudales más bajos está representado en su totalidad, recogién dose así los ciclos anuales hidrobiológicos.

La determinación del inicio del año hidrobiológico en este estudio se ha realizado con el análisis de los datos medios y mínimos mensuales de la serie. Se han tenido en cuenta los valores mínimos anuales siempre que existieran todos los datos mensuales a lo largo del año, o bien que, aunque no se dispusiera del año completo, no faltaran los caudales mensuales estivales, pues son los meses con mayor frecuencia de valores mínimos.

Los meses que cumplen las dos condiciones requeridas son diciembre, enero, febrero, abril y mayo. Se ha seleccionado como inicio del año hidrobiológico el mes de abril, pues corresponde a un mes de aportaciones abundantes, las frecuencias con que aparecen el mínimo caudal anual y la menor media mensual son ambas nulas, y además es, en principio, el mes de mayor actividad biológica.

#### 4.3.6.3.2.2. Caudal básico

Los datos de partida para determinar el caudal básico, son los caudales medios diarios registrados en la estación considerada, realizándose un estudio de la distribución de caudales básicos determinados con períodos incrementados en un año desde el más reciente hasta el que incluye todos los años hidrobiológicos disponibles para determinar el período de años en que se estabiliza el Caudal Básico, y para el cual se realiza el cálculo.

Como se observa en la figura, la estabilización se produce entre los 5 y 6 últimos años de la serie disponible, escogiéndose para la determinación del Caudal Básico los últimos 6 años ya que, a partir de este punto, las diferencias volumétricas existentes entre el cálculo con este período de años y el realizado aumentando el período con años sucesivos, no resultan ser significativas.

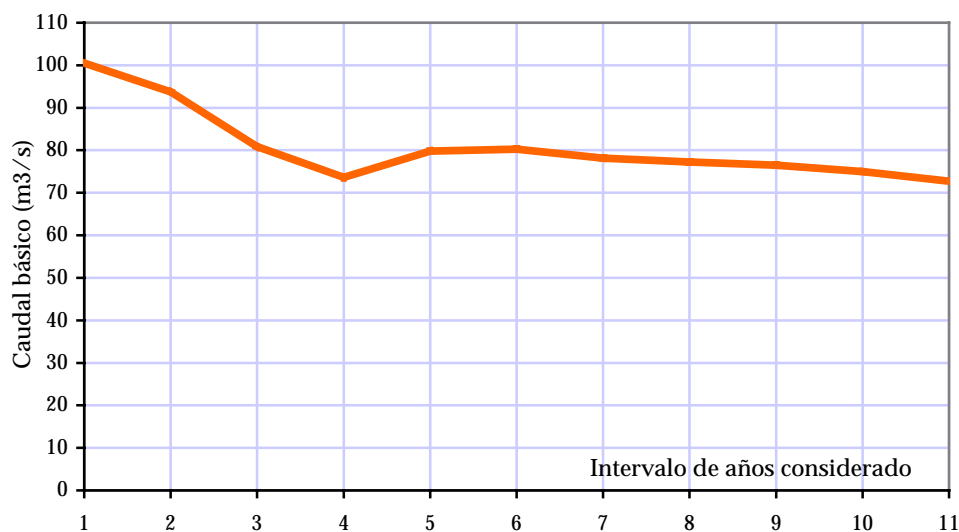


Figura 11. Estabilización del Caudal Básico

Como puede verse, el caudal básico obtenido en este estudio para el río Ebro en la estación foronómica de Tortosa ha sido de unos 80 m<sup>3</sup>/sg, lo que supone una aportación anual de 2.496 hm<sup>3</sup>/año.

Este caudal básico obtenido corresponde al determinado con un número de orden de media móvil igual 2. Dicho intervalo es muy bajo, considerando las precauciones que se toman para que el período de mínimos caudales esté suficientemente representado, estableciendo un mes de inicio para el año hidrobiológico. Por esta razón se ha comprobado que únicamente hay una diferencia del 6 % con el caudal básico calculado como media de los caudales determinados año a año, en los que el número de orden en el que se obtiene el incremento relativo es más variable: 2, 7, 8, 11, 21 y 51.

#### **4.3.6.3.2.3. Caudal de acondicionamiento**

Una vez calculado el Caudal Básico (Q<sub>b</sub>) y para validar su funcionalidad hidrobiológica, se debería aplicar su valor, mediante simulación hidráulica, a una serie de secciones transversales del río seleccionadas, dentro del tramo de estudio, por su representatividad de las características hidráulicas de éste. Esta simulación permitiría comprobar en que medida el Q<sub>b</sub> garantiza unas mínimas condiciones teóricas de habitabilidad en el tramo de estudio, y añadir un caudal complementario o Caudal de Acondicionamiento (Q<sub>ac</sub>) si éste fuera necesario.

La condición hidráulica que se ha impuesto para la determinación de dicho caudal ha sido la de mantener un calado mínimo (entre 15 y 25 cm) en las secciones de muestreo, que permita el paso de los peces. Aunque este criterio admite matices, es ampliamente admitido para la conservación de la habitabilidad piscícola y está contrastado empíricamente.

Dadas las condiciones hidráulicas del cauce, no se prevé que este criterio resulte crítico para caudales del orden del magnitud del obtenido, por lo que, sin perjuicio de posibles análisis posteriores de detalle, no se estima necesario aumentar el caudal básico con uno de acondicionamiento.

#### **4.3.6.3.2.4. Régimen de caudales de mantenimiento**

La suma del Caudal Básico y el Caudal de Acondicionamiento (Q<sub>b</sub> + Q<sub>ac</sub>) es el Caudal de Mantenimiento (Q<sub>man</sub>), definido como el mínimo caudal que debe circular en el momento del año que corresponda en los tramos estudiados. Para que el Q<sub>man</sub> establecido sea realmente funcional desde un punto de vista biológico, son necesarias dos condiciones adicionales:

1. El mantenimiento de la variabilidad intraanual de caudales circulantes. Ello supone que el Q<sub>man</sub> no debe ser un valor único y constante a lo largo del año sino que debe estar modulado en el tiempo de forma que se ajuste a la variabilidad natural. Esta condición se consigue calculando un factor de variabilidad temporal (F) que se aplica a nivel mensual sobre Q<sub>man</sub>.



2. El mantenimiento de los caudales generadores; es decir de los caudales de plena inundación del cauce o “bankfull”. La función de estos caudales es decisiva como motor de cambio y renovación hidráulica periódicas y, por tanto, de conservación de la biodiversidad en el ecosistema fluvial.

En este caso el caudal de mantenimiento, que debe ser afectado por el factor de variabilidad temporal, tiene el mismo valor que el caudal básico al ser nulo el caudal de acondicionamiento, es decir, ha de aplicarse la corrección estacional a los 80 m<sup>3</sup>/s de mantenimiento.

#### 4.3.6.3.2.5. Factor de Variabilidad Temporal y caudales de mantenimiento

Al objeto de acondicionar el caudal de mantenimiento a la variabilidad estacional existente en un río regulado, y siguiendo la metodología desarrollada, se toman los datos medios mensuales de los caudales registrados en los últimos diez años del período considerado, y se calcula un factor de variación mensual (F), consistente en considerar F=1 para el mes de menor caudal medio (Q<sub>min</sub>) y  $F = (Q_{reg}/Q_{min})^{0.5}$  para el resto de caudales medios mensuales (Q<sub>reg</sub>). El caudal de mantenimiento para cada mes se obtendrá de multiplicar F y Q<sub>man</sub>.

Para determinar el Factor de Variabilidad Temporal en el bajo Ebro se han utilizado los datos de caudales medios mensuales registrados en la estación de aforos de Tortosa durante el período comprendido entre los años 1986/87 y 1997/98. Los factores calculados para cada mes del año y los caudales de mantenimiento mensuales resultantes son los mostrados en la tabla.

	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Med. anual
Q <sub>reg</sub> (m <sup>3</sup> /sg)	388	325	239	162	127	140	217	313	428	545	459	346	307
FVT	1.75	1.60	1.37	1.13	1.00	1.05	1.30	1.57	1.83	2.07	1.90	1.65	
Q <sub>man</sub> (m <sup>3</sup> /sg)	140	128	110	90	80	84	104	125	147	166	152	132	121
Q <sub>reg</sub> (hm <sup>3</sup> )	1009	845	622	421	331	363	563	814	1113	1418	1194	900	9593
Q <sub>man</sub> (hm <sup>3</sup> )	363	332	285	235	208	218	271	326	381	431	395	343	3788

Tabla 4. Factor de variabilidad temporal y caudales mensuales de mantenimiento

La menor diferencia entre caudales de mantenimiento y registrados se presenta en el mes de agosto, que es el de máximo estiaje.

Los máximos y mínimos caudales de mantenimiento, así como los porcentajes que representan respecto a la media interanual del período para el que se han calculado (los seis últimos años del período considerado) son los mostrados en la tabla.

Medio Q <sub>man</sub> (m <sup>3</sup> /sg)	% medQ <sub>man</sub> s/ medQ <sub>reg</sub>	Máximo Q <sub>man</sub> (m <sup>3</sup> /sg)	% máxQ <sub>man</sub> s/ medQ <sub>reg</sub>	Mínimo Q <sub>man</sub> (m <sup>3</sup> /sg)	% mínQ <sub>man</sub> s/ medQ <sub>reg</sub>
121	39 %	166	54 %	80	26 %

Tabla 5. Q<sub>man</sub> medio, máximo y mínimo, y sus porcentajes correspondientes sobre el medio interanual

El régimen de Caudales de Mantenimiento, junto con los básicos y medios, es el representado en la figura.

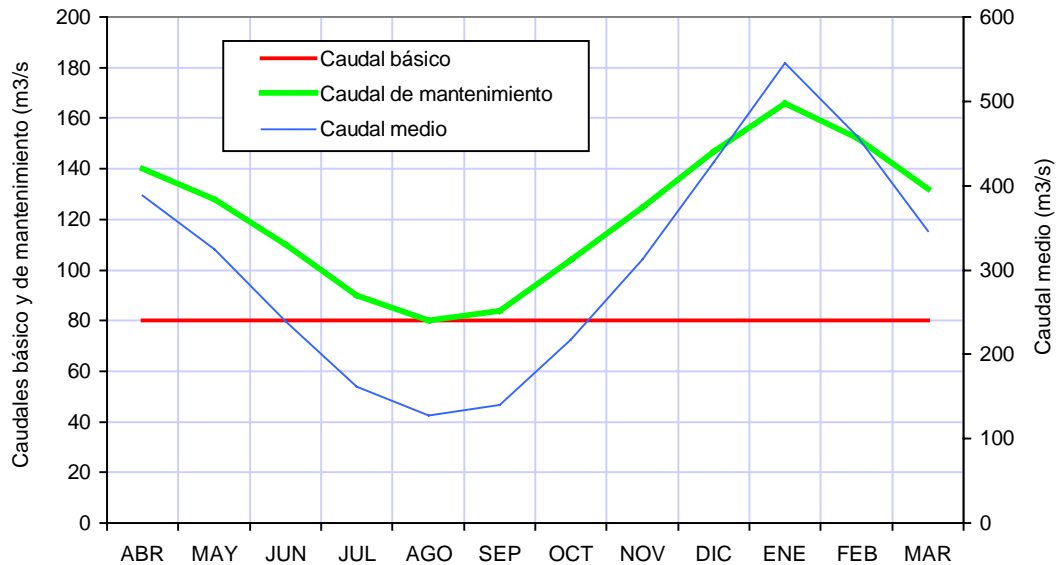


Figura 12. Régimen de Caudales de Mantenimiento

#### 4.3.6.3.2.6. Caudal Generador y Caudal Máximo

Como se indicó, para completar el régimen de caudales de mantenimiento se debe determinar un caudal lo suficientemente elevado como para ocupar plenamente el cauce ordinario del río y definirlo (“bankfull”). Este caudal, denominado Caudal Generador, se puede determinar ajustando una distribución de extremos a la serie de caudales medios diarios máximos de cada año, y obteniendo el valor correspondiente a un periodo de retorno de 1,58 años (Richards, 1982). El Caudal Generador es indispensable para conservar la composición granulométrica del sustrato y la morfología del cauce, así como para sanear la zona hiporreica del lecho, y para compensar la presión de colonización de la vegetación de ribera sobre el cauce de aguas bajas; por tanto es clave en la conservación de la identidad y el buen estado ecológico del río.

Como realmente se está estableciendo un régimen atenuado de caudales, el caudal generador está sobredimensionado para el mantenimiento del cauce ordinario que definiría ese régimen. Por ello, conviene disminuirlo en la misma proporción que tiene el caudal registrado medio interanual (ya que el caudal generador se ha determinado con el régimen registrado) y el caudal de mantenimiento ( $Q_{man}/Q_{reg}$ ). Para establecer la frecuencia de salida del caudal generador a lo largo del año, así como la duración de sus sueltas, es necesario realizar un análisis más detallado de los caudales históricos de avenidas y estudiar las condiciones geométricas del tramo fluvial que se analiza.

De la misma forma se debe proceder para determinar el valor de un caudal máximo, a partir del cual se pueden producir cambios morfológicos fundamentales en el cauce. Por esta razón se recomienda que en la gestión de los embalses, aguas arriba de Tortosa, no se realice ninguna suelta controlada que sobrepase este caudal. Una idea tentativa de este caudal máximo puede ser el correspondiente a un periodo de retorno de 25 años de los máximos diarios (Richards, 1982).

#### **4.3.6.4. CONCLUSIONES**

El volumen total que supone el régimen obtenido de caudales mínimos ambientales en el tramo final del Ebro, aplicando la metodología de caudales de mantenimiento, es próximo al 40% del caudal registrado en el periodo de análisis, y supone asimismo del orden del 20% de la aportación natural media total anual de la cuenca del Ebro, valor que, curiosamente, resulta consistente con el utilizado en el libro Blanco del Agua, donde en el análisis del sistema de utilización actual (en el que se identifican las zonas de superávit y déficit de recursos a nivel nacional), se estableció cautelarmente una reserva ambiental del 20% de los recursos naturales, que se detrae de los mismos para establecer los recursos potenciales utilizables en los sistemas de explotación.

Con relación al caudal mínimo fijado en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro, los resultados obtenidos son ligeramente superiores en media (121 frente a 100 m<sup>3</sup>/s), pero con una distribución estacional que hace que sean inferiores en los meses de julio, agosto y septiembre.

Ello implica que si se analizase el sistema del Ebro con esta especificación, el sobrante global medio anual sería algo inferior, pero habría mayores excedentes en los periodos críticos del verano. El balance final de estos efectos contrapuestos sobre las disponibilidades trasvasables es incierto, pero, dadas las magnitudes manejadas, puede afirmarse, sin lugar a dudas, que no alteraría sensiblemente los resultados obtenidos con la especificación de caudales vigente.

En cualquier caso, ha de reiterarse que el régimen de caudales ambientales obtenido tiene un carácter meramente indicativo, y sus resultados no se encuentran validados de forma empírica.

#### **4.3.7. CONCLUSIONES GENERALES**

El delta del Ebro es hoy un espacio con grandes valores naturales pero fuertemente antropizado, en el que las actividades endógenas y las exógenas, realizadas en toda la cuenca del río, han introducido significativas alteraciones desde mediados de siglo. El periodo 1960-80 parece ser el más adverso desde el punto de vista de los impactos ambientales sobre el delta, produciéndose desde entonces una relativa estabilización.

A la vista de los resultados parciales obtenidos en los diferentes epígrafes de esta sección, cabe concluir que una posible de detracción de caudales en el curso bajo, del orden de magnitud de lo previsto en este Plan Hidrológico, induciría una afección ambiental adversa en el delta del Ebro, pero de una intensidad en principio reducida, y que no llegaría a suponer un problema importante para la conservación de este ecosistema y el mantenimiento de sus importantes valores naturales asociados. Asimismo, no se prevé ningún efecto desfavorable para las actividades socioeconómicas de la zona.

Otros efectos antrópicos, generados en la propia cuenca o la zona, y no relacionados con las posibles transferencias externas, pueden dar lugar a impactos ambientales más adversos que los debidos a la mera derivación de caudales (vid., p.e., SEO/Birdlife [1997], Tabla 10, de niveles de sostenibilidad y factores críticos). El importante problema de la conservación de este espacio ha de considerarse, pues, en un contexto estratégico más amplio, en el que un posible trasvase de caudales en cuantías moderadas no es el elemento crítico, ni acaso de los de mayor importancia.