

PLAN HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL EBRO

Extracto del estudio sobre el régimen de caudales ecológicos en la desembocadura del río Ebro

Informado favorablemente por el Consejo del Agua de la Demarcación del Ebro el 4 de julio de 2013 y con la conformidad del Comité de Autoridades Competentes de 05 de julio de 2013, aprobado por el Consejo de Ministros el 28 de febrero de 2014 y publicado en el BOE el 1 de marzo de 2014

Autoridades competentes



 GOBIERNO DE ARAGON	 GOBIERNO de CANTABRIA	 Junta de Castilla-La Mancha
 Junta de Castilla y León	 Generalitat de Catalunya	 Gobierno de Navarra
 Gobierno de La Rioja	 EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO	 GENERALITAT VALENCIANA

ANEJO V DEL PLAN HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL EBRO

ESTUDIOS PREVIOS PARA LA APROXIMACIÓN TÉCNICA A LOS CAUDALES ECOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL EBRO

Versión 2.4

Informado favorablemente por el Consejo del Agua de la Demarcación del Ebro el 4 de julio de 2013 y con la conformidad del Comité de Autoridades Competentes de 05 de julio de 2013, aprobado por el Consejo de Ministros el 28 de febrero de 2014 y publicado en el BOE el 1 de marzo de 2014

APÉNDICE 9:
EL RÉGIMEN DE CAUDALES
ECOLÓGICOS EN LA DESEMBOCADURA
DEL RÍO EBRO

ÍNDICE

- 1.- Introducción
- 2.- Recopilación de caudales ambientales en la desembocadura de otros ríos
 - 2.1.- Ríos españoles
 - 2.2.- Ríos del mundo
- 3.- Estudios de caudales ambientales en la desembocadura del río Ebro
 - 3.1.- El plan hidrológico vigente
 - 3.2.- Recopilación de datos históricos mínimos
 - 3.2.1.- Información bibliográfica
 - 3.2.2.- Datos de la estación de aforos 27 del río Ebro en Tortosa
 - 3.3.- El Plan Hidrológico Nacional de 2001
 - 3.3.1.- Documentación previa
 - 3.3.2.- Estudio Oficina de Planificación Hidrológica de la CHE
 - 3.3.3.- Propuesta del Ministerio en la reunión técnica de Bruselas de 2003
 - 3.3.4.- Propuesta en alegaciones al Plan Hidrológico Nacional
 - 3.4.- Caudales ecológicos estudiados en el marco del Plan Integral de Protección del Delta del Ebro
 - 3.4.1.- Estudio previo del 2003
 - 3.4.2.- Propuesta IRTA
 - 3.4.3.- Validación biológica de la propuesta y discusión
 - 3.4.4.- Otros estudios relacionados con la propuesta del ACA
 - 3.4.4.1.- Método de Iszkowski y principado de Asturias
 - 3.4.4.2.- Análisis estadístico caudales-dominancia de especies autóctonas
 - 3.5.- Otros estudios
 - 3.5.1.- Aplicación del método del caudal básico por la Universidad de Lleida
 - 3.5.2.- Estudios de simulación hidráulica del cauce en 1863
 - 3.5.3.- Propuesta Universidad Politécnica de Madrid-COAGRET
 - 3.6.- Aplicación de la metodología de la Instrucción de Planificación
- 4.- Propuesta de régimen de caudales ambientales en la desembocadura del río Ebro contemplada en la Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro 2010-2015
 - 4.1.- Introducción
 - 4.2.- Imposibilidad de definir caudales ecológicos en sequías prolongadas
 - 4.3.- Régimen de caudales ecológicos en la masa de agua 463
 - 4.3.1.- Caudal mínimo del régimen de caudales ecológicos
 - 4.3.2.- Modulación mensual
 - 4.3.3.- Caudales de crecidas
 - 4.4.- Régimen de caudales ecológicos en la desembocadura del río Ebro.
 - 4.5.- Compatibilidad de los caudales ecológicos con otros aspectos ambientales del tramo bajo del río Ebro y del delta
 - 4.5.1.- Subsistencia y sedimentos
 - 4.5.2.- Modificación morfológica
 - 4.5.2.1.- Río Ebro desde Ascó hasta Tortosa
 - 4.5.2.2.- Delta del Ebro
 - 4.5.3.- Hábitat de las especies singulares
 - 4.5.4.- Efectos ambientales de los caudales aportados al Delta y a las Bahías

- 4.5.5.- Descargas subterráneas al delta
- 4.5.6.- Aporte de sales y nutrientes
 - 4.5.6.1.- Salinidad de las aguas superficiales
 - 4.5.6.2.- Evolución del pH
 - 4.5.6.3.- Evolución de la temperatura
 - 4.5.6.4.- Evolución de los fosfatos
 - 4.5.6.5.- Evolución de los nitratos
 - 4.5.6.6.- Conclusión final respecto a los nutrientes
- 4.5.7.- Macrófitos
- 4.5.8.- Cuña salina
- 4.5.9.- Componente eustática y cambio climático
- 4.5.10.- Navegación

5.- Conclusiones

6.- Bibliografía

ANEXOS

- I.- Recopilación bibliográfica sobre los caudales ecológicos normativos en el Delta de la Bahía de California
 - II.- Recopilación bibliográfica sobre los caudales ecológicos normativos en la cuenca del río Murray Darling (Australia)
 - III.- Recopilación bibliográfica sobre los caudales ecológicos normativos en la cuenca del río Colorado (USA-México)
 - IV.- Evolución durante tres crecidas de piezómetros cercanos al río Ebro
-

1.- INTRODUCCIÓN

El desarrollo legislativo español de los últimos años ha incluido un importante avance en la determinación de los regímenes de caudales ecológicos de los ríos. Los principales hitos a destacar son:

- Ley 11/2005 que modifica la Ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional (Gobierno de España, 2005). Se modifica el artículo 42.1.b.c' del texto refundido de la Ley de Aguas incluyendo la definición de caudales ecológicos como los que *“mantienen como mínimo la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera”*.
- Reglamento de Planificación Hidrológica (Gobierno de España, 2007). En el que:
 - + Se define caudal ecológico como aquel *“que contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico en los ríos o en las aguas de transición y mantiene, como mínimo, la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera”* y se establece que la definición de los caudales ecológicos se realizará en los planes hidrológicos.
 - + *“Los caudales ecológicos o demandas ambientales no tendrán el carácter de uso debiendo considerarse como un **restricción que se impone con carácter general a los sistemas de explotación**. En todo caso se aplicará también a los caudales medioambientales la regla sobre **supremacía del uso para abastecimiento** de poblaciones recogida en el artículo 60.3 del Texto Refundido de la Ley de Aguas”* (artículo 17).
 - + En el caso de sequías prolongadas podrá aplicarse un régimen de caudales menos exigente. Sin embargo esta excepción no se aplicará en la Red Natura 2000 o en la lista de humedales de importancia internacional de acuerdo con el convenio RAMSAR de 2 de febrero de 1971. En estas zonas se considera prioritario el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos, aunque se aplicará la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones (artículo 18).

Como se verá más adelante y conforme a esta norma, **el régimen de caudales ecológicos en el bajo Ebro no puede ser definido para situaciones de sequías prolongadas puesto que hay espacios de la red Natura 2000 y humedales RAMSAR relacionados con la dinámica del medio hídrico.**

- Instrucción de Planificación Hidrológica (Gobierno de España, 2008). En su apartado 3.4 se especifican los detalles sobre la metodología a aplicar para la determinación de los regímenes de caudales ecológicos.

Desde el momento en que se aprobó la instrucción de planificación, la administración hidráulica comenzó el desarrollo de estudios específicos destinados a la definición de los regímenes de caudales ecológicos en los ríos españoles. Este proceso culminará con la aprobación de los planes hidrológicos.

El objetivo de este informe es presentar la discusión de toda la información relativa a los caudales ecológicos del tramo final del río Ebro y expone la justificación técnica de la propuesta de un régimen de caudales ecológicos en este tramo que cumple con los requisitos establecidos en la normativa vigente.

2.- RECOPIACIÓN DE CAUDALES AMBIENTALES EN LA DESEMBOCADURA DE OTROS RÍOS

Antes de proceder a analizar la información de detalle sobre el tramo final del Ebro, se ha realizado una primera recopilación de los caudales ecológicos que se establecen actualmente en las normativas españolas y también en otros grandes ríos del mundo que pueden ser una referencia para el caso de la cuenca del río Ebro.

2.1.- Ríos españoles

Un primer elemento de interés se obtiene del análisis de la normativa de la Comunidad Autónoma de Cataluña, que en el año 2005 realizó un estudio de caudales de mantenimiento (ACA, 2005). Los resultados de este estudio fueron incluidos en el Plan sectorial de caudales de mantenimiento, aprobado en el año 2006 (Generalitat de Catalunya, 2006).

La comparación de los caudales ecológicos establecidos en este plan para la desembocadura de cada uno de los ríos pertenecientes a las Cuencas Internas de Cataluña con el caudal medio en régimen natural (Tabla I) indica que, a nivel medio, el caudal reservado para requerimientos ambientales en estos ríos es del 20 % del recurso en régimen natural estimado para cada cuenca. Este porcentaje oscila entre el 8,6 % para la cuenca del río Daró y el 28,9 % de la cuenca del Foix. La cuenca del río Llobregat, que es la más extensa tiene un requerimiento ambiental de 20 %.

Tabla I: Régimen de caudales ecológicos en la desembocadura de los ríos del Distrito de la cuenca fluvial de Cataluña

Cuenca	Superficie cuenca vertiente km ² (a)	Aportación régimen natural 1940-2008 (hm ³ /año) (a)	Aportación para caudales ecológicos (hm ³ /año) (b)	Porcentaje aportación ecológica respecto régimen natural (%)	Caudal mínimo el mes de menor caudal (m ³ /s) (b)	Porcentaje del caudal mínimo respecto al régimen natural (%)
La Muga	758	147	33	22,4	0,8	17,2
Fluvià	974	268	66	24,6	1,68	19,8
Ter	2955	816	173	21,2	4,4	17,0
Daró	321	43	3,7	8,6	0,089	6,5
Tordera	876	170	15	8,8	0,361	6,7
Besòs	1020	126	23	18,3	0,567	14,2
Llobregat	4957	676	139	20,6	3,52	16,4
Foix	310	9	2,6	28,9	0,064	22,4
Gaià	423	24	5,1	21,25	0,126	16,6
Francolí	853	45	6,5	14,4	0,163	11,4
Riudecanyes	72	5	1,2	24	0,03	18,9
TOTAL	13519	2329	468,1	20,1	11,8	16,0

(a) Datos tomados de ACA (2010)

(b) Datos elaborados a partir de ACA (2005)

La implantación de los regímenes de caudales ecológicos en Cuencas Internas de Cataluña no ha concluido y su implantación futura no está exenta de problemas.

La comparación de los caudales ecológicos del mes mínimo con el caudal medio en régimen natural indica el nivel de exigencia en los meses de estiaje. A nivel medio se tiene que en la desembocadura de los ríos de Cuencas Internas de Cataluña, el caudal es el 16 % del caudal medio, con una variación que oscila entre el 6,5 % en el río Darò y del 22,4 % en el río Foix.

La planificación hidrológica para el horizonte 2010-2015 ha incluido una propuesta de regímenes de caudales ecológicos en los principales ríos españoles. En la Tabla II se presenta un resumen de los caudales ecológicos en la desembocadura de los ríos españoles tomada de planes hidrológicos. Puede concluirse que la reserva por necesidades ecológicas es muy variable y oscila entre el 1,9 % del Júcar y el 23,3 % del río Miño. Con respecto al caudal del mes en el que el caudal ecológico es menor se tiene que este oscila entre el 1,9 % y el 13,7 % del caudal medio anual.

Tabla II: Caudales ecológicos en la desembocadura de los principales ríos españoles incluido en los borradores de los planes hidrológicos 2010-2015

Cuenca	Superficie cuenca vertiente km ²	Aportación régimen natural (hm ³ /año)	Aportación para caudales ecológicos (hm ³ /año)	Porcentaje aportación ecológica respecto régimen natural (%)	Caudal mínimo el mes de menor caudal (m ³ /s)	Porcentaje del caudal mínimo respecto al régimen natural (%)
Río Miño en desembocadura ^(a)	16.275	12.216	2.852	23,3	53,1	13,7
Río Júcar en azud de la Marquesa ^(b)	21.578	1.698	31,5	1,9	1	1,9
Río Guadalquivir en presa de Alcalá ^(c)	44.951	5.387	235	4,4	6,87	4,0

(a) Datos tomados de Confederación Hidrográfica del Miño (2011)

(b) Datos tomados de Confederación Hidrográfica del Júcar (2009)

(c) Tomado de Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2010). La aportación media en régimen natural para toda la cuenca del río Guadalquivir es de 7.043 hm³/año en su cuenca total de 56.952 km². En esta tabla se ha hecho referencia a la cuenca correspondiente a Alcalá puesto que es el último punto del río Guadalquivir en el que se da un valor normativo del caudal ecológico.

2.2.- Ríos de mundo

Se ha realizado una recopilación de información de los caudales reservados en otros deltas y estuarios a nivel mundial y que tengan una cierta similitud hidrológica con el río Ebro (Tabla III). Se ha consultado entre otras la información contenida en la página web de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y en páginas web de los organismos oficiales encargadas de la gestión del agua de las cuencas seleccionadas.

Se han analizado las cuencas del Garona (Francia), Po (Italia), El delta del río San Joaquín y Sacramento (California), del río Murray-Darling (Australia) y del río Colorado (USA-México). La comparación de los niveles de exigencia de los caudales ambientales entre distintos países y en distintas circunstancias hidrológicas siempre es un tema complejo. No obstante del análisis realizado puede concluirse que:

Tabla III: Reserva de caudales ambientales en la desembocadura de algunos ríos del mundo con similitudes hidrológicas con la cuenca del Ebro.

Cuenca	Superficie cuenca vertiente km ²	Aportación régimen natural (hm ³ /año)	Aportación para caudales ecológicos (hm ³ /año)	Porcentaje aportación ecológica respecto régimen natural (%)	Caudal mínimo el mes de menor caudal (m ³ /s)	Porcentaje del caudal mínimo respecto al régimen natural (%)
Río Garona (Francia)	51.500 ^(a)	21.700	3.154 ^{(b)(c)}	14,5	100	14,5
			1.325 ^{(b)(d)}	5,4	42	5,4
Delta río Po (Italia)	70.000 ^(e)	47.000 ^(e)	14.191 ^(f)	30,2*	450 ^(f)	30,2*
Río Sacramento ^(g) Delta de la Bahía de California	70.567	27.616	--	--	85-127 ^(h,i) 85-99 ^(i,j)	9,7-14,5 9,7-11,3
Río San Joaquín ^(g) Delta de la Bahía de California	82.880	2.220	--	--	20 ^(k)	28,4
Río Murray Darling (Australia) ^(l)	1.060.000	31.600	1.000 ^(m)	3,1	--	--
Estuadio río Colorado ⁽ⁿ⁾	637.000	22.075	826 ^(r,o)	3,7	15	2,1
			507 ^(o,p)	2,3	9	1,3

* Existen dudas acerca de su cumplimiento

(a) Tomado del SDAGE del Garona en: <http://www.eau-adour-garonne.fr/fr/quelle-politique-de-l-eau-en-adour-garonne/un-cadre-le-sdage.html>

(b) Son los caudales asignados a la estación de aforos de Tonneins tomados de http://www.hautes-pyrenees.pref.gouv.fr/atlas_eau_web/sirs_atlas_eau_ressource_eau.htm

(c) Corresponde con el caudal objetivo de estiaje ("Débit Objectif d'Étiage"), que son aquellos que permiten la coexistencia de todos los usos y el buen funcionamiento del medio acuático.

(d) Corresponde con el caudal de crisis ("Débit de Crise") que permiten el suministro de agua potable y la supervivencia de las especies presentes dentro del medio acuático.

(e) Tomado de Rusconi (2008)

(f) Tomado de Regione del Veneto (2012)

(g) Para más detalles de las fuentes consultadas ver el Anejo I.

(h) Son los caudales mínimos para la estación de aforos D-24 (RSAC101) del río Sacramento en Río Vista para los meses de septiembre a diciembre en años no críticos. El resto de meses del año no hay definidos caudales ambientales.

(i) Tomados de la Decisión del Derecho al Agua 1461:

http://www.waterboards.ca.gov/waterrights/board_decisions/adopted_orders/decisions/d1600_d1649/wrd1641_1999dec29.pdf

(j) Son los caudales mínimos para la estación de aforos D-24 (RSAC101) del río Sacramento en Río Vista para los meses de septiembre a diciembre en años críticos. Los caudales mínimos medio diarios circulantes en esta estación de aforos en el periodo 1955-2010 son:

Datos en m³/s

	oct	nov	dic	ene	feb	Mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
perc 10	214	218	281	298	340	374	297	250	262	289	297	289
perc 5	199	203	220	262	267	318	253	215	229	262	273	264
mín	113	155	156	187	172	157	124	133	164	201	200	153

(k) Son los caudales mínimos para la estación de aforos C-10 (RSAN112) del río San Joaquín en el aeropuerto Way Bridge, Vernalis. Este caudal se define en función del tipo de año (húmedo, encima de lo normal, debajo de lo normal, seco y crítico) y en los meses de febrero a junio (ambos incluidos) y para el mes de septiembre. La variabilidad es muy elevada y se ha optado por poner el caudal mínimo en condiciones críticas. Para más detalles consultar el Anejo I. Los caudales mínimos medios diarios circulantes en esta estación de aforos en el periodo 1955-2010 son:

Datos en m³/s

	oct	nov	dic	ene	feb	Mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
perc 10	24,97	30,29	28,86	33,43	36,37	35,43	24,11	21,26	15,05	12,32	13,49	17,91
perc 5	16,85	26,16	24,75	27,49	28,40	22,22	15,54	16,10	9,58	6,89	8,05	12,17
mín	6,23	7,34	2,83	16,40	13,74	6,09	1,94	5,17	1,91	1,03	0,86	3,17

(l) Para más detalles de las fuentes consultadas ver el Anejo II.

(m) La condición es que en tres años consecutivos el caudal medio anual sea mayor que 1.000 hm³/año. En situación actual el caudal medio del periodo 1895-2009 es de 5.100 hm³/año. Los años con menores aportaciones han sido 2008/09 con 0 hm³, 2007/08 con 50 hm³, 1902/03

con 60 hm³, 1914/15 con 80 hm³ y 1944/45 con 240 hm³. En el Plan de cuenca se ha establecido el objetivo de recuperar agua a partir de la aplicación de diversas medidas de gestión.

(n) Para más detalles de las fuentes consultadas ver el Anejo III.

(ñ) Corresponde al régimen de caudales mínimos establecido para los años medios

(o) Los caudales reales diarios mínimos medidos en la estación de aforos 08162000 del río Colorado en Wharton, cerca de la desembocadura en el estuario, en el periodo 1938-2011 son:

Datos en m³/s

	oct	nov	dic	ene	feb	Mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
perc 10	12,06	10,23	9,83	10,20	11,26	10,97	16,17	19,57	23,39	21,20	15,72	15,80
perc 5	10,06	8,76	8,60	7,97	8,80	9,29	12,40	15,58	20,00	18,06	12,40	12,80
mín	3,06	3,51	2,43	4,94	6,11	4,20	3,46	3,00	2,34	2,69	1,20	4,54

(p) Corresponde al régimen de caudales mínimos establecido para los años secos

- La propuesta de caudales mínimos en las desembocaduras de los ríos analizados varía entre las condiciones de un único caudal mínimo para todo el año, independientemente de que sea húmedo, medio o seco, como es el caso del río Garona, Po (y también el propuesto como orientativo en el plan del Ebro de 1998); hasta la propuesta que tiene en cuenta el mes, el tipo de año y el tipo de periodo como puede ser el del río San Joaquín (California).
- La magnitud de los caudales ambientales mínimos establecidos para los años secos, se encuentra entre el 2,3 % del caudal medio en régimen natural para el río Colorado en años críticos hasta el 14,5 % para el caudal mínimo ambiental y de gestión del río Garona. En el caso del río Po, aunque los caudales ecológicos están establecidos en un 30,2 %, existen incertidumbres de su grado real de cumplimiento.

3.- ESTUDIOS DE CAUDALES AMBIENTALES EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO EBRO

3.1.- El plan hidrológico vigente

El Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro de 1998 actualmente vigente (Gobierno de España, 1998 y 1999) establece en su artículo 33.3 una fijación **provisional** de caudales ecológicos mínimos para concesiones futuras en la que **“para la zona de la desembocadura se adopta orientativamente un caudal ecológico mínimo de 100 m³/s”**.

3.2.- Recopilación de datos históricos mínimos

3.2.1.- Información bibliográfica

La recopilación de datos históricos del Ebro en Tortosa aporta una buena referencia sobre los caudales mínimos que ha soportado el río Ebro. Los principales estudios que aportan información sobre este aspecto son:

- 1) **“Reconocimiento Hidrológico del valle del Ebro”** (De Mesa, 1865) en el que, para un verano de bastante abundancia de agua, se registra un caudal de 136 m³/s. En este estudio se apunta que el caudal mínimo en veranos más rigurosos aguas abajo de la desembocadura del Segre es 50 m³/s.

2) En el proyecto del embalse del Ebro (Lorenzo Pardo, 1918) se estudiaron los caudales de estiaje, especialmente el de 1912, que se estimaba como el más seco de los que se conocían hasta el momento. Los caudales en Fayón son del orden de 40-60 m³/s. Este mismo autor, en una conferencia celebrada en 1920 (Lorenzo Pardo, 1931, página 120) hace referencia al proyecto de navegabilidad del río Ebro e indica que los caudales de estiaje son de 75 m³/s en Xerta y de 20-25 m³/s en Tortosa y Amposta.

3) En Heraldo de Aragón (1935) se hace referencia a un caudal mínimo en Tortosa de 40 m³/s.

Estas referencias indican que el caudal mínimo a finales del siglo XIX y principios del siglo XX que se podía llegar a registrar en desembocadura era del orden de 20-50 m³/s. Este dato es confirmado con la información de la estación de aforos de Tortosa, que, como se verá en el apartado siguiente, en algunos periodos ha llegado a tener hasta menos de 10 m³/s.

Teniendo en cuenta los consumos estimados en la época y otras informaciones se estima que los caudales en verano en un hipotético régimen natural podrían ser del orden de 50-100 m³/s (CHE, 2008d).

3.2.2.- Datos de la estación de aforos 27 del río Ebro en Tortosa

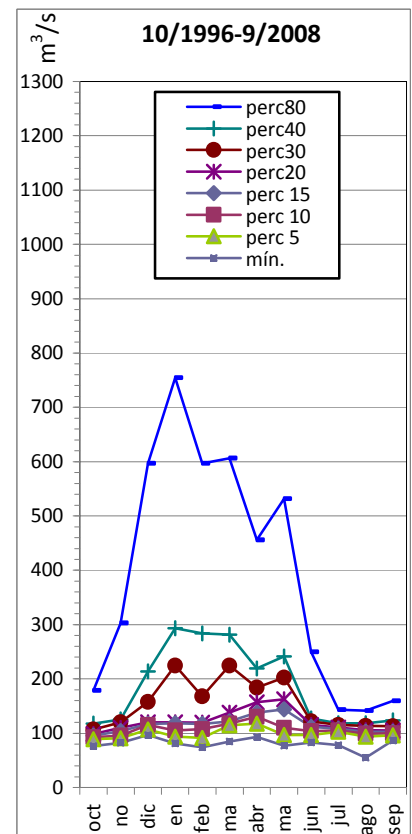
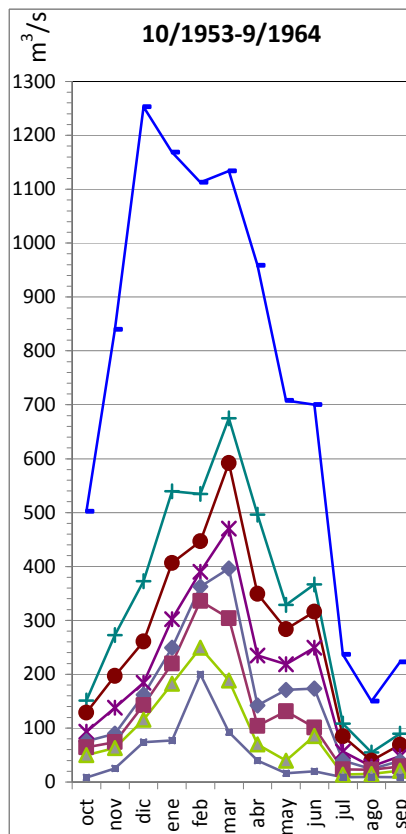
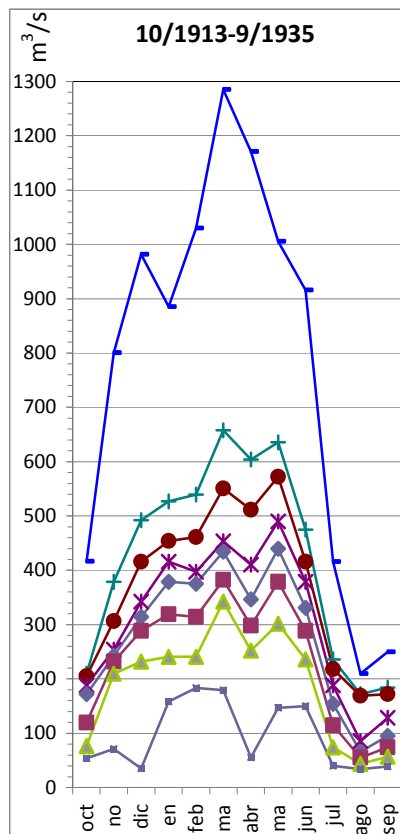
La Red Oficial de Estaciones de Aforo del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente dispone de la estación de aforos número 27 en el río Ebro el Tortosa, que aporta datos desde enero de 1912 hasta la actualidad. Sus datos pueden consultarse en <http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/>. El estudio de la evolución de la serie permite identificar distintos periodos en función del impacto de las actividades humanas en el río. Los periodos identificados son (CHE, 2002):

- Desde el origen hasta septiembre de 1953, régimen alterado por los regadíos tradicionales existentes hasta el momento.
- Desde octubre de 1953 hasta agosto de 1964, con un hidrograma más alterado que en el periodo anterior por un mayor regadío y regulación de la cuenca y una mayor actividad hidroeléctrica.
- Desde septiembre de 1965 hasta la actualidad, régimen muy alterado debido a la construcción del embalse de Mequinenza en 1966 con 1534 hm³ a lo que se le añade la posterior construcción del embalse de Ribarroja en 1969 con 210 hm³.

Atendiendo a los caudales mínimos medios diarios en los dos periodos anteriores a la construcción de la presa de Mequinenza, se pueden observar diferentes comportamientos (Tabla IV).

Tabla IV: Caudales mínimos medios diarios registrados en la estación de aforos 27 del río Ebro en Tortosa en distintos periodos.

	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	Anual
	m ³ /s												hm ³ /año
Periodo 10/1913-9/1935													
nº días	682	659	680	682	618	682	660	678	660	682	682	659	8024
Media	333	571	727	668	758	950	815	839	672	326	174	215	18482
perc 15	172	243	314	379	375	435	347	440	331	154	66	95	
perc 10	120	232	289	319	314	383	298	379	289	115	55	74	
perc 5	76	209	232	241	241	342	252	302	236	74	44	57	
mín.	54	71	35	158	183	179	55	147	150	40	34	39	
Periodo 10/1953-9/1964													
nº días	341	330	341	341	311	341	330	341	330	341	341	330	4018
Media	362	536	748	848	819	831	622	481	489	163	115	171	16199
perc 15	76	90	162	249	363	396	142	171	174	40	24	39	
perc 10	64	74	143	220	336	304	104	131	101	24	23	29	
perc 5	50	63	115	183	249	188	70	40	86	14	15	21	
mín.	9	25	74	77	200	93	40	17	20	9	9	9	
Periodo 10/1996-9/2008													
nº días	372	360	372	372	339	372	360	372	360	372	372	360	4383
Media	150	211	403	468	411	429	346	377	215	129	128	139	8937
perc 15	96	104	117	118	117	122	138	144	112	108	103	103	
perc 10	93	96	115	105	107	118	130	110	104	105	99	100	
perc 5	89	91	107	94	91	114	117	97	97	103	94	96	
mín.	76	83	97	81	74	85	93	77	83	78	55	87	



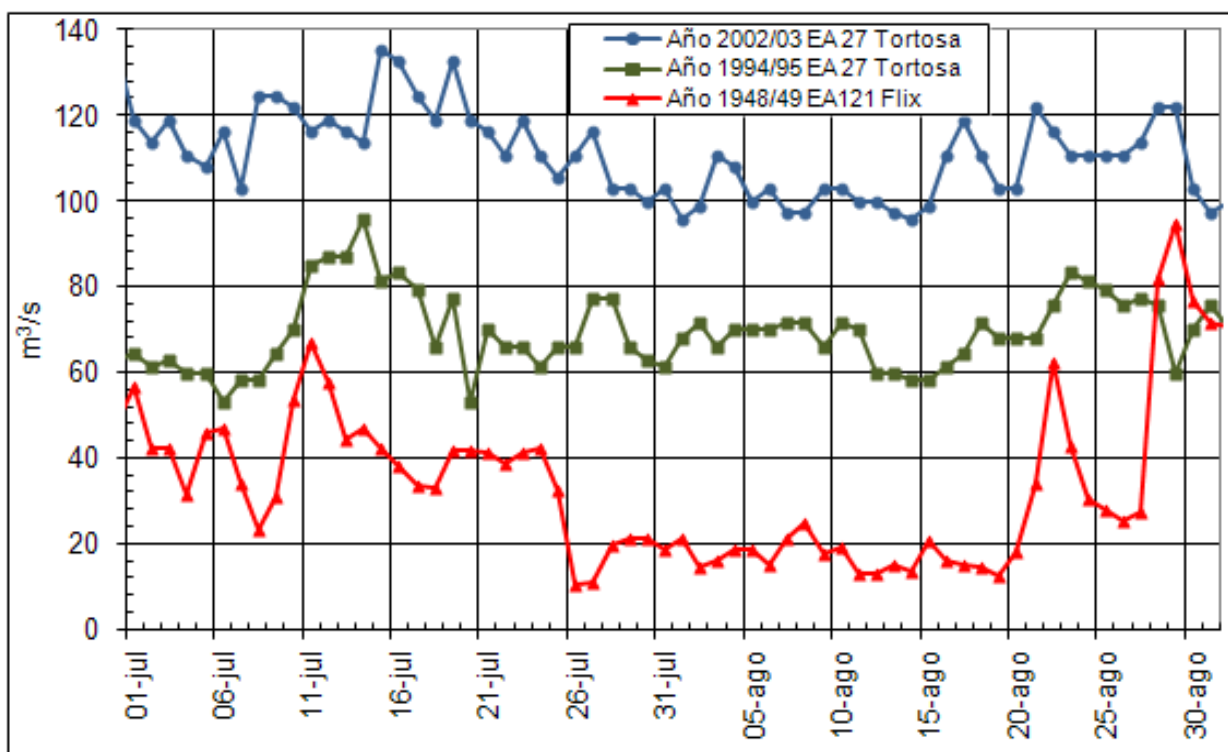
En el periodo oct/1913-sep/1935 los caudales mínimos registrados oscilan entre 34 m³/s (agosto) y 183 m³/s (febrero). En el periodo oct/1953-sep/1964 los caudales mínimos son notablemente menores debido a que es un periodo con un mayor consumo y una regulación creciente de agua en la cuenca, registrándose en Tortosa caudales mínimos de 9 m³/s (entre julio y octubre) y 200 m³/s (febrero).

El periodo oct/1996-sept/2008 es indicativo de los caudales en la situación actual, con los grandes embalses en funcionamiento y con el actual esquema de usos de agua de la cuenca. Se observa que desde 1996 se está manteniendo el caudal mínimo en torno a 100 m³/s, con lo que se han regularizado mucho los caudales mínimos en el tramo bajo del río Ebro.

Como muestra de la evolución de los caudales mínimos estivales en la parte baja del Ebro en último siglo se muestran en la Figura 1 los caudales circulantes en años secos durante los meses de julio y agosto. Como puede verse, en el año 1948/49 durante más de un mes hubo caudales inferiores en Flix (antes de las detracciones de agua de los canales de la margen derecha e izquierda del Ebro) de menos de 25 m³/s. En el año 1994/95, antes de la aprobación del plan hidrológico vigente, los caudales en Tortosa fueron en la mayor parte de los días menores que 75 m³/s. En el año 2002/03, ya aprobado en plan hidrológico de cuenca, los caudales mínimos de julio y agosto se situaron en torno a 100 m³/s.

Esta caracterización sugiere que para alcanzar mayores regímenes de naturalidad en el tramo bajo del río Ebro hay que tender hacia una mayor variabilidad en los caudales mínimos incluyendo los efectos de posibles estiajes (significativamente menores que los 100 m³/s que se mantienen en la actualidad) tal como históricamente ha sucedido sin que se hayan producido efectos ambientales adversos.

Figura 1: Evolución diaria de los caudales mínimos circulantes en años secos en las estaciones de aforo del bajo Ebro.



3.3.- El Plan Hidrológico Nacional de 2001

3.3.1.- Documentación previa (MIMAM, 2000)

En la documentación técnica para el Plan Hidrológico Nacional se estima el caudal mínimo por el método del caudal básico (MIMAM, 2000). Se aplica el método con la serie de la estación de aforos 27 del río Ebro en Tortosa en el periodo comprendido entre octubre de 1986 y septiembre de 1998, por ser los últimos 10 años hidrológicos de los que se disponen de datos medidos.

El hidrograma de caudales medios de mantenimiento supone una aportación anual de 3.788 m³/s (121 m³/s) con la siguiente modulación

Datos en m³/s

Oct	nov	dic	ene	feb	mar	Abr	may	jun	jul	ago	sep
104	125	147	166	152	132	140	128	110	90	80	84

Los caudales mínimos de la serie utilizada están afectados por la regulación de los embalses, por lo que puede entenderse que el régimen de caudales ecológicos obtenido de la aplicación del método a esta serie está sobrevalorado.

3.3.2.- Estudio Oficina de Planificación Hidrológica de la CHE

En el año 1999 la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Ebro realiza un estudio por el que aplica la metodología del caudal básico tomada de CEDEX (1998) a las estaciones de aforos de la cuenca del Ebro (OPH-CHE, 1999). Para la estación del río Ebro en Tortosa en el periodo de datos comprendido entre octubre de 1953 y septiembre de 1964 se obtiene un volumen anual requerido para satisfacer el régimen de caudales ecológicos de 2.793 hm³/año con la siguiente modulación:

Datos en m³/s

oct	nov	dic	ene	feb	Mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
76,7	97,7	114,0	118,6	114,0	116,0	98,6	86,5	88,6	53,7	45,3	55,1

Los datos de este estudio son inferiores a los calculados en MIMAM (2000) puesto que las series analizadas son las registradas en las estaciones de aforos antes de la puesta en funcionamiento del embalse de Mequinenza. Podría considerarse que es una estimación a la baja ya que la serie no está restituida a régimen natural y están afectados por los consumos de agua de la cuenca.

3.3.3.- Propuesta del Ministerio en la reunión técnica de Bruselas de 2003

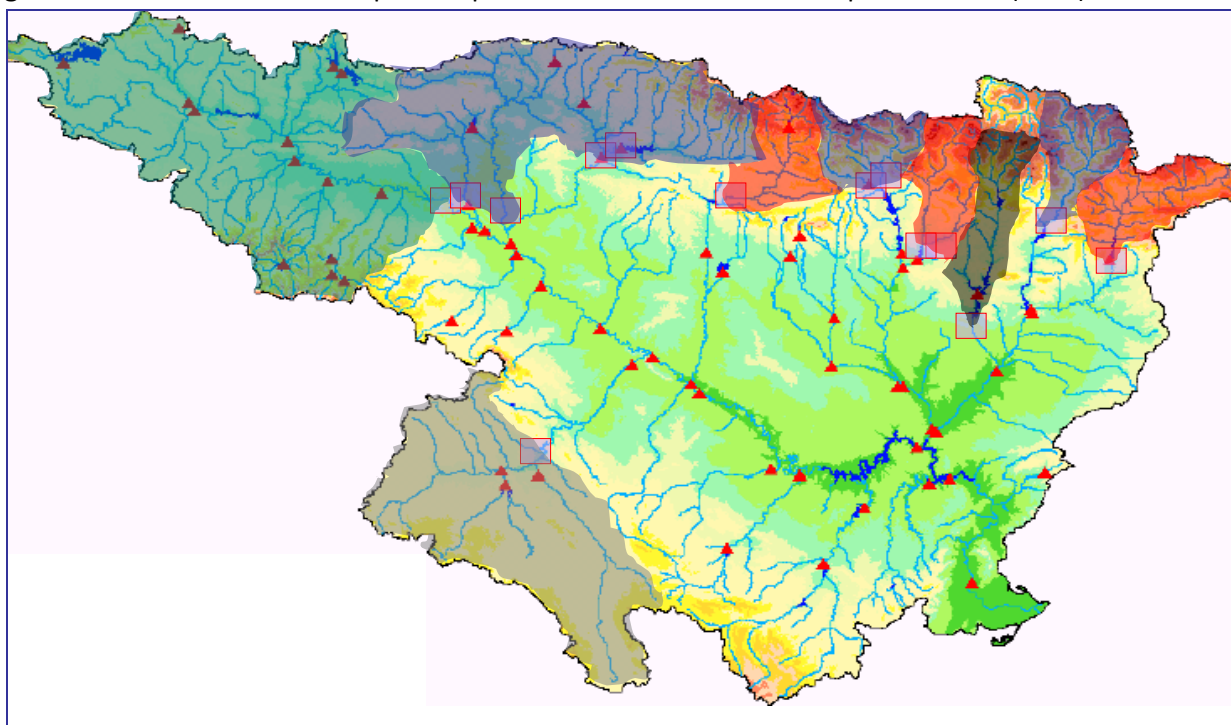
El 16 y 17 de octubre de 2003 se mantuvo una reunión técnica en Bruselas sobre el proyecto de trasvase de 1.050 hm³ agua del río Ebro al arco mediterráneo. En esta reunión el Ministerio de Medio Ambiente realizó una propuesta de determinación del caudal ecológico en el bajo Ebro a partir de la aplicación del método del caudal básico con datos diarios reales de la estación de aforos 27 del río Ebro en Tortosa en el periodo 1956-1969 (Sánchez, 2004). En esta propuesta se obtuvo un caudal básico de 71,5 m³/s. Considerando dos hipótesis para la definición del Factor de Variabilidad Temporal se proponen dos regímenes de caudales ecológicos con un volumen anual necesario para mantener las necesidades ambientales mínimas de:

- 3.522 hm³/año con el factor de variabilidad obtenido a partir de las series de registros reales.
- 4.581 hm³/año con el factor de variabilidad obtenido a partir de las aportaciones mensuales en régimen natural.

A lo que habría que añadir dos episodios de crecida controlada en mayo y octubre.

Esta propuesta es discutida en Sánchez (2004), que concluye que el método del caudal básico tiene grandes limitaciones para casos tan complejos como el tramo bajo del río Ebro. No obstante critica que la aplicación del método del caudal básico no ha sido adecuada puesto que la serie empleada se encuentra muy afectada por los usos de agua de la cuenca. Ello provoca que los caudales empleados en la propuesta del Ministerio sean notablemente menores que los que corresponderían en régimen natural.

Para demostrar los efectos de estas detracciones, Sánchez (2004) construye una serie denominada β a partir de datos de 13 estaciones de aforos principales y otras 33 empleadas como auxiliares para completar los datos de las primeras (Figura 2). Con estas estaciones se cubre el 60 % de la superficie de la cuenca y el 80 % de la aportación hidrológica. Mediante la suma de los caudales diarios de las 13 estaciones principales aplicándoles un retardo de entre 1 a 4 días que representa el retraso en llegar al agua a la desembocadura del río Ebro, se obtiene una serie de aportaciones diarias en el periodo 1950-1960. La principal conclusión es que en este hipotético régimen natural la media de los caudales mínimos absolutos anuales es 97 m³/s.

Figura 2: Estaciones de aforo empleadas para la construcción de la serie β en Sánchez (2004).

RIO	TIPO	ESTACION
EBRO	E. de referencia	EA 120
	E. auxiliares	EA 1; EA74; EA 50; EA 38; EA 36; EA 149; EA 26
EGA	E. de referencia	EA 3
	E. auxiliares	EA 71
ARGA	E. de referencia	EA 4
	E. auxiliares	EA 69
IRATI	E. de referencia	EA 65
	E. auxiliares	EA 64; EA 79; EA 66
ARAGON	E. de referencia	EA 101
	E. auxiliares	EA 62; EA 61; EA 63; EA 18; EA 170
JALON	E. de referencia	EA 9
	E. auxiliares	EA 55; EA 126
GALLEGO	E. de referencia	EA 123
	E. auxiliares	EA 12; EA 89; EA 59
CINCA	E. de referencia	EA 16
	E. auxiliares	EA 51; EA 40; EA 17
ESERA	E. de referencia	EA 13
	E. auxiliares	EA 128
ISABENA	E. de referencia	EA 47
	E. auxiliares	
N. PALLARESA	E. de referencia	EA 102
	E. auxiliares	EA 146
N. RIBAGORZANA	E. de referencia	EA 115
	E. auxiliares	EA 137; EA 119; EA 133; EA 97
SEGRE	E. de referencia	EA 111
	E. auxiliares	EA 114; EA 83

No obstante, a pesar de que Sánchez (2004) considera que el método del caudal básico no es adecuado para la determinación de los caudales mínimos ambientales para el delta del Ebro, realiza un ejercicio de aplicación con la serie β (periodo 1950/1960) obteniéndose los siguientes resultados:

Datos en m³/s

oct	nov	dic	ene	feb	Mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
148,2	190,1	232,0	241,6	255,1	271,1	249,9	255,4	248,4	170,3	130,6	139,4

Que supone un volumen anual para necesidades ambientales de 6.644 hm³/año.

La principal objeción al trabajo de Sánchez (2004) es que no dispone de datos reales para calibrar los caudales mínimos de la serie β , que son los determinantes a la hora de aplicar el método del caudal básico. La validación de la serie β es realizada con series obtenidas como resultados de modelos hidrológicos (serie en régimen natural del plan de cuenca de 1998 tomados de CHE, 1993) y la serie restituída en régimen natural obtenida de CHE (2003). Ambas series son resultado de estimaciones realizadas con gran cantidad de hipótesis previas y por ello no resultan válidas para calibrar una propuesta de serie diaria en régimen natural. Además, el periodo hidrológico de la serie β no contiene ningún año seco, por lo que es una serie cuyos estadísticos están muy sobrevalorados.

3.3.4.- Propuesta en alegaciones al Plan Hidrológico Nacional (Prat, 2001)

Durante el proceso de discusión del Plan Hidrológico Nacional, en Prat (2001) se realiza una propuesta basada en las funciones ambientales de los caudales con un volumen anual de 10.654 hm³/año desglosados como se indica en la Tabla V.

No se realiza una justificación técnica en Prat (2001) de los caudales propuestos, por lo que no cabe una discusión de los métodos aplicados para su obtención.

Tabla V: Propuesta de caudal ecológico de Prat (2001).

Mes	Nº días	Caudal para controlar la Cuña salina	Caudal de fondo	Caudal de crecidas	Caudal para evitar la anoxia	Caudal agro-ambiental ^(a)	TOTAL m ³ /s
oct	31	147				71	218
nov	30	147					147
dic	31	147					147
ene	31	147					147
feb	28		403				403
mar	31		403	569			972
abr	30		403	569			972
may	31	147					147
jun	30	147					147
jul	11	147					147
	20	147			250		397
ago	31	147					147
sep	10	147					147
	20	147			250		397
ANUAL	365 días	3500 hm³	3100 hm³	3000 hm³	864 hm³	190 hm³	338 m³/s 10.654 hm³/año

(a) Este caudal se especifica en el planteamiento de Prat (2001) como una reserva de 190 hm³/año para crecidas en otoño y a efectos de esta tabla se ha repartido esta reserva entre todos los días del mes de octubre.

3.4.- Caudales ecológicos estudiados en el marco del Plan Integral de Protección del Delta del Ebro

3.4.1.- Estudio previo del 2003

En el año 2003 se elaboró un borrador de documento de Plan Integral de Protección del Delta del Ebro (CPIDE, 2003) tal y como se establecía en la Ley 11/2001 del Plan Hidrológico Nacional (Gobierno de España, 2001). Este documento contenía un análisis y una propuesta de caudal ecológico en la cuenca del Ebro a partir de la consideración realizada en CPIDE (2003) de que la serie de caudales diarios de la estación de aforos 27 (río Ebro en Tortosa) para el periodo 1956/1969 es suficientemente representativa para la aplicación de los métodos hidrológicos de estimación de caudales ecológicos.

Se aplican distintos métodos hidrológicos a esta serie (Tabla VI) con la conclusión de que oscilan entre los 51,2 m³/s del criterio francés y los 174,6 m³/s del criterio italiano alto. Se concluye que el caudal de los 100 m³/s establecido en el plan de cuenca está del lado de la seguridad.

Se aplica el método del caudal básico a distintas series (1956-1963, 1956-1966, 1956-1969) obteniéndose caudales básicos de 70, 68 y 71 m³/s a los que se aplica diversas modulaciones obteniéndose un conjunto de propuestas posibles (Tabla VII)

Con toda esta información se concluye que el caudal de 100 m³/s establecido en la planificación hidrológica está del lado de la seguridad aunque sería interesante una punta de estiaje más severa. El Plan Integral fue presentado a la Comisión del PIDE en julio de 2003 con una propuesta de regímenes de caudales ecológicos del delta que podría oscilar entre 103 y 143 m³/s (Tabla VII) y dos eventos de crecidas, uno en primavera (con un caudal máximo de 600 m³/s durante 36 horas) y otro en el otoño (con dos picos de 1.200 y 1.000 m³/s durante 48 horas). Este Plan no fue aprobado en la reunión ya que, entre otras razones, el caudal ecológico propuesto no fue considerado suficiente (Alcácer-Santos, 2004).

3.4.2.- Propuesta IRTA

En ACA (2007) el IRTA (Instituto de Investigación de Tecnologías Agroalimentarias de la Generalitat de Cataluña) realizó un estudio para determinar los caudales ambientales en el tramo final del río Ebro. Este estudio fue encargado por la Agencia Catalana del Agua y el equipo técnico del PIPDE para la Comisión de Sostenibilidad de las Tierras del Ebro. En este estudio se aplican varios métodos hidrológicos con los que se obtienen regímenes mensuales con los resultados incluidos en la Tabla VIII.

Tabla VI: Caudales de mantenimiento (en m³/s) obtenidos por aplicación de distintos métodos de cálculo (CPIDE, 2003).

	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	año
Montanta	102						205						153
Arkansas	105	443					381			105			315
Utah	202						105						153
NEFM	110												110
NGPRP	97												97
0,25 QMA	128												128
7Q2	54												54
Francia	51												51
Auverge Limousin	165						127						146
La Vaudoise (Suiza)	70												70
Austria	175												175
Italia	168												168
Italia. 10.	51												51
Inglaterra y Escocia	102												102

Los métodos aplicados son (CPIDE, 2003):

- Montanta, método de Montana que equivale al 20 % del módulo anual entre octubre y marzo y el 40 % entre abril y septiembre.
- Arkansas, que es una derivación del método de Montana, que propone que entre noviembre y marzo el caudal ecológico es el 60 % de la media de los tres meses, entre abril y junio el 70 % y entre julio y octubre el 50 %.
- Utah, método de Utah que propone dividir el año en dos periodos (oct-mar y abr-sep) y utiliza las medias aritméticas de los valores más bajos de caudales medios mensuales, para cada mes dentro de cada uno de los periodos.
- NEF, New England Flow Method y conocido también como el método ABF (aquatic base flow). Se calcula como la media aritmética de los valores de la mediana calculada para los caudales medios diarios del mes de agosto, para cada año de la serie considerada.
- NGPRP, Northern Geat Plains Resource Program y se determina como el caudal igualado o superado el 90 % del tiempo sobre la curva de caudales clasificados obtenida una vez descartados los caudales extremos correspondientes a periodos secos y húmedos.
- 0,25 QMA, es una derivación más del método de Montana y es el 25 % del módulo anual.
- 7Q2, es uno de los métodos más antiguos aplicados en el sur de Estados Unidos. Es el valor correspondiente al caudal mínimo medio de siete días consecutivos, para un periodo de retorno de dos años.
- Francia, es el de la legislación francesa y es el mismo que el que se indica de forma orientativa en el plan de cuenca del Ebro de 1998. El caudal de mantenimiento es el 10 % del módulo anual aunque para módulos superiores a 80 m³/s se admite el 5 % del módulo. En la tabla se ha mantenido la opción más conservadora del 10 %.
- Auverge Limousin, que es el criterio de la legislación francesa en esta región, es el 1,3xQ₃₅₅ entre abril y septiembre y 1,7xQ₃₅₅ entre octubre y marzo.
- La Vaudoise (Suiza), criterio de la legislación cantona. Se deduce a partir de un algoritmo basado en el Q₃₄₇ conocido como "fórmula de Mathey".
- Austria, criterio de la legislación austriaca. Es el Q₃₀₀.
- Italia, criterio de la legislación italiana que equivale a 2 l/s/km².
- Italia. 10, criterio de la legislación italiana que equivale al 10 % del módulo anual.
- Inglaterra y Escocia, criterio de la legislación inglesa y escocesa que equivale al Q₃₄₇.

Tabla VII: Aplicación del método del caudal básico con diferentes hipótesis de cálculo realizadas en (CPIDE, 2003). Datos en m³/s

FVT	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	año
Periodo: 1956-63 Qmin= 44 m³/s Qb= 70 m³/s													
RN 1940-86	90	109	118	126	126	125	128	138	124	85	70	75	109
CN 1956-63	119	147	168	182	168	168	154	126	133	84	70	84	134
Mx 1950-00	101	126	140	151	156	147	140	130	124	85	70	82	121
R 1969-00	91	109	120	135	147	130	126	125	117	84	70	80	111
R 1986-98	91	110	128	145	133	116	123	112	96	79	70	74	106
Periodo: 1956-66 Qmin= 46 m³/s Qb= 68 m³/s													
RN 1940-86	87	105	115	122	122	121	124	134	120	82	68	73	106
CN 1956-66	122	156	177	183	170	183	163	136	136	81	68	81	138
Mx 1950-00	98	122	136	147	151	143	136	126	120	82	68	79	117
R 1969-00	88	106	116	131	142	126	122	121	113	81	68	77	108
R 1986-98	88	107	124	141	129	112	119	109	93	77	68	71	103
Periodo: 1956-69 Qmin= 52 m³/s Qb= 71 m³/s													
RN 1940-86	91	111	120	128	129	127	130	141	127	86	71	76	112
CN 1956-69	122	164	186	186	172	186	172	143	143	86	71	86	143
Mx 1950-00	103	129	143	154	159	150	143	132	127	86	71	84	123
R 1969-00	93	112	122	134	149	132	129	127	119	86	71	81	113
R 1986-98	93	112	131	148	136	118	125	114	98	81	71	75	109

Leyenda:

FVT= Factor de variabilidad temporal

Qmin= caudal mínimo medio diario de la serie utilizada

Qb= Caudal básico

Para el cálculo de los factores de variabilidad temporal (FVT) se ha empleado las siguientes series de referencia:

- RN 1940-86: serie en régimen natural tomada de CHE (1993) en el periodo 1940/1986
- CN 1956-63: serie casi natural de la estación de aforos 27 de Tortosa en el periodo 1956/1963
- CN 1956-66: serie casi natural de la estación de aforos 27 de Tortosa en el periodo 1956/1966
- CN 1956-69: serie casi natural de la estación de aforos 27 de Tortosa en el periodo 1956/1969
- Mx 1950-00: serie mixta tomada de la estación de aforos 27 de Tortosa en el periodo 1956/2000
- R 1969-00: serie regulada tomada de la estación de aforos 27 de Tortosa en el periodo 1969/2000
- R 1986-98: serie regulada tomada de la estación de aforos 27 de Tortosa en el periodo 1986/1998

Tabla VIII: Métodos hidrológicos aplicados en ACA (2007).

	$RVA_{NGPRP}^{(a)}$	$RVA_{p25}^{(b)}$	Hoppe	Tessman	Montana	$QBM_{serie\ \beta}^{(c)}$	$QBM_m^{(d)}$
Tipo datos	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual	Anual	Diario	Mensual
Serie usada	Sacra. ^(e)	Sacra. ^(e)	Sacra. ^(e)	Sacra. ^(e)	Sacra. ^(e)	Serie β ^(f)	Sacra. ^(e)
Periodo	1940-1985	1940-1985	1940-1985	1940-1985	1940-1985	1950-1959	1940-1985
Q mínimo mensual (m ³ /s)	119	164	158	227	173	150	241
Aportación ambiental anual (hm ³ /año)	9.509	12.624	16.361	8.474	7.728	7.419	11.903

(a) RVA_{NGPRP} : Range of variability Approach con el criterio de rango de percentil 10 de Northern Great Plains Resources Program

(b) RVA_{p25} : Range of variability Approach con el criterio de rango de percentil 25

(c) $QBM_{serie\ \beta}$ = Caudal básico de mantenimiento con la serie hidrológica denominada β

(d) QBM_m = Caudal básico de mantenimiento con datos mensuales

(e) Sacra.= Serie de caudales obtenida de la aplicación del modelo Sacramento de CHE (1993)

(f) Serie β = Caudales naturales diarios del tramo final del río Ebro (Sánchez, 2004) obtenida a partir de la restitución de datos de estaciones de aforo no afectadas en su régimen natural

En este documento se propone como mejor método para el bajo Ebro el RVA_{NGPRP} utilizando el rango de percentil 10. Este método ha sido empleado en el Northern Great Plains Resource Program (Estados Unidos) y se calcula como el percentil 10 % de las aportaciones estimadas en régimen natural para cada mes del año. Estos valores se les asignan al año medio y para calcular los caudales ambientales para los años secos y húmedos se aplica un factor en función de la desviación con respecto al percentil 50 de los percentiles 25 y 75 para cada mes, respectivamente. De esta manera se obtiene la propuesta:

Datos en m^3/s

	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Seco	87	135	248	285	327	276	336	396	252	167	116	103
Medio	119	202	359	388	436	360	428	500	342	198	150	135
Húmedo	207	317	449	468	511	526	569	623	453	254	187	210

A nivel de volúmenes anuales suponen una aportación de $7.149 \text{ hm}^3/\text{año}$ para los años secos, $9.482 \text{ hm}^3/\text{año}$ para los años medios y $12.517 \text{ hm}^3/\text{año}$. Esta propuesta también fue incluida en el estudio CHE (2007a) y también fue recogida por la Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA, 2006).

Las principales objeciones al método planteado son que emplea una metodología que no ha sido considerada como una referencia en los ríos españoles, que los métodos hidrológicos seleccionados son los que dan mayores caudales mínimos y que la serie empleada es del periodo 1940/85, mientras que las instrucciones de planificación recomiendan el uso del periodo más seco (1980/2006).

3.4.3.- Validación biológica de la propuesta y discusión

En ACA (2008a) se realiza una validación del régimen de caudales ecológicos planteados en ACA (2007). Para realizar esta validación se emplean métodos de simulación del hábitat tal y como indica la Instrucción de Planificación. Las características de la simulación realizada como representativa del bajo Ebro son:

- + Tramo de referencia: tramo de 2,4 km situados aguas abajo del azud de Cherta
- + Especie de referencia: Saboga (*Alosa fallax*). Esta especie habita el bajo Ebro en su época de freza (de mediados de marzo a finales de junio). Durante el siglo XX la producción fue en descenso, notándose especialmente a partir del año 1950-55 (todavía sin embalses) y siendo la década de máximo esplendor de captura la de los años 40 (en la que los caudales en época estival eran muchos días menores que $100 \text{ m}^3/\text{s}$). Las principales causas del descenso de las sabogas fue el empeoramiento de su calidad, la proliferación de especies no autóctonas y la sobreexplotación del medio natural (Boquera y Quiroga, 2001). Desde hace una década la población de la saboga está teniendo una importante recuperación.
- + Curvas de preferencia: elaboradas específicamente para el tramo analizado a partir de observaciones acústicas y visuales tomadas mediante recorrido en barca en la única época en que la saboga se encuentra en el río Ebro (de abril a junio). En estas curvas se observa que las velocidades preferentes para la freza son elevadas (entre 1 y $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$) y las profundidades preferentes son superiores a 2 m.

Mediante la aplicación del modelo de simulación de hábitat se simula para distintos caudales el hábitat empleado por la saboga (Tabla IX).

Tabla IX: Porcentaje de hábitat potencial útil para la saboga con distintos caudales circulantes en el tramo aguas abajo del azud de Cherta (ACA, 2008a).

	Tipo año	Abril		Mayo		Junio	
		m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%
Natural	medio	660	100	609	100	400	100
	seco	463	83	424	80	263	66
Real	húmedo	273	51	469	86	317	80
	medio	254	47	381	73	243	61
	seco	191	34	239	45	235	58
PHCE ^(a)		100	15	100	15	100	20
Propuesta CSTE ^(b)	húmedo	569	94	623	101	453	111
	medio	428	78	500	90	342	81
	seco	336	63	396	75	252	63

Cumple el límite del 50 % de hábitat que establece la instrucción de planificación

No cumple el límite del 50 % de hábitat que establece la instrucción de planificación

(a) PHCE= Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro de 1998

(b) CSTE= Comisión de Sostenibilidad de las Tierras del Ebro (ACA, 2007)

Según ACA (2008a) las simulaciones realizadas permiten concluir que el caudal ambiental del bajo Ebro de 100 m³/s actualmente vigente (conforme al Plan Hidrológico de cuenca de 1998) es poco recomendable en un contexto de protección de la Saboga puesto que supone una reducción superior al 80 % del hábitat para su reproducción respecto a las condiciones naturales. También concluye que la propuesta de caudales ambientales de ACA (2007) supone una reducción del 15 % respecto a las condiciones naturales, mostrando un escenario satisfactorio desde el punto de vista de la conservación de la especie.

Sobre la metodología aplicada en ACA (2008a) se puede plantear los siguientes aspectos:

- Se define el hábitat potencial útil máximo el que corresponde al año medio. Esta interpretación supone una clara infravaloración del porcentaje de hábitat potencial útil correspondiente a cada caudal. La Instrucción de planificación establece como orientación que para definir el hábitat potencial máximo el que corresponde al caudal definido por el rango de percentiles 10-25% de los caudales medios diarios en régimen natural de una serie representativa de, al menos 20 años (Apartado 3.4.1.4.1.1.3 de Gobierno de España, 2008).
- La selección de la saboga como especie de referencia para la aplicación del método de simulación de hábitat es también una cuestión discutida, considerándose que por la reducida utilización temporal que hace del río y del limitado uso del espacio no es recomendable tomarlo como referente. Este aspecto ha sido analizado en detalle en CHE (2009a) utilizando la información de referencia sobre la presencia de fauna piscícola en el bajo Ebro (López y Sostoa, 2001; CHE, 2005a; López et al., 2007; Ibáñez, 2009; CHE, 2010a). Recientemente se han realizado nuevos estudios de peces en el bajo Ebro (CHE, 2011a) y en toda la cuenca del Ebro (CHE, 2012a). Se llega a la conclusión de que la saboga no

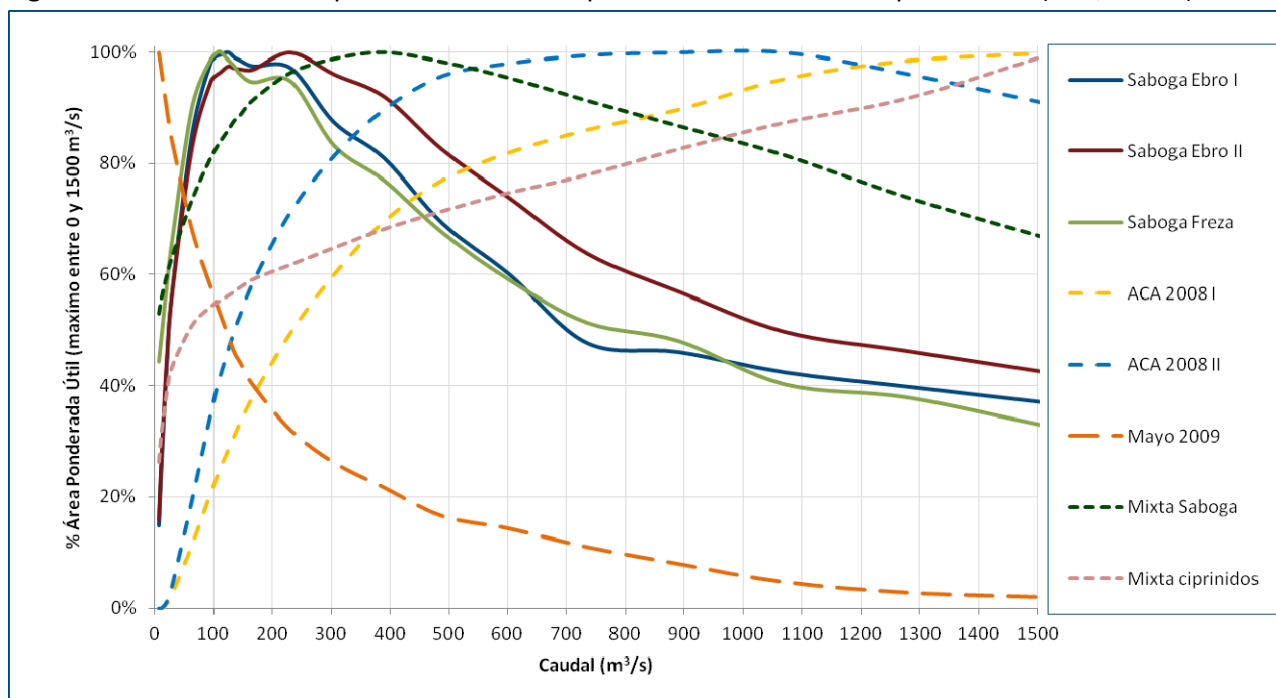
es un buen indicador del tramo bajo del Ebro, siendo mucho más adecuada la selección de tres especies presentes en los ríos españoles y cuyas curvas de preferencia son empleadas habitualmente en estudios de simulación de hábitat. Estas tres especies son: barbo común (*Barbus bocagei*), boga del Tajo (*Pseudochondrostoma polylepis*) y cacho (*Squalius pyrenaicus*).

- c) La definición de la curva de preferencia en una zona como la de Cherta es más una curva de uso que de preferencia. El azud de Cherta es una barrera infranqueable para la saboga por lo que las zonas donde se localiza están muy condicionadas.
- d) En ACA (2008a) se presenta una breve descripción sobre la metodología aplicada para obtener las curvas de preferencia de la velocidad, profundidad y sustrato. No se dispone de información de detalle sobre cómo se confeccionó esta curva. El hecho de que se estimen velocidades óptimas para la saboga de 1-1,5 m³/s es el factor clave que determina la preferencia de la saboga con caudales elevados, tal y como concluye (ACA, 2008a). Las curvas de preferencia para la saboga definidas en ACA (2008a) son muy diferentes que las curvas de preferencia estudiadas para las sabogas del río Ulla (cuena del Miño), que fueron obtenidas para los estudios de determinación de caudales ecológicos realizados por el Ministerio de Medio Ambiente (MARM, 2009) que las determina con estudios de campo basados en técnicas de pesca eléctrica y de observación superficial directa y buceo. Las curvas para el río Ulla proporcionan valores de idoneidad en tono a 0,3 m/s y profundidades óptimas de 0,4 m.

Para analizar en detalle las preferencias de la saboga en el bajo Ebro se realizaron estudios específicos durante los años 2010 y 2011 (CHE, 2010b; CHE, 2010c; CHE, 2011b) con marcajes de individuos de saboga y control durante el periodo en el que se encuentran en el río Ebro, permitiendo la localización de la posición de cada uno de los individuos marcados. Esta metodología se basó en las técnicas más avanzadas y permitió conjuntamente con una caracterización de la velocidad, profundidad y sustrato interpretar las preferencias de uso del tramo estudiado, que era el mismo que el simulado en ACA (2008a).

Los trabajos de marcaje realizado permiten concluir con una propuesta de curva de preferencia para la saboga del bajo Ebro basado en las mejores técnicas y que da las mejores preferencias a 5 m de profundidad y las velocidades presentan una distribución bimodal con dos máximos: a 0,25 y 0,75 m/s.

Las simulaciones de hábitat para la saboga considerando las distintas curvas de preferencia (OPH-CHE, 2011; CHE, 2011b) permiten evaluar la gran diferencia en los valores de hábitat que se obtienen con la aplicación de distintas curvas de preferencia. Las curvas de preferencia obtenidas a partir de los estudios de campo específicos (CHE, 2011b) permiten concluir de manera clara que con caudales notablemente inferiores a 100 m³/s se garantiza cumplen los criterios de hábitat establecidos en la instrucción de planificación (Figura 3).

Figura 3: Curvas de hábitat potencial útil-Caudal para diferentes curvas de preferencia (CHE, 2011b)

Descripción de las curvas de preferencia utilizadas:

- **Saboga Ebro I, Saboga Ebro II y Saboga Ebro III:** Son curvas obtenidas de CHE (2011b) con distintas correcciones de la probabilidad de posicionamiento.
- **ACA 2008 I y ACA 2008 II** son las curvas propuestas en ACA (2008a) con diferentes hipótesis de comportamiento ante el sustrato.
- **Mayo 2009** son las curvas obtenidas en MARM (2009)
- **Mixta saboga** considera la curva de profundidad de ACA (2008a) y de velocidad y sustrato de MARM (2009)
- **Mixta ciprinidos** considera la curva combinada de ciprinidos empleada en CHE 2009a a partir de las curvas propuestas por Capel (2000 y 2009).

3.4.4.- Otros estudios relacionados con la propuesta del ACA

3.4.4.1.- Método de Iszkowski y principado de Asturias

En Franquet (2004) se realiza una propuesta de caudal ecológico del delta del Ebro con un caudal mínimo de 239 m³/s.

Unos años después este mismo autor publica una monografía (Franquet, 2009) en la que revisa su propuesta de caudales proponiendo el siguiente régimen de caudales ecológicos para el río Ebro aguas abajo del azud de Cherta:

Datos en m³/s

oct	nov	dic	ene	feb	Mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
182	286	349	367	414	431	379	353	307	153	118	125

Y que supone un volumen anual para satisfacer las necesidades ecológicas de 9.075 hm³/año. Estos caudales los obtiene a partir de la aplicación del método de cálculo de caudales mínimos desarrollado por

ISZKOWSKI (se desconoce de su aplicabilidad a los ríos Mediterráneos) y mediante la aplicación del método del Principado de Asturias (basada en la legislación suiza). Estos valores son semejantes a los obtenidos en ACA (2007) lo que para el autor es un criterio de validación de su método.

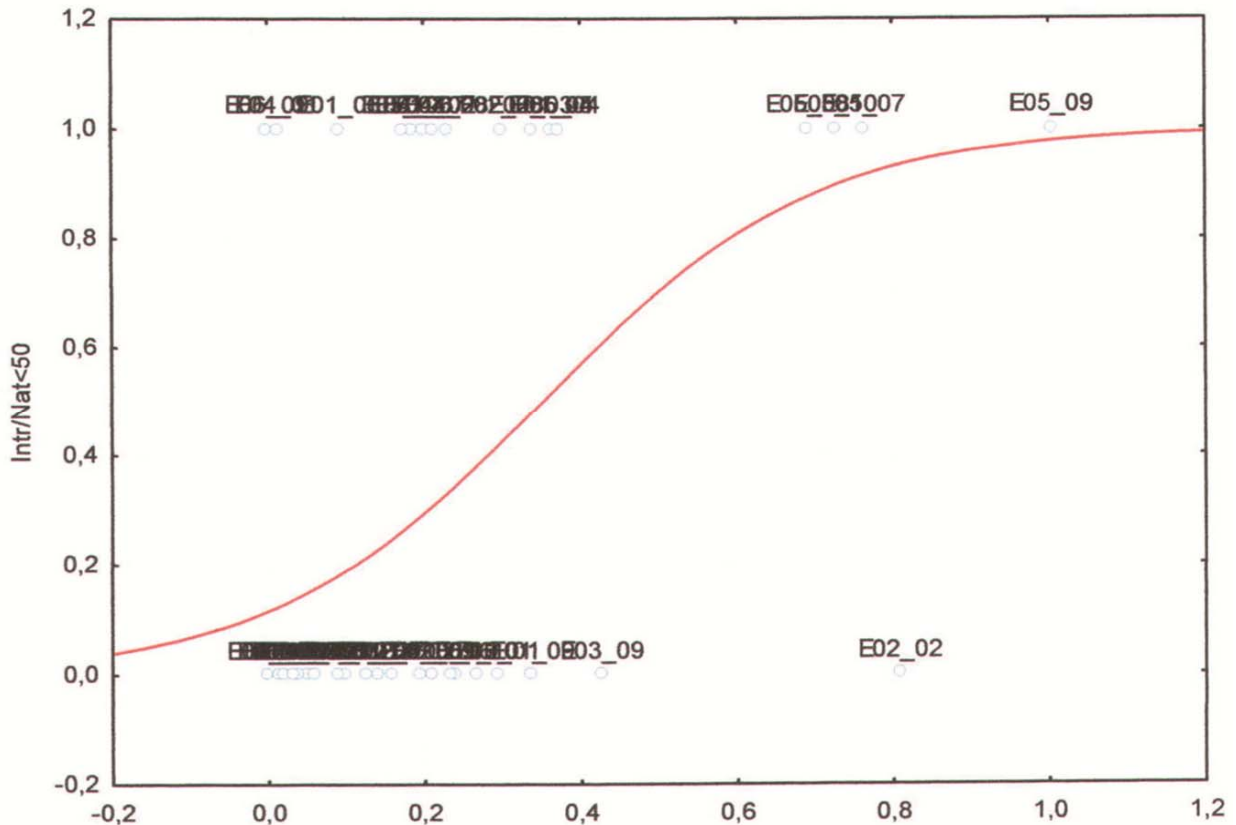
La principal crítica que se puede realizar de los trabajos de Franquet es que su argumentación no contempla los nuevos criterios de la planificación incorporados en la Instrucción de Planificación en el año 2008 y, se remite al empleo de metodologías poco contrastadas y al empleo de formulaciones de tipo general obtenidas de experimentaciones en otros países con unas condiciones hidrológicas que poco tienen que ver con el ambiente mediterráneo.

3.4.4.2.- Análisis estadístico caudales-dominancia de especies autóctonas

Con objeto de tener distintos criterios sobre los caudales ecológicos en el bajo Ebro la Confederación Hidrográfica del Ebro adjudicó un estudio a la Plataforma en Defensa del Ebro que a su vez esta Plataforma subcontrató el apoyo técnico del IRTA (CHE, 2008a). En este estudio se analizó la validez biológica de las distintas propuestas de caudales ambientales medios anuales para el tramo bajo del río Ebro: 100 m³/s del plan de cuenca de 1998; 121 m³/s de MIMAM (2000); 88,6 m³/s de OPH-CHE (1999); y 227 m³/s, 301 m³/s y 397 m³/s de los años secos, medios y húmedos propuestos por el ACA (2007). Para ello se caracteriza la comunidad piscícola del bajo Ebro a partir de pescas realizadas en cinco estaciones (Flix, Vinebre, Mòra, Ginestar y Xerta).

A partir de la realización de 50 muestreos con pesca eléctrica realizados en agosto de 2007 y 2008, se analiza el indicador discreto de la dominancia de especies autóctonas o alóctonas (0 si las introducidas son mayores que las autóctonas y 1 en caso contrario). Con ello se realiza un ajuste con la velocidad de la corriente en cada muestreo a una función de regresión (Figura 4). Se concluye que a partir de una velocidad de 0,4 m/s la curva de regresión ajustada da una relación de especies introducidas/especies autóctonas mayor que 0,5, lo que indica que la gestión del bajo Ebro ha de perseguir tener valores de velocidad media mayor que 0,4 m/s. A partir de la modelación hidráulica de los caudales evaluados se concluye que los caudales propuestos en ACA (2007) son los únicos que cumplen la función ecológica de proporcionar un hábitat que no favorezca las especies introducidas.

Figura 4: Correlación entre la velocidad de la corriente y el indicador discreto mayor presencia de especies autóctonas (1) o alóctonas (0) en 50 muestreos de pesca eléctrica en cinco tramos del bajo Ebro y curva de ajuste (CHE, 2008a).



Con respecto a la metodología aplicada en CHE (2008a) cabe decir lo siguiente:

- La mayor o menor presencia de especies autóctonas en los ríos es un indicador que depende de muchos factores. El análisis de la distribución de la fauna piscícola en la cuenca del Ebro realizado a partir de la recopilación de inventarios de peces realizados (CHE, 2012a) pone de relieve que, de forma global, en las cabeceras de los ríos hay una dominancia de especies autóctonas y conforme los ríos van avanzando en su recorrido se incrementa el número de especies alóctonas, especialmente en los ejes donde hay mayor población como por ejemplo el eje del Ebro. Está en discusión cuales son las medidas adecuadas para la reducción de especies alóctonas, pero parece que medidas como la extracción selectiva de estas especies son las más eficaces. En todo caso, a la vista de la información disponible, la relación de la dominancia de especies introducidas con la velocidad del agua en la cuenca del Ebro no es un aspecto evidente. La experiencia histórica indica que con caudales bajos como los producidos en la primera mitad del siglo XX, la fauna piscícola del río Ebro era autóctona. Por ello se pone en entredicho la correlación mostrada por este estudio.
- En CHE (2008a) se toman datos a partir de pescas eléctricas realizadas en las márgenes del río, no tomando información de las zonas centrales del cauce por limitaciones de la propia metodología

de muestreo. Este déficit de información puede provocar un sesgo que es necesario evaluar. Para realizar un análisis de detalle de la población de peces presente en un tramo representativo del bajo Ebro se realizó un estudio de reconocimiento cuantitativo de detalle de los peces y del hábitat en el tramo del río Ebro entre Ascó y Cherta (CHE, 2011a). Se aplicaron técnicas de pesca eléctrica desde embarcación, redes científicas multipaño bentónicas y pelágicas. Con todo ello se obtuvo el modelo batimétrico digital, la distribución en tres dimensiones de la densidad y biomasa de especies a partir de la distribución de abundancia, talla y peso por especies y hábitat y la velocidad y tipo de sustrato del río.

El análisis realizado en CHE (2011a) permite obtener información sobre la relación entre las especies, la velocidad y la profundidad de la corriente (Tabla X).

Tabla X: Relación entre el macrohábitat y las especies del bajo Ebro (CHE, 2011a). El límite profundo-somero es 1,2 m y rápido-lento es 0,7 m/s.

DENSIDADES (ind/m ²)								
Especie	Lento Profundo	Lento somero	Rápido profundo	Rápido somero	Densidad por especie	Abundancia		
	individuos/m ²					%	individuos	
Autóctonos	Anguila	0	0,2	0	0,2	0,057	13%	15.842
	Bagre	0,004	0	0	0	0,001	0%	385
	Barbo de Graells	0	0,014	0,012	0,014	0,009	2%	2.434
	Gobio	0,083	0,018	0	0,018	0,032	7%	9.074
	TOTAL	0,087	0,232	0,012	0,232	0,099	22%	27.735
Alóctonos	Alburno	0,379	0,194	0,293	0,194	0,293	66%	82.155
	Carpa común	0	0,017	0	0,017	0,005	1%	1.321
	Carpín	0	0,001	0	0,001	0	0%	75
	Gambusia	0,004	0,047	0	0,047	0,014	3%	4.060
	Gardí	0,004	0	0	0	0,001	0%	385
	Lucioperca	0,013	0,005	0	0,005	0,006	1%	1.559
	Pez sol	0,021	0,018	0	0,018	0,012	3%	3.314
	Rasbora	0,008	0,001	0	0,001	0,003	1%	818
	Rutilo	0,021	0	0	0	0,007	2%	1.906
	Siluro	0	0,008	0	0,008	0,002	0%	609
TOTAL	0,45	0,291	0,293	0,291	0,343	77%	96.202	
TOTAL	0,538	0,522	0,305	0,522	0,442	100%	123.937	
BIOMASA (g/m ²)								
Especie	Lento Profundo	Lento somero	Rápido profundo	Rápido somero	Densidad por especie	Abundancia		
	g/m ²					%	kg	
Autóctonos	Anguila	0	18,616	0	18,616	5,256	9%	1.473
	Bagre	0,123	0	0	0	0,04	0%	11
	Barbo de Graells	0	3,307	2,925	3,307	2,08	4%	583
	Gobio	0,619	0,135	0	0,135	0,24	0%	67
	TOTAL	0,742	22,058	2,925	22,058	7,616	13%	2.134
Alóctonos	Alburno	2,611	1,349	2,018	1,349	2,022	3%	567
	Carpa común	0	69,432	0	69,432	19,602	34%	5.493
	Carpín	0	1,022	0	1,022	0,288	0%	81
	Gambusia	0,006	0,068	0	0,068	0,021	0%	6
	Gardí	0,083	0	0	0	0,027	0%	8
	Lucioperca	0,058	0,07	0	0,07	0,039	0%	11
	Pez sol	0,744	0,345	0	0,345	0,34	1%	95
	Rasbora	0,048	0,004	0	0,004	0,017	0%	5
	Rutilo	2,266	0	0	0	0,738	1%	207
	Siluro	0	97,81	0	97,81	27,614	47%	7739
TOTAL	5,816	170,1	2,018	170,1	50,708	86%	14.212	
TOTAL	6,558	192,156	4,942	192,156	58,323	100%	16.345	

La mayor parte de las especies tienen una predilección por los macrohábitat lentos, independientemente de que sean autóctonas y alóctonas. Únicamente el Barbo de Graells, que es autóctono, parece tener una preferencia por los ambientes rápidos aunque en densidad la diferencia con los lentos es reducida. El resultado de esta caracterización de detalle apunta la idea de que no existe una correlación clara entre la velocidad de la corriente y la dominancia de especies autóctonas, al contrario de lo que se postula en CHE (2008a).

3.5.- Otros estudios

3.5.1.- Aplicación del método del caudal básico por la Universidad de Lleida

En CHE (2009a) se realiza una propuesta de régimen de caudales ecológicos en la desembocadura del río Ebro mediante el empleo del método del caudal básico con datos diarios de la estación de aforos de Tortosa entre 1931 y 1968, anterior a la puesta en explotación de los grandes embalses del bajo Ebro. Se obtiene un caudal básico de 87 m³/s.

A modo de propuesta preliminar previa a los estudios pendientes de realizar por el Ministerio de Medio Ambiente sobre caudales ecológicos en la cuenca del Ebro, se asciende este caudal de 87 m³/s a 100 m³/s y con la modulación correspondiente queda como:

Datos en m³/s

oct	nov	dic	ene	feb	Mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
117,5	134,5	149,3	150,3	139,2	136,9	153,9	148,4	127,9	100	100	100

Ello supone un volumen anual para satisfacer las necesidades ecológicas de 4.094 hm³/año a los que había que añadir las dos crecidas controladas para la reducción de los macrófitos.

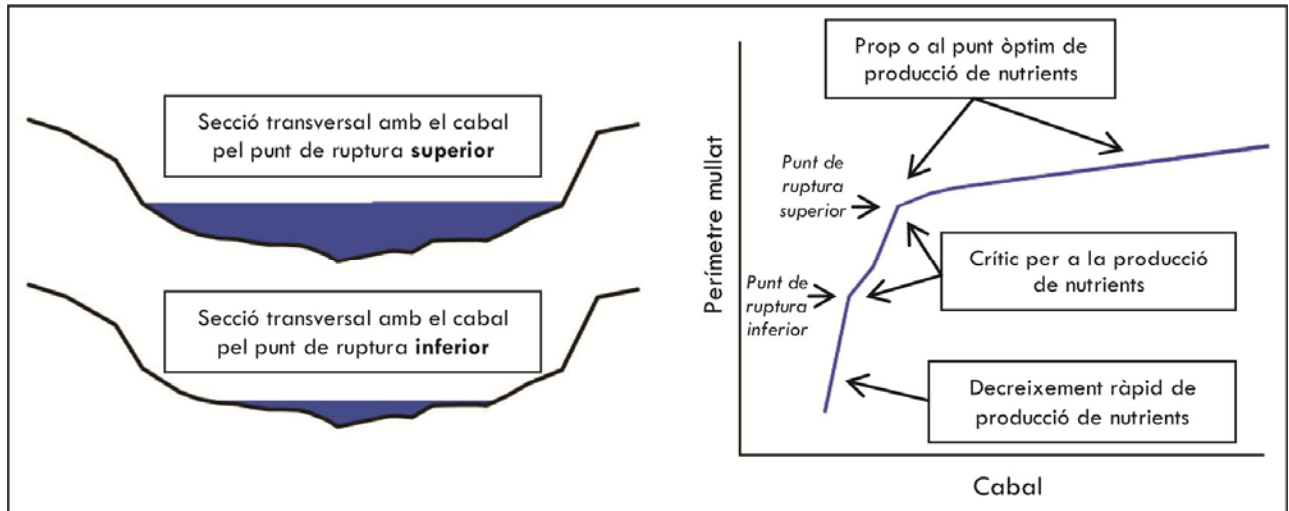
Se aplicaron métodos de simulación de hábitat con los caudales propuestos en el tramo entre Flix y Mora de Ebro considerando una curva de preferencia combinada que incluye al barbo común (*Barbus bocagei*), boga del Tajo (*Pseudochondrostoma polylepis*) y cacho (*Squalius pyrenaicus*), que desde el punto de vista biogeográfico son adecuadas para el tramo bajo del río Ebro. La conclusión principal de la aplicación de este tipo de modelos es que, como es lógico pensar para este tipo de ríos, “la disponibilidad de hábitat es difícilmente limitante, a partir de un determinado caudal mínimo (probablemente del orden de 60-70 m³/s) en un tramo con las características geomorfológicas e hidráulicas como el Bajo Ebro. Dicho de otro modo y a la vista de los resultados, sólo unos caudales del orden de 40-50 m³/s se comportarían como presuntamente limitantes” (CHE, 2009a; página 65). Todo ello hace sobradamente compatible la propuesta de caudales en CHE (2009a) con las necesidades de hábitat que establece la instrucción.

3.5.2.- Estudios de simulación hidráulica del cauce en 1863

En Capapé (2010) y Capapé y Martín (2012) se analiza la geometría hidráulica mediante la teoría del régimen de los perfiles transversales del río Ebro de 1863 tomados de De Mesa (1865) y se estiman los

caudales mínimos ambientales a partir de la aplicación del método del perímetro mojado. Este método se basa en la representación del caudal frente al perímetro mojado. En la forma de la curva al principio el perímetro mojado crece bruscamente y una vez que se llega a un determinado punto el ritmo de crecimiento decrece abruptamente. Este punto de cambio de la ruptura de la pendiente de la curva caudal-perímetro mojado es el caudal necesario para la protección del hábitat (Figura 5).

Figura 5: Representación esquemática del método del perímetro mojado (Capapé, 2010).

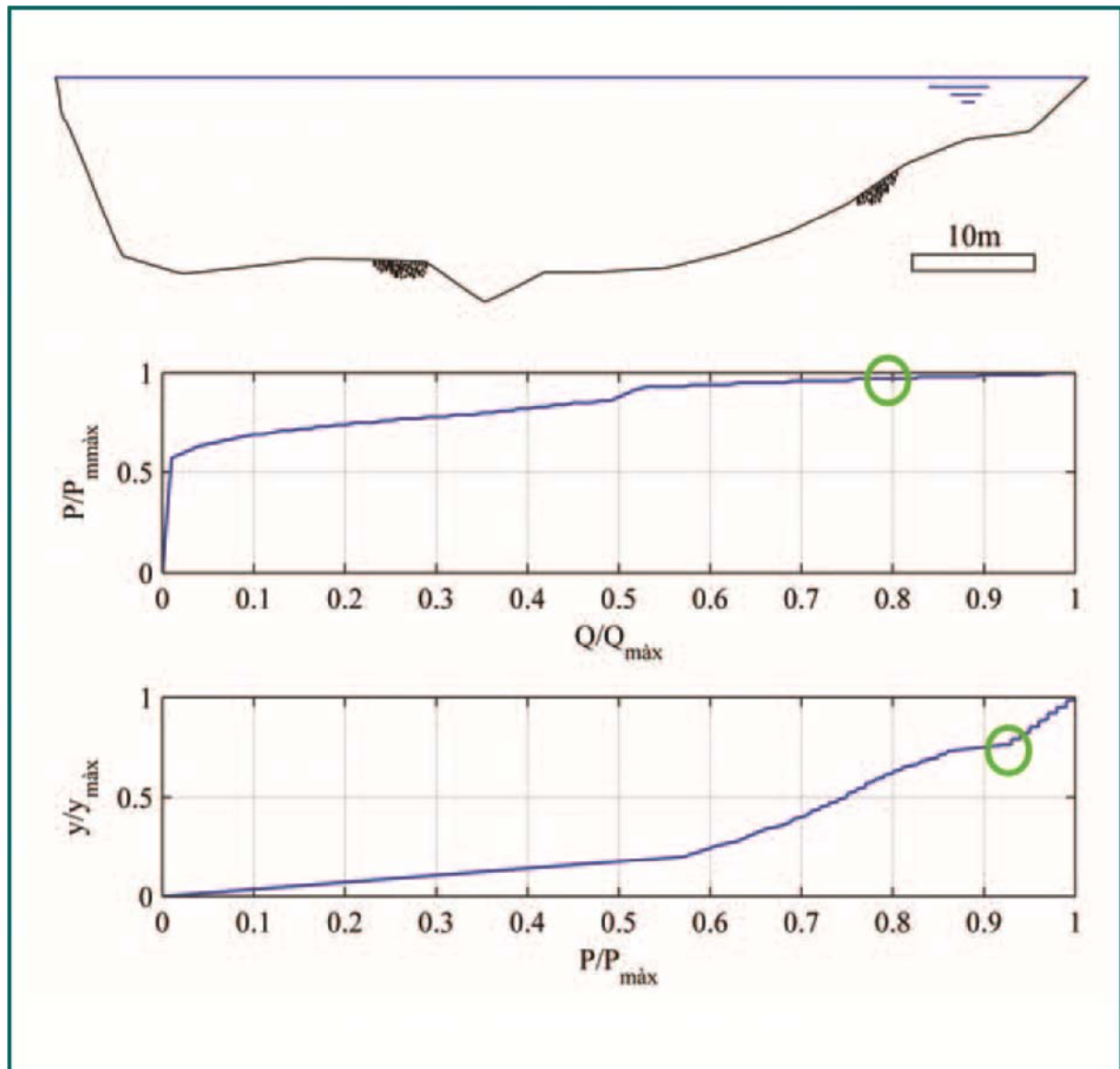


La aplicación para la sección del río Ebro en Flix realizada en Capapé (2010) permite obtener un caudal mínimo de $108,8 \text{ m}^3/\text{s}$, que corresponde al 80 % del caudal aforado en De Mesa (1865) (Figura 6).

Los principales aspectos que se pueden destacar de la investigación realizada por Capapé son:

- El método del perímetro mojado se integra dentro de los métodos hidráulicos para la determinación de caudales ambientales y este tipo de métodos no son considerados en la metodología para la determinación de regímenes de caudales ambientales expuesta en la Instrucción de Planificación.
- En la aplicación del método en el perfil longitudinal de Flix no quedan claramente expuestos los criterios por los que se selecciona el punto de ruptura a $P/P_{\text{máx}}=0,8$. A la vista de la Figura 6 parecería más lógica la selección del punto $P/P_{\text{máx}}=0,5$, lo que llevaría a recomendar un caudal mínimo ambiental de la mitad del registrado por Pedro de Mesa: $136/2= 68 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figura 6: Curvas caudal (Q)-perímetro mojado (P) y perímetro mojado (P)-calado (y) del río Ebro en Flix. El círculo verde indica el punto escogido para determinar el caudal mínimo (80 % del caudal máximo) (Capapé y Martín Vide, 2012).



3.5.3.- Propuesta Universidad Politécnica de Madrid-COAGRET

En el año 2007 la Escuela Técnica Superior de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid realiza para la Coordinadora de Afectados por Grandes Embales (COAGRET) y con financiación de la Confederación Hidrográfica del Ebro un estudio (CHE, 2007b) en el que aporta criterios para la implantación de caudales ambientales en la cuenca del Ebro. Se realiza una propuesta metodológica que se basa en la aplicación de un método hidrológico a la serie de caudales diarios. Para los años secos se toma el percentil 10 de la media móvil más pequeña del caudal que ha circulado por el río durante 90 días consecutivos en cada uno de los años del periodo considerado. Para los años normales se procede de la misma manera pero con la media móvil de 30 días. Los resultados obtenidos se deben de validar con métodos de simulación de hábitat.

La aplicación del método hidrológico para a la estación 27 del río Ebro en Tortosa da los siguientes resultados:

Datos en m³/s

	oct	nov	dic	ene	feb	Mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Año seco	57	104	134	155	153	199	181	160	124	61	45	49
Año normal	94	170	219	252	248	324	294	260	209	100	73	80

Que supone una reserva para necesidades ambientales de 3.733 hm³ para años secos y 6.093 hm³ para años normales y un caudal mínimo en los meses de estiaje de 73 m³/s para los años normales y 45 m³/s para los años secos.

3.6.- Aplicación de la metodología de la Instrucción de Planificación

Una vez que se aprobó la instrucción de planificación en el año 2008, el entonces Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino adjudicó un estudio para determinar los caudales ecológicos de los ríos de la cuenca del Ebro. El estudio se titula: "Consultoría y asistencia para la realización de las tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de la demarcación hidrográfica del Ebro y de las demarcaciones hidrográficas del Segura y Júcar. Documento técnico correspondiente a la demarcación hidrográfica del Ebro" (MARM, 2010). Su finalización está pendiente de que se realice el proceso de concertación, aunque ya está finalizada la fase técnica en la que se determinan los regímenes de caudales ecológicos. El resumen de los datos técnicos obtenidos del estudio se ha incluido en el Anexo V de la memoria del Proyecto de Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro (CHE, 2012b).

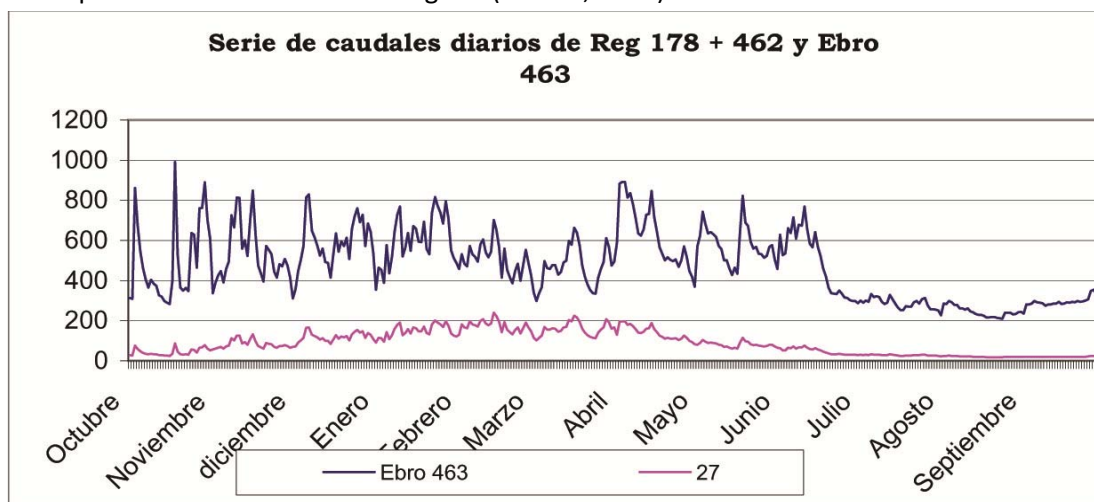
La primera fase en la determinación de los caudales ecológicos fue la estimación de los caudales mínimos considerando métodos hidrológicos. Los resultados para la masa de agua donde se encuentra la estación de aforos 27 (Ebro en Tortosa) fueron:

- Q_{pendiente}: 160 m³/s. Desarrollado por Baeza (2004; en MARM, 2010) y es el caudal a partir del cual la curva de la relación caudal-tamaño del intervalo cambia significativamente de pendiente.
- Q_{25 días}: 167 m³/s. Es el caudal que ha circulado durante el periodo de 25 días más secos de la serie utilizada.
- QBM_{Media}: 174 m³/s
- QBM_{Mediana}: 164 m³/s
- Percentil 5: 167 m³/s. Es el percentil 5 de la curva de caudales clasificados.
- Percentil 15: 223 m³/s. Es el percentil 25 de la curva de caudales clasificados.

Para la determinación de estos caudales se utilizó la serie en régimen natural SIMPA V2 elaborada por el Centro de Estudios Hidrográficos y que comprende el periodo octubre de 1986-septiembre de 2006. La serie restituida al régimen natural tiene un caudal medio mensual mínimo en periodo de aguas bajas (de julio a septiembre) de 142 m³/s estimados en el mes de agosto de 1994. Para pasar la serie de mensual a

diaria se emplearon datos medidos en la estación de aforos 121 del río Ebro en Flix en el periodo de datos comprendido entre octubre de 1948 y agosto de 1964 (Figura 7).

Figura 7: Restitución de caudales diarios anuales a la serie de la masa de agua 463 (Río Ebro desde el río Canaleta hasta la estación de aforos de Tortosa) en un año promedio utilizado para la aplicación de métodos hidrológicos (MARM, 2010).



La comparación de los caudales mínimos históricos analizados en el apartado 3.2.1 junto con la estimación de los caudales circulantes en régimen natural a partir de la correlación con los datos de las estaciones de aforos no alteradas por usos significativos, aporta una estimación de los caudales mínimos en régimen natural para el Ebro en Tortosa sensiblemente inferiores a 100 m³/s. Sin embargo la serie SIMPA V2 utilizada en MARM (2010) da valores de caudal significativamente mayores, lo que sugiere que los caudales mínimos obtenidos de la aplicación de esta serie podrían estar estimados por exceso.

El propio estudio del Ministerio realizó una revisión (MAGRAMA, 2012) de la aplicación de los métodos hidrológicos empleando datos diarios históricos de la estación de aforos 27 del río Ebro en Tortosa a la serie diaria del periodo 1951/52-1965/66 (Tabla XI). Se obtuvieron los siguientes valores:

- Q_{25 días}: 76 m³/s
- QBM_{Media}: 74 m³/s
- QBM_{Mediana}: 49 m³/s

La serie de caudales diarios de la estación de aforos de Tortosa es una serie que parte de datos reales medidos antes de la construcción de las grandes obras de regulación del bajo Ebro y, aunque puede considerarse que están afectadas por los consumos de agua, es una serie aceptable como serie de referencia para la aplicación de métodos hidrológicos para la estimación de caudales ecológicos con series obtenidas a partir de la aplicación de modelos matemáticos o de cualquier otra aproximación. Por ello se puede concluir que los métodos hidrológicos aportan un intervalo de valores que oscilan entre 50 y 75 m³/s.

Tabla XI: Caudales medios mensuales (en m³/s) de la serie de caudales diarios registrados en la estación de aforos de Tortosa y utilizada como elemento de contraste para la aplicación de métodos hidrológicos en MARM (2010).

	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
1951/52	356	545	406	738	1073	709	1161	726	465	295	206	200
1952/53												
1953/54	515	272	437	677	1273	929	425	730	524	171	86	107
1954/55	46	73	342	856	914	659	116	43	173	20	23	49
1955/56	152	332	422	784	550	869	886	866	666	176	131	191
1956/57	154	320	258	232	385	201	114	256	902	158	74	119
1957/58	181	146	161	313	468	862	696	293	122	105	31	82
1958/59	90	194	703	711	438	802	556	739	467	176	75	467
1959/60	656	1086	2171	1272	1595	1407	749	612	707	351	205	161
1960/61	1254	1216	1126	1983	1129	465	312	312	450	123	93	135
1961/62	424	1086	1069	1125	1056	1343	1050	586	425	137	31	67
1962/63	250	463	636	1027	625	768	965	380	455	285	461	413
1963/64	264	709	904	349	563	841	973	476	484	97	53	89
1964/65	270	283	526	659	472	886	426	208	111	102	50	107
1965/66	658	826	867	804	947	938	505	627	617	175	80	140
Media	376	539	716	824	821	834	638	490	469	169	114	166
Percentil 10	109	160	283	324	447	523	175	222	138	98	31	71
percentil 5	75	120	224	285	420	372	115	150	119	70	28	61
mínimo	46	73	161	232	385	201	114	43	111	20	23	49

La masa de agua 463, en la que se encuentra la estación de aforos 27 del río Ebro en Tortosa, es una masa clasificada como alterada hidrológicamente lo que, según la instrucción de planificación permite que el umbral de hábitat potencial útil que se puede admitir para la determinación de los caudales ecológicos es del 30 % en lugar del 50 % admisible para el resto de masas de agua (apartado 3.4.2 de la instrucción de planificación).

La simulación de idoneidad de hábitat para la masa de agua 463 se realizó en MARM (2010) en un tramo del río Ebro en las inmediaciones de Benifallet y utilizando como especie de referencia el adulto del barbo común (*Barbus bocagei*) con la curva de preferencia tomada de Martínez Capel (2000; en MARM 2010). Los resultados finales indican que se alcanza un hábitat del 30 % con un caudal de 2 m³/s, un hábitat del 50 % con un caudal de 3,4 m³/s y un hábitat del 80 % con un caudal de 15 m³/s. Al ser los métodos de idoneidad de hábitat los métodos con los que se ajustan los resultados obtenidos con la aplicación de los métodos hidrológicos (Apartado 3.4.1.4.1.1.3 de la Instrucción de planificación), se tiene un elevado rango de caudales entre los que se puede establecer el régimen de caudales ecológicos.

Finalmente, en MARM (2010) se establece una primera aproximación de caudales ecológicos partiendo como referencia del caudal mínimo legal establecido en el Plan Hidrológico de cuenca de 1998 para la zona de la desembocadura:

Datos en m³/s

oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
100	100	100	120	146,1	154,8	115	105	100	100	100	100

(*) Propuesta pendiente de modificación a partir de la revisión realizada en este trabajo

Que supone un volumen anual destinado a satisfacer las necesidades ambientales de 3.518 hm³/año. En el apartado 4 de este informe se realiza una revisión del régimen de caudales ecológicos propuesto en el estudio técnico del MARM obteniéndose la propuesta de caudal ecológico de la desembocadura del Ebro que se ha incluido en la Propuesta de Proyecto del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro 2010-2015.

4.- PROPUESTA DE RÉGIMEN DE CAUDALES AMBIENTALES EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO EBRO CONTEMPLADA EN LA PROPUESTA DE PROYECTO DE PLAN HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL EBRO 2010-2015

4.1.- Introducción

Con todo el bagaje de estudios realizados por las distintas administraciones y organismos de investigación sobre aspectos ambientales que afectan a la definición del régimen de caudales ecológicos en el bajo Ebro se ha realizado una propuesta de régimen de caudal ecológico en el bajo Ebro.

El principal objetivo a conseguir ha sido obtener un régimen de caudales ecológicos que responda a los criterios establecidos en la normativa vigente (Gobierno de España, 2007 y 2008) y teniendo en cuenta todos los efectos ambientales que provoca en el tramo bajo del Ebro y en su delta.

4.2.- Imposibilidad de definir caudales ecológicos en sequías prolongadas

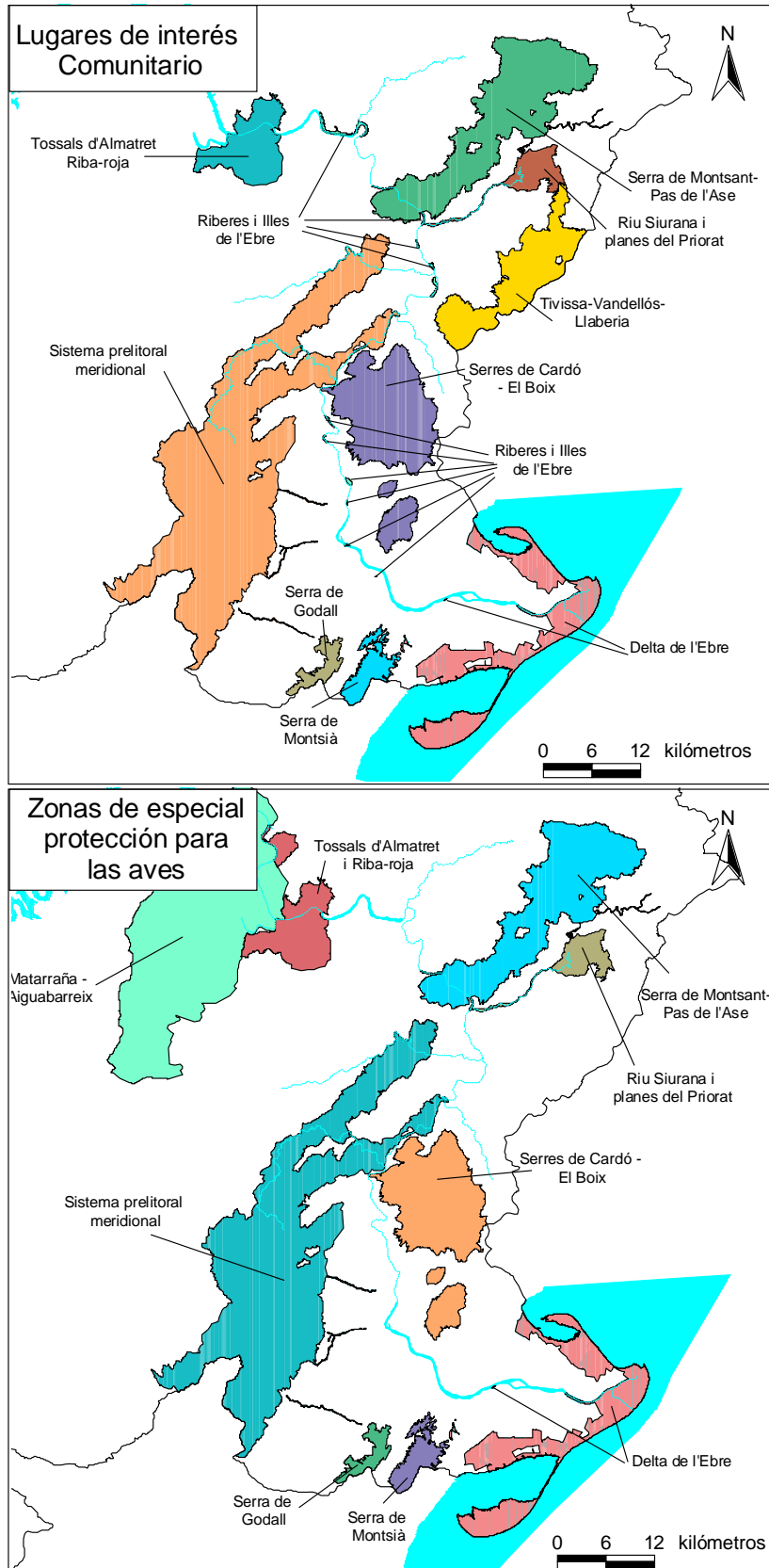
En el bajo Ebro se han declarado los siguientes espacios pertenecientes a la red Natura 2000, que incluye los espacios RAMSAR (Figura 8):

- LIC Ribera de l'Ebre a Flix-Illes de l'Ebre
- LIC y ZEPA Sierra del Montsant-Pas de l'Ase
- LIC y ZEPA Sistema Prelitoral Meridional
- LIC y ZEPA Delta de l'Ebre

El artículo 18.4 del Reglamento de Planificación (Gobierno de España, 2007) establece que el régimen de caudales ecológicos en época de sequía prolongada *"no se aplicará en las zonas incluidas en la red Natura 2000 o en la lista de humedales de importancia internacional de acuerdo con el convenio Ramsar"*.

La imposibilidad de aplicar caudales ecológicos en sequías prolongadas en los lugares de interés comunitario y zonas especiales de protección para las aves definidos en el río Ebro condicionan que en la propuesta de caudales ecológicos en el Bajo Ebro no tenga cabida esta figura de caudales ecológicos en sequías y, por tanto, se ha planteado un único régimen de caudales.

Figura 8: Lugares de Interés Comunitario y Zonas de Especial Protección para las Aves declaradas en el Bajo Ebro



4.3.- Régimen de caudales ecológicos en la masa de agua 463

4.3.1.- CAUDAL MÍNIMO DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

El caudal mínimo del mes de menor caudal ecológico ha de tener en cuenta como criterio principal los resultados de los modelos de idoneidad de hábitat aunque también resulta de interés considerar otros criterios:

- a) La instrucción de planificación indica que el principal argumento para la determinación del régimen de caudales ambientales son los métodos de idoneidad de hábitat. La aplicación de estos métodos en el bajo Ebro ha sido realizada por distintos autores con resultados en ocasiones dispares. Las diferencias entre los distintos métodos se deben fundamentalmente a las curvas de preferencia consideradas (Tabla XII).

La masa de agua 463 es una masa alterada hidrológicamente (MARM, 2010) por lo que las especies seleccionadas como indicadoras del hábitat deberían tener un hábitat potencial útil del 30 % del hábitat potencial máximo.

Uno de los aspectos más determinantes en la aplicación de este tipo de modelos es la curva de preferencia utilizada. En los distintos estudios se han aplicado las siguientes:

-Tres curvas de preferencia de la saboga (*Alosa fallax*): tomadas de

+ ACA (2008a) mediante observaciones acústicas y visuales para el tramo situado entre el azud de Cherta y Cherta.

+ CHE (2011b) mediante método de marcado de ejemplares y seguimiento por telemetría también en el tramo situado entre el azud de Cherta y Cherta.

+ MARM (2009) para el Miño.

- Curvas de *Barbo bocagei* (MARM, 2010).

- Curva combinada que utiliza información de ciprínidos que pueden ser considerados como representativos de las condiciones ambientales adecuadas para el bajo Ebro (CHE, 2009a).

Tabla XII: Caudales para distintos porcentajes de hábitat potencial útil estimados por distintos estudios para el bajo Ebro. Se han sombreado los resultados obtenidos con las curvas del ACA, que dan valores sustancialmente mayores que el resto de curvas.

Estudio	Especie tipo	Hábitat potencial útil %	Caudal que da el % hábitat m ³ /s	Curva de preferencia
ACA (2008a)	Saboga	20 %	100	ACA 1 ACA (2008a)
		63 %	252	
CHE (2011b)	Saboga	30 %	13	Saboga Ebro 1 (CHE, 2011b)
		50 %	25	
		80 %	57	
		30 %	13	Saboga Ebro 2 (CHE, 2011b)
		50 %	24	
		80 %	60	
	30 %	<7	Saboga freza (CHE, 2011b)	
	50 %	12		
	80 %	49		
	30 %	130	ACA 1 ACA (2008a)	
	50 %	233		
	80 %	555		
	30 %	85	ACA 2	
	50 %	135		
	80 %	294		
	30 %	<7	Mayo 2009 (MARM, 2009)	
	50 %	<7		
	80 %	<7		
	30 %	<7	Mixta saboga	
	50 %	<7		
80 %	91			
Ciprínidos	30 %	10	Mixta ciprínidos (CHE, 2009a)	
	50 %	59		
	80 %	802		
CHE (2009a)	Ciprínidos	Límite condiciones limitantes	40-50	Mixta ciprínidos (CHE, 2009a)
MARM (2010)	Barbo bocagei	30 %	2	(Capel, 2000)
		50 %	3	
		80 %	15	

Curvas de preferencia:

- ACA 1: curva obtenida en ACA (2008a) que no incluyen preferencia de sustrato.
- ACA 2: curva de ACA (2008a) con preferencia de sustrato tomada de CHE (2011b).
- Saboga Ebro 1: curva obtenida en CHE (2011b) a partir del marcaje de sabogas y detección mediante telemetría con caracterización de hábitat. Corrección de probabilidad de posicionamiento 1.
- Saboga Ebro 2: curva obtenida en CHE (2011b) a partir del marcaje de sabogas y detección mediante telemetría con caracterización de hábitat. Corrección de probabilidad de posicionamiento 2.
- Saboga freza: curva obtenida en CHE (2011b) a partir del marcaje de sabogas y detección mediante telemetría en momentos de freza y con caracterización de hábitat. Corrección de probabilidad de posicionamiento 1.
- Mayo 2009: Curvas de preferencia desarrolladas para el Miño en MARM (2009).
- Mixta saboga: Combinación de las preferencias de profundidad de ACA (2008a) y de velocidad y sustrato de Mayo 2009.
- Mixta ciprínidos: curva combinada de ciprínidos autóctonos a partir de Capel (2000 y 2009) obtenida en CHE (2009a).

La principal conclusión es que todas las curvas de preferencia dan valores reducidos de caudal para los hábitats requeridos en la instrucción de planificación excepto las curvas de la saboga obtenidas en ACA (2008a). El esfuerzo metodológico realizado en CHE (2011b) para disponer de curvas de preferencia con la mayor información posible de campo permite dar más fiabilidad a los resultados obtenidos de la aplicación de estas curvas de preferencia que las de ACA (2008a). Además la aplicación de los métodos de simulación de hábitat para otras especies da resultados acordes con los que dan las curvas de CHE (2011b). Por este motivo se puede concluir que a la vista de la información utilizada y a efectos de hábitats disponibles el caudal ambiental en el bajo Ebro no es un factor limitante hasta valores muy reducidos y que, por ello, es posible reducir el caudal mínimo de 100 m³/s hasta caudales mucho menores (incluso menores de 50 m³/s) sin producirse una afección significativa a las especies piscícolas.

- b) Los caudales mínimos disponibles a partir de fuentes históricas (De Mesa, 1985; Lorenzo Pardo, 1918 y 1931; Heraldo de Aragón, 1935) y los datos registrados desde 1913 en la estación de aforos 27 (Ebro en Tortosa) ponen de manifiesto que en años secos en verano el caudal mínimo que circulaba en Tortosa era del orden de 20-50 m³/s, pudiendo llegar puntualmente a caudales menores de 10 m³/s.

Una estimación aproximada de los consumos de la cuenca en el siglo XIX y primera mitad del siglo XX junto con la estimación de los caudales circulantes en régimen natural a partir de la correlación con los datos de las estaciones de aforos no alteradas por usos significativos, permite aproximar que los caudales mínimos en régimen natural podrían ser significativamente menores de 100 m³/s.

La estimación de los caudales en régimen natural ha sido una cuestión compleja y de difícil conclusión puesto que no existen informaciones que permitan validar las estimaciones realizadas por los distintos autores.

- c) La aplicación de los métodos hidrológicos en el bajo Ebro ha dado diferentes caudales mínimos en función de la aplicación que han realizado distintos autores (Tabla XIII). Los valores de caudal mínimo oscilan entre 45 m³/s y 131 m³/s con un valor promedio de 81 m³/s. La aplicación de estos métodos siempre está sometida a discusión especialmente por la serie empleada (Sánchez, 2004). La instrucción de planificación establece claramente que el criterio principal para la determinación de los caudales mínimos son los métodos de idoneidad de hábitat puesto que la aplicación de los métodos hidrológico establece un intervalo muy amplio de caudales mínimos.

Tabla XIII: Caudales mínimos (en m³/s) obtenidos de la aplicación de métodos hidrológicos por distintos autores.

	Métodos que usan datos medidos en la estación de aforos de Tortosa		Métodos que usan caudales restituidos
	Método QBM	Otros métodos	
Históricos			70-100
MIMAM (2000)	80		
OPH-CHE (1999)	45		
MARM (2003) en Sánchez (2004)	72		
Sánchez (2004)			131
CPIDE (2003)	70		
IRTA años secos en ACA (2007)			87
Franquet (2009)		118	
Universidad Lleida en CHE (2009a)	87		
UPM-Coagret seco en CHE (2007b)		45	
MAGRAMA (2012)		74	
Promedio de todos^(*)		81	

(*) El promedio de todos los caudales mínimos no constituye un estadístico de significancia para la definición del caudal mínimo, indicándose únicamente a efectos descriptivos.

- d) Se ha realizado un análisis de la normativa de otros deltas y estuarios del mundo con unas características similares a la cuenca del Ebro. Como resultado de ello se han obtenido unos porcentajes de caudales mínimos en los meses de estiaje con respecto al caudal medio en régimen natural.

La aplicación de estos porcentajes a la aportación media anual en el periodo 1940/2006 de la cuenca del Ebro (522 m³/s - 16.448 hm³/año) proporciona unos valores de caudal ecológico para el mes de mínimo caudal (Tabla XIV) que permiten comparar el nivel de exigencia normativa establecido en otras cuencas con el que sería aplicable a la cuenca del Ebro.

La comparación con el nivel de exigencia ambiental de los ríos de Cuencas Internas de Cataluña supondría que para el río Ebro el caudal mínimo sería de 80 m³/s y de la comparación con todos los ríos analizados, se obtendría un caudal mínimo promedio de 72 m³/s.

Tabla XIV: Caudales ecológicos mínimos del bajo Ebro por similitud con los caudales ecológicos mínimos establecidos en otras cuencas con unas condiciones hidrológicas similares. Son caudales normativos y en muchas de las cuencas son caudales para el futuro y cuya aplicabilidad está teniendo dificultades (p.ej.: río Po y ríos de Cuencas Internas de Cataluña, entre otros).

Cuenca asimilada el Ebro	porcentaje del caudal mínimo respecto a la media en régimen natural en periodo largo	Caudal ecológico estimado para el bajo Ebro por asimilación con la cuenca correspondiente
	%	m ³ /s
La Muga	17,2	90
Fluvià	19,8	103
Ter	17	89
Daró	6,5	34
Tordera	6,7	35
Besòs	14,2	74
Llobregat	16,4	86
Foix	22,4	117
Gaià	16,6	87
Francolí	11,4	60
Riudecanyes	18,9	99
Río Miño en desembocadura	13,7	72
Río Júcar en azud de la Marquesa	1,9	10
Río Guadalquivir en presa de Alcalá	4	21
Río Garona (Francia)	14,5	76
Río Garona (Francia) años críticos	5,4	28
Delta río Po (Italia)	30,2 ^(*)	158 ^(*)
Río Sacramento	9,7	51
Río San Joaquín	28,4	148
Estuario río Colorado	1,3	7
Promedio	13,81	72

(*) Existen dudas acerca del cumplimiento real de este caudal mínimo normativo

La integración de todos los criterios contemplados para la determinación del caudal ecológico mínimo para la masa de agua 463 y especialmente de los métodos de idoneidad de hábitat permite adoptar, teniendo en cuenta el principio de precaución, un caudal mínimo de 50 m³/s.

Los escenarios de disponibilidad de recursos hídricos en los planes hidrológicos han sido:

- En el Plan Hidrológico de 1998 se utilizó para la asignación de recursos la serie en régimen natural para el periodo 1940/86, que estimaba un recurso total para la cuenca de 18.217 hm³/año (CHE, 1996).
- En el Plan Hidrológico 2010-2015 se estima para el periodo 1940/2006 un recurso total de 16.448 hm³/año (CHE, 2012b), lo que supone un 10 % de reducción en la aportación media prevista. Esta

disminución se debe a la incorporación del periodo 1986/2006 que, por ser más seco que el periodo 1940/1986, provoca un descenso de la media.

- No obstante, siguiendo la instrucción de planificación (Gobierno de España, 2008) en el plan de 2010-2015 los cálculos hidrológicos se realizan con el periodo 1980/2006. Ello supone una aportación media de 14.623 hm³/año, un 20 % de reducción con respecto a la aportación del plan de cuenca de 1998.
- Hay que tener en cuenta que la incorporación de los efectos del cambio climático se estima considerando una reducción de los recursos del 5 % para la cuenca del Ebro, lo que supone una aportación media de 13.892 hm³/año, es decir, una reducción del 24 % respecto al plan de 1998.

A pesar de la disminución de aportaciones en razón a la serie histórica contemplada por la instrucción de planificación y a los efectos del cambio climático se considera que es posible incrementar el caudal mínimo de 50 m³/s.

El hecho de que el tramo bajo del río Ebro tenga la posibilidad de disponer de mayores caudales gracias a la existencia del sistema de explotación del Bajo Ebro con los embalses de Mequinenza-Ribarroja-Flix, así como las posibilidades de disponibilidad de recurso gracias a la eficiente gestión del agua que se hace en la cuenca del Ebro permite incrementar este caudal mínimo de una forma significativa.

En el plan hidrológico de 1998 se fijó de forma provisional y para concesiones futuras en la desembocadura del Ebro un caudal constante de 100 m³/s. Aunque este caudal no estaba respaldado por criterios técnicos, sí hubo un consenso en el marco del Consejo del Agua de la cuenca. Esta idea de consenso, al igual que la evolución del delta en los últimos años, sirve para decidir que el caudal en la desembocadura del Ebro sea similar al fijado en el Plan Hidrológico de cuenca de 1998. Para conseguir un caudal en desembocadura en torno a 100 m³/s es necesario elevar el caudal en Tortosa de 50 a 80 m³/s.

Este aumento de 50 a 80 m³/s puede reconsiderarse en función de las disponibilidades de recursos derivados de la regulación de los embalses de Mequinenza-Ribarroja-Flix.

4.3.2.- MODULACIÓN MENSUAL

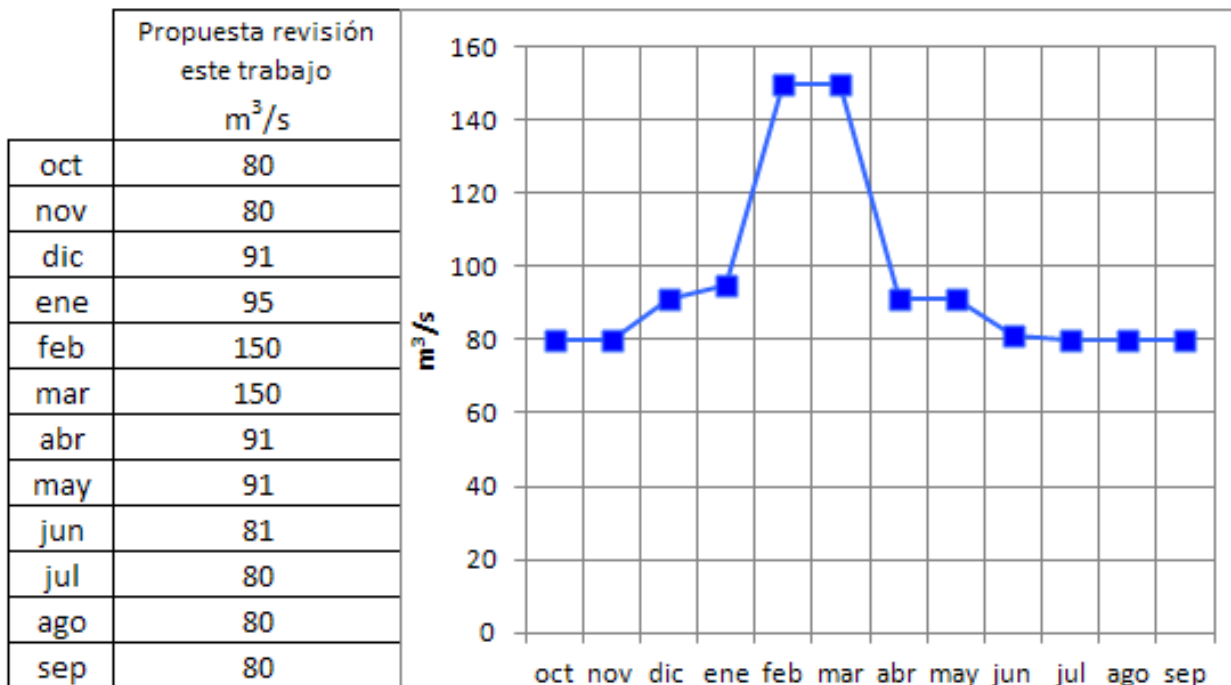
Los criterios principales para establecer la modulación mensual han sido:

- Que el caudal ecológico mínimo sea 80 m³/s tal y como se ha concluido en el apartado anterior.
- Que el volumen anual reservado para necesidades ambientales sea en torno a 3.000 hm³/año de manera que, con el resto de elementos que componen en régimen de caudales ambientales (caudales de crecida, caudales ambientales de los canales y descargas subterráneas) se llegue a superar en la desembocadura del Ebro la reserva ambiental establecida de forma orientativa en el plan hidrológico de 1998.

- Que la modulación se aproxime a la modulación de los caudales mínimos registrados en la estación de aforos 27 (Ebro en Tortosa) en los periodos anteriores a la puesta en funcionamiento de los embalses de Mequinenza-Ribarroja-Flix
- Mantener como caudales máximos mensuales los 150-155 m³/s establecidos en MARM (2010).

Atendiendo a todos estos criterios se ha establecido la propuesta de régimen de caudales ecológicos para la masa de agua 463 (río Ebro desde el río Canaleta hasta la estación de aforos de Tortosa) que se muestra en la Figura 9. Se establece un caudal mínimo de 80 m³/s en los meses de junio a noviembre y un caudal máximo de 150 m³/s en los meses de febrero y marzo. Este régimen de caudales ecológicos supone un volumen anual de 3.010 hm³/año.

Figura 9: Régimen de caudales ecológicos para la masa de agua 463 propuesto en este trabajo.



4.3.3.- CAUDALES DE CRECIDAS

El régimen de caudales ecológicos en el bajo Ebro incorpora la realización de caudales de crecidas que tienen el objetivo de reproducir un régimen más naturalizado en el tramo bajo del río Ebro y de dificultar la expansión de los macrófitos en el río. Estas crecidas se llevan realizando desde el año 2002 (Tabla XV).

En CHE (2010d) se describen y analizan los efectos de las crecidas. El diseño de las crecidas va variando en cada ocasión en función del conocimiento que se va teniendo del impacto que producen en las poblaciones de macrófitos. Se suelen realizar durante unas 8-10 horas y los caudales máximos oscilan entre 1.000 y 1.500 m³/s.

En CHE (2010d) se han recogido estas crecidas controladas tal y como se vienen realizando en los últimos años: dos crecidas al año con un caudal máximo de hasta 1.350 m³/s y una duración estimada del orden de 10 horas. En todo caso el diseño de estas crecidas ha de variar en función de las circunstancias hidrológicas de cada momento y del conocimiento que se va teniendo del efecto de estas crecidas en la población de macrófitos y otros aspectos analizados.

Tabla XV: Caudales máximos de crecidas ocurridas en el periodo 2001/2010 CHE (2010d).

Fecha	Caudal máximo de la crecida (m ³ /s)	Origen de la crecida
5-9/12/2002	1.346	Controlada
2-12/2/2003	2.376	Natural
27/2/2003-10/3/2003	1.900	Natural
8-12/5/2003	1.440	Natural
5-9/12/2003	1.194	Controlada
13-15/3/2006	1.526	Controlada
4/5/2006	1.498	Controlada
28/3/2007-21/4/2007	2.050	Natural
28/5/2007	1.042	Controlada
8/11/2007	1.235	Controlada
15/5/2008	1.261	Natural
26/5/2008	2.142	Natural
3-6/6/2008	1.562	Natural
29/1/2009-16/2/2009	1.110	Natural
18/5/2009	1.065	Controlada
21/10/2009	1.120	Controlada
15-17/1/2010	1.345	Natural
20/5/2010	1.171	Controlada
4/11/2010	1.172	Controlada
30/5/2011 ^(a)	1.350	Controlado

(a) Comunicación personal del Área de Calidad de la CHE

4.4.- Régimen de caudales ecológicos en la desembocadura del río Ebro

El régimen de caudales ecológicos propuesto en CHE (2012b) tiene en cuenta, además de lo anterior, los caudales circulantes aportados al delta por los canales de la margen derecha e izquierda del Ebro con carácter ambiental, sin perjuicio de la preeminencia de los derechos concesionales que asisten a dichos canales y la descarga natural de agua subterránea. En el Ebro en desembocadura (como se define en el Plan Hidrológico de 1998) se estiman los siguientes valores:

Datos en m³/s

oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
80	100	100	120	150	155	100	100	100	100	100	80

Que supone un volumen reservado para satisfacer las necesidades ambientales de 3.370 hm³/año. Este volumen es superior al que establecía de forma orientativa el plan hidrológico de la cuenca del Ebro de 1998 estimado en 3.154 hm³/año.

El régimen de caudales ecológicos se realizará sin menoscabo de otros caudales que circulen por el río y que también tienen una función ambiental.

4.5.- Compatibilidad de los caudales ecológicos con otros aspectos ambientales del tramo bajo del río Ebro y del delta

4.5.1.- Subsistencia y sedimentos

Según distintos autores (Alberto, 1989; Canicio e Ibáñez, 1999 en Molinet, 2006) la formación del delta comenzó con el ascenso eustático postglacial del nivel del mar hace varios miles de años. Como consecuencia de ello el río perdió capacidad de transporte abandonando su carga de sedimentos gruesos que constituyen la base del delta (Figura 10).

La evolución del delta del Ebro ha respondido principalmente a factores ligados con la actividad del hombre. Tal y como se indica en García y López (2009), a medida que ha avanzado la deforestación de la cuenca del Ebro se ha producido un incremento del tamaño del Delta. Hace 2.000 años la línea de costa estaba en Amposta. El periodo de máxima progradación deltaica producido entre los siglos XV y XIX coincide con la expansión general del cultivo de cereales y del pastoreo de la cuenca del Ebro. La Pequeña Edad de Hielo, con la consiguiente reactivación de procesos geomorfológicos es probable que haya tenido también influencia. A finales de siglo XIX el Delta alcanzó su máximo desarrollo cuando llega al medio rural el máximo desarrollo demográfico y se cultivan áreas muy marginales.

La reciente disminución de los sedimentos aportados al delta se produce por dos factores: a) el incremento de la masa forestal de la cuenca del Ebro que se ha producido a lo largo del siglo XX debido a las políticas forestales y, sobre todo, al abandono del medio rural que ha supuesto una menor presión sobre las leñas; y b) la construcción de las grandes presas.

La estimación de las tasas de sedimentación en la cuenca del Ebro ha sido objeto de numerosos estudios que se han recopilado de forma muy completa y detallada en García y López (2009). En este estudio se incluye una descripción de los datos obtenidos en parcelas experimentales a nivel nacional y datos de la producción de sedimentos a partir de las batimetrías de los embalses de la cuenca del Ebro.

Una síntesis de los datos recogidos en García y López (2009) en las cuencas experimentales españolas nos da idea de la distribución de las tasas de erosión en función de las distintas características de cada cuenca estudiada (Tabla XVI). Se ve que la distribución de valores oscila mucho con tasas bajas menores que $1 \text{ tn km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en bosques mediterráneos con una elevada cobertura que protege a los suelos, y tasas máximas del orden de $60.000 \text{ tn km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en zonas de cárcavas altamente erosionables. La mediana de todas las tasas de degradación específica de las experiencias recopiladas es $120 \text{ tn km}^{-2} \text{ año}^{-1}$.

Figura 10: Evolución del delta del Ebro (dibujos adaptados de Canicio e Ibáñez, 1999; en Molinet, 2006)

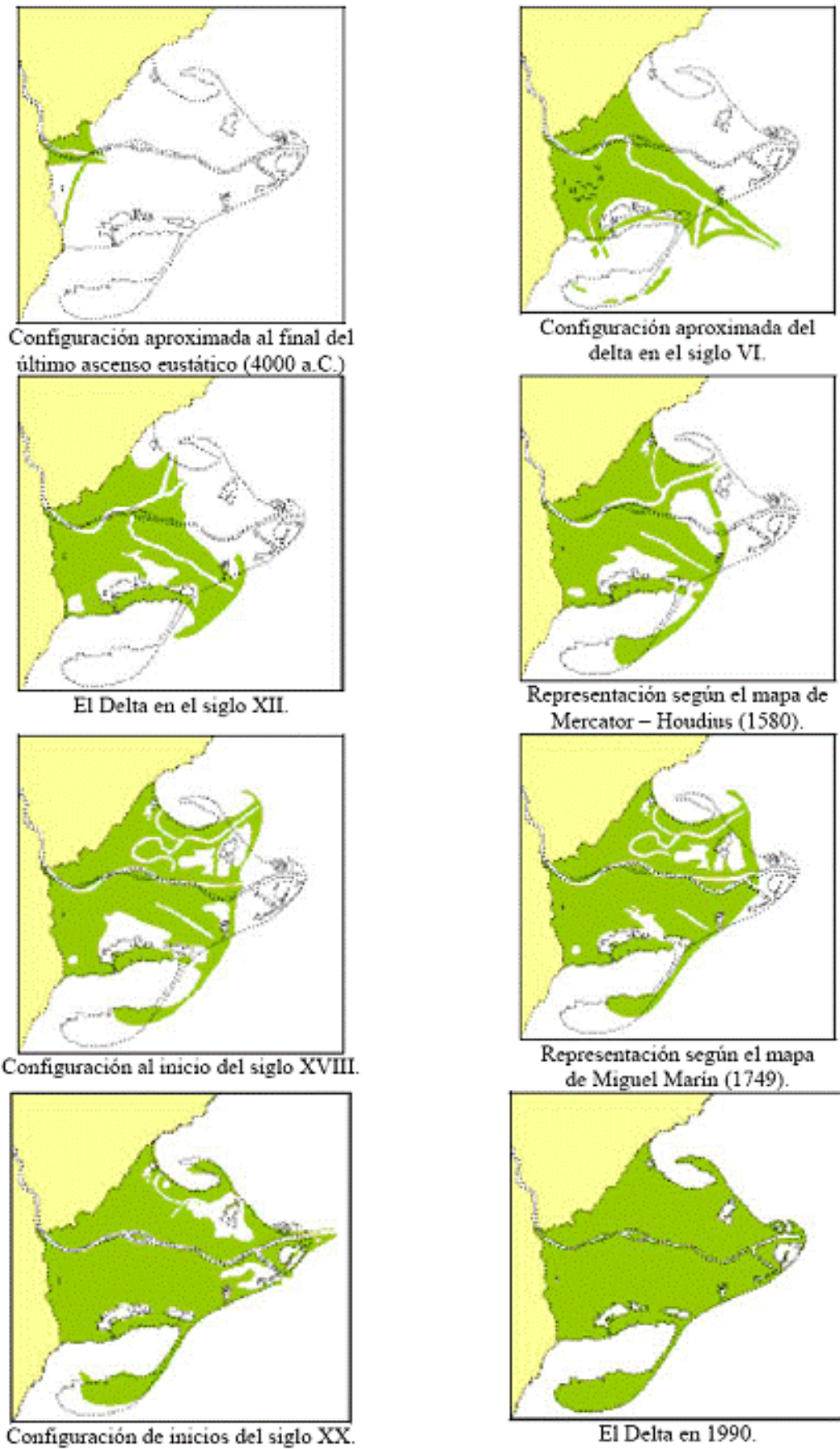
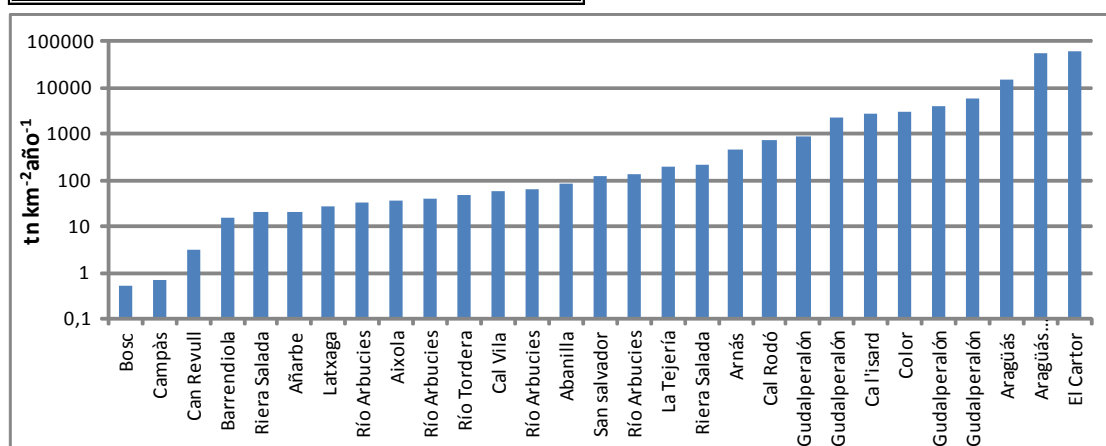


Tabla XVI: Tasas de degradación específica en cuencas experimentales recopiladas de García y López (2009). Elaboración propia.

Cuenca	Superficie km ²	Degradación específica tn km ⁻² año ⁻¹	Descripción
Bosc	1,6	0,5	Bosque mediterráneo
Campàs	2,4	0,7	Bosque y un 10 % de cultivos
Can Revull	Pequeña	3,1	Cultivos cerealistas junto a algunos cultivos arbóreos en bancales. Este suelo ha sido drenado desde antiguo mediante canalizaciones subsuperficiales para favorecer la aireación y el cultivo
Barrendiola	4,8	15	Elevada proporción de bosque autóctono con algunas manchas de reforestado
Riera Salada	222	20	Bosque (75 %) y áreas agrícolas (25 %)
Añarbe	48	21	Elevada proporción de bosque autóctono con algunas manchas de reforestado
Latxaga	2,07	28	Ambiente cultivado, cuenca alargada y cauce cubierto de vegetación
Río Arbuçies	106	32	Afluente del Tordera
Aixola	3	35	Buena densidad de cubierta pero muy alterada por la reforestación y las frecuentes talas
Río Arbuçies	106	38	Afluente del Tordera
Río Tordera	894	50	
Cal Vila	0,56	55	Flysch eoceno. Campos abandonados y bosque (elevada cubierta vegetal)
Río Arbuçies	106	62	Afluente del Tordera
Abanilla	0,000759	84	Cuenca río Chícamo (Murcia). Vegetación dispersa y baja pendiente
San salvador	0,92	120	Flysch eoceno. Bosque
Río Arbuçies	106	132	Afluente del Tordera
La Tejería	1,69	197	Ambiente cultivado, cuenca redondeada y cauce sin vegetación
Riera Salada	222	210	Bosque (75 %) y áreas agrícolas (25 %)
Arnás	2,84	450	Cuenca abandonada en mitad siglo XX y en proceso de recolonización vegetal
Cal Rodó	4,17	710	bosques, prados y terrazas
Gudalperalón		920	Dehesa. Cubierta de encina y sitios coluviales
Gudalperalón		2210	Dehesa. Laderas
Ca l'isard	1,31	2800	cárcavas, bosques, prados y terrazas
Color	0,000328	2980	Vegetación dispersa y alta pendiente
Gudalperalón		4110	Dehesa. Cárcavas de fondo de valle
Gudalperalón		5850	Dehesa. Áreas con más del 50 % de suelo desnudo
Aragüés	0,45	15300	Margas eocenas en el tramo inferior y flysch en el superior. Cárcavas que acompañan al afloramiento de margas y cabecera reforestada con pino.
Aragüés (sólo Cárcavas)		57500	Cárcavas
El Cartor	0,06	60000	cárcavas
Mediana		120	
Mediana		5308	



Otra información de interés para evaluar a gran escala las tasas de erosión de las cuencas procede de los datos de los aterramientos de los embalses. En la Tabla XVII se ha recopilado la información disponible sobre este aspecto. Existe una dispersión de valores importante, con las menores tasas registradas en el embalse de la Tranquera con $8 \text{ tn km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ y mayores en el embalse de Pena (cuena del Matarraña) con $1.300 \text{ tn km}^{-2} \text{ año}^{-1}$. Un promedio ponderado por la superficie de la cuena vertiente aporta un valor de $120 \text{ tn km}^{-2} \text{ año}^{-1}$.

Tabla XVII: Tasa de degradación específica obtenidas a partir del análisis del aterramiento de los embalses de la cuena del Ebro.

Sistema	Cuenca vertiente	Erosión	Tasa erosión	Fuente
	km ²	tn año ⁻¹	tn km ⁻² año ⁻¹	
Yesa	2.185	2.240.000	1.025	López Moreno et al (2003)
Yesa	2.185	624.000	286	López Moreno et al (2003)
Barasona	1.512	437.000	289	Sanz Montero (1996)
Terradets	2.426	560.000	231	Van Deek et al (1991)
Tranquera	1.870	15.708	8	Avendaño et al (1996)
Santolea	1.221	21.978	18	Avendaño et al (1996)
Cueva Foradada	644	113.256	176	Avendaño et al (1996)
Santa María de Belsué	190	41.040	216	Avendaño et al (1996)
Oliana	2.694	662.724	246	Avendaño et al (1996)
Barasona	1.250	437.500	350	Avendaño et al (1996)
Sotonera	323	362.083	1.121	Avendaño et al (1996)
Pena	64	82.752	1.293	Avendaño et al (1996)
Mequinena hasta 1966-1982	51.000	3.766.055	74	Varela et al (1986)
Mequinena hasta 1983-2008	51.000	2.490.120	49	Palau (2008)
Promedio ponderado por la cuena vertiente			127	

Nota: López Moreno et al (2003), Sanz Montero (1996) y Van Deek et al (1991) han sido consultados en García y López (2009).

La estimación de los sedimentos que ha aportado el río Ebro en desembocadura ha sido objeto de varias evaluaciones. Destacan las cifras aportadas en Guillén et al (1992; en García y López, 2009) en las que distingue tres periodos:

- Antes de la construcción de los embalses, con una degradación que podría oscilar entre 400.000 y $2.000.000 \text{ tn año}^{-1}$ (entre 5 y $24 \text{ tn km}^{-2} \text{ año}^{-1}$).
- En los años 60, con la construcción de los embalses la tasa se redujo a valores que oscilaban entre 40.000 y $200.000 \text{ tn año}^{-1}$ (entre $0,5$ y $2,4 \text{ tn km}^{-2} \text{ año}^{-1}$).
- En la actualidad estima una erosión de $1.600 \text{ tn año}^{-1}$ ($0,02 \text{ tn km}^{-2} \text{ año}^{-1}$).

Estos resultados son coherentes con Varela et al (1996), que mide los volúmenes sedimentados en los vasos de Mequinenza y Ribarroja entre su construcción y una batimetría realizada por el CEDEX en 1982. El aterramiento de estos embalses es indicador de los sedimentos que coincidirían sensiblemente con los aportes al Delta anteriores a la construcción de las presas. Se da un aporte medio de la cuenca de $115 \text{ tn km}^{-2} \text{ año}^{-1}$. Con la construcción de los embalses de Mequinenza y Ribarroja los aportes al delta se reducen en un 94 %.

Ibáñez et al (1996) aporta también unos valores de sedimentos aportado por la cuenca en el delta del Ebro que son mayores que los estimados en Guillén et al (1992), con un valor de $30.000.000 \text{ tn año}^{-1}$ ($350 \text{ tn km}^{-2} \text{ año}^{-1}$) antes de la construcción de los embalses de Mequinenza y Ribarroja, $10.000.000 \text{ tn año}^{-1}$ ($200 \text{ tn km}^{-2} \text{ año}^{-1}$) a finales de los años 60, que fue disminuyendo progresivamente hasta llegar a la cantidad de $100.000\text{-}200.000 \text{ tn año}^{-1}$ ($1\text{-}2 \text{ tn km}^{-2} \text{ año}^{-1}$).

En la última década se han continuado realizando estudios de erosión en el bajo Ebro. Destacan los trabajos de Vericat y Batalla (2005a, 2005b, 2006) en los que se:

- Se analiza el efecto de los embalses de Mequinenza y Ribarroja en las avenidas entre 2000 y 2004, poniéndose de relieve que estos embalses retienen la mayoría de los sedimentos y que en el tramo bajo del Ebro se está produciendo un proceso de incisión fluvial con valores medios de 30 mm/año en el tramo de 27 km situado aguas abajo de la presa de Flix.
- Cada año el tramo bajo del río Ebro transporta 450.000 tn, de las que el 60 % son materiales en suspensión y el 40 % restante es carga de fondo. Esto supone el 3 % de los materiales que transportaba el río Ebro en su tramo bajo a principios de siglo.

En ACA (2009a) se toman muestras de sedimentos durante 8 meses comprendidos entre marzo y septiembre de 2008 transportados por el río Ebro en Tortosa y se evalúa el actual déficit sedimentario del sistema fluvial para compensar los procesos de regresión y subsidencia del Delta del Ebro. Se concluye que en el año hidrológico 2007/2008 se exportan 133.452 tn de las que el 89 % se han transportado como materia en suspensión y el resto como carga de fondo. Esta exportación se produce fundamentalmente durante la primavera (90 % de los sedimentos) y también durante los episodios de crecida (73 % de la exportación total).

La disminución del aporte de sedimentos producido en la segunda mitad del siglo XX supone un condicionante evidente para la evolución del Delta del Ebro. Algunos autores han puesto de relieve el posible impacto de esta amenaza (Ibáñez, 1993; Ibáñez et al., 1999; Prat, 2001)

La cuestión que todavía no se ha resuelto ha sido la cuantificación del grado de subsidencia global que está teniendo el delta del Ebro. Distintos autores han aportado algunas cifras:

- 1 mm/año a partir de la asimilación al delta del Ebro de la tasa de subsidencia en la zona de Marsella y de la Camarga dentro del delta del Roine (Sánchez-Arcilla et al, 2005).
- 2-3 mm/año en Ibáñez et al (1997; en Ibáñez et al, 1999)

- 1,5-2,6 mm/año en ITGE (1996) a partir de la comparación de curvas relativas de variación del nivel del mar obtenidas en el delta del Ebro y en otras áreas próximas. Para ello se realiza una datación absoluta de los depósitos de turbas (que se suponen sedimentados en zonas de marismas, es decir, a nivel del mar).
- 1,75 mm/año en Somoza et al (1998; en Molinet, 2006). Mediante la comparación de los depósitos del delta del Ebro con otros del litoral mediterráneo español. La tasas de subsidencia estimada corresponde a un valor medio de los últimos 7.000 años, aunque este valor ha sufrido variaciones a lo largo del tiempo.

Algunos autores han estudiado a partir de ensayos en parcelas experimentales la evolución del delta en un escenario de abandono agrícola (Ibáñez et al, 2010). Se plantea que el crecimiento natural de la vegetación en ellas puede provocar una acreción vertical que contrarreste el efecto de subsidencia y ascenso del nivel del mar.

Con respecto a la determinación del grado de subsidencia recientemente se ha realizado un estudio topográfico de detalle (CHE, 2012c) en dos referencias topográficas existentes en el Canal de la margen izquierda del río Ebro que fueron instaladas y referenciadas durante la construcción de esta infraestructura en 1927 (Figura 11) (CSHE, 1927).

La diferencia de cotas entre la topografías de 1927 y la de 2012 (Tabla XVIII) pone claramente de relieve que no se ha producido un proceso de hundimiento por subsidencia desde 1927. Con motivo de la realización del estudio CHE (2012c) se ha establecido una nueva red de referencias que permitirá la realización de topografías de precisión en futuras campañas.

En próximas campañas se realizarán nuevas nivelaciones de precisión del Delta del Ebro con el fin de detectar la existencia probada de un proceso de subsidencia generalizada. No obstante a la vista de los resultados disponibles, parece que por el momento el delta se encuentra estable en lo que a subsidencia se refiere. Por lo tanto, a pesar de que en la situación actual se ha producido una disminución muy importante del aporte de sedimentos al delta del Ebro, no parece que este hecho haya provocado tanto un problema de subsidencia como, más bien, una estabilización del edificio deltaico.

Figura 11: Situación de las referencias topográficas instaladas en 1927 durante la construcción del canal de la margen izquierda del delta del Ebro e identificación en el año 2012.

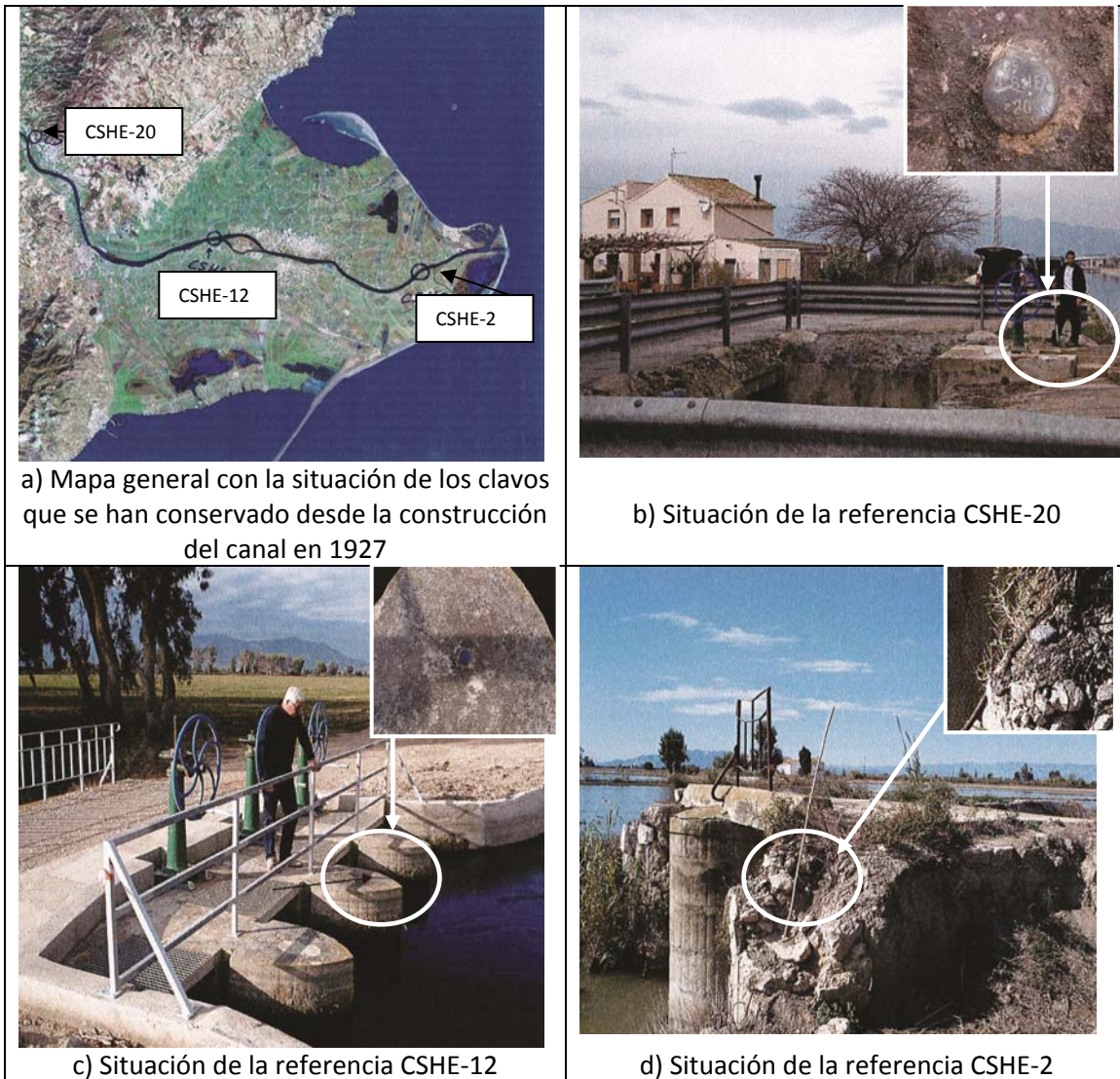


Tabla XVIII: Cotas medidas en los puntos de referencia del Canal de la margen izquierda del delta del Ebro en CSHE (1927) y CHE (2012c).

	Cota en 1927	Cota en 2012	Diferencia cm
	metros		
CSHE-20	5,911	5,911	0
CSHE-12	3,743	3,789	4,6
CSHE-2	2,375	2,328	-4,7

4.5.2.- Modificación morfológica

4.5.2.1.- Río Ebro desde Ascó hasta Tortosa

El comportamiento del tramo fluvial del río Ebro ha sufrido importantes cambios durante el siglo XX. La comparación de las imágenes aéreas entre 1927 y 2002 permiten observar las diferencias en las características del cauce (Figura 12a y b). Efectos como el incremento de las temperaturas producido al final del siglo, la disminución de los caudales circulantes en el río debido al incremento de la superficie forestal y al incremento de los usos de agua y, especialmente, el cambio de régimen producido en el río Ebro con motivo de la construcción de los embalses de Flix (11 hm³ en 1948), Mequinenza (1.534 hm³ en 1966) y Ribarroja (210 hm³ en 1969), han condicionado la evolución en las características del cauce del río.

En Sanz et al (2001) se realiza un estudio a partir de las fotografías aéreas de 1927, 1946, 1956, 1982, 1987 y 1997. Apoyado con información de campo del cauce del Ebro en la situación actual describe los procesos principales que han condicionado la morfología del río llegando a las siguientes conclusiones:

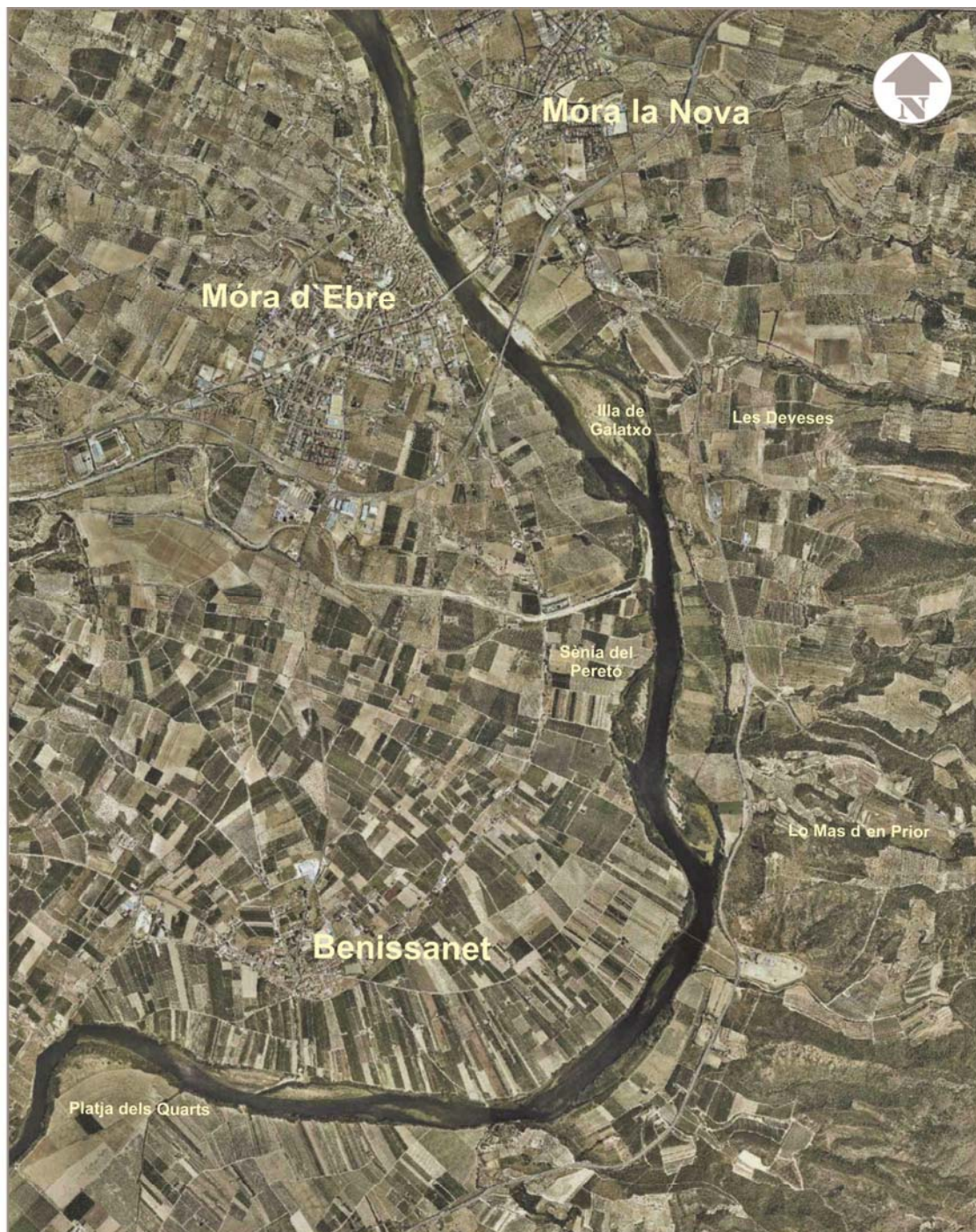
- Antes de la construcción de los embalses, a partir del estudio de las fotografías de 1927, 1946 y 1956:

- + La dinámica evolutiva del río Ebro estaba controlada por avenidas extremas. Se registraron dos episodios extremos en 1937 y 1961, que causaron profundas modificaciones en la morfología del río (erosión de las márgenes a la vez que sedimentación y remodelación de barras de gran tamaño).
- + En el cauce del río Ebro, aguas arriba de la confluencia del río Ciurana, las avenidas no tuvieron repercusiones morfo-sedimentarias, sino que todos los reajustes se observaron aguas abajo de este punto. Este hecho pone de manifiesto el papel tan destacado que ha tenido el río Ciurana en las remodelaciones acontecidas en el Ebro, aportando tanto sedimentos como líquido. De hecho, el volumen de las barras y la granulometría aumenta significativamente aguas abajo de la desembocadura del Ciurana. Por ello es de destacar el papel tan importante de la cuenca del río Ciurana en la evolución geomorfológica del río Ebro. En esta cuenca se construyeron también los siguientes embalses: Ciurana en el río Ciurana (12,4 hm³ en 1972), Guiamets en el río Asmat (10 hm³ en 1975) y Margalef (3 hm³ en 1995).
- + La mayor parte de sedimento que llega al Delta del Ebro se originan durante eventos muy energéticos de carácter esporádico tales como riadas y tormentas.

Figura 12a: Comparativa de las imágenes de la llanura aluvial del río Ebro en la zona de Móra d’Ebre-Benissanet (CHE, 2008c).



Figura 12b: Comparativa de las imágenes de la llanura aluvial del río Ebro en la zona de Móra d’Ebre-Benissanet (CHE, 2008c).



- Después de la construcción de los embalses y a partir del análisis de las fotografías aéreas de 1982, 1987 y 1997:

+ Tras la puesta en funcionamiento de los embalses del eje del bajo Ebro y del Cidurana se ha producido una drástica reducción de la carga de sólidos en suspensión y de la carga de fondo.

+ Como consecuencia de ello el cauce se ha transformado en dos aspectos principales:

* **Acorazamiento.** Este acorazamiento se produce cuando las aguas limpias liberadas desde las presas lavan los sedimentos finos, pero carecen de energía suficiente para lavar las gravas. La formación de esta coraza de gravas gruesas, que se romperá sólo en el caso de caudales muy importantes, ha impedido que se produzca un proceso generalizado de incisión fluvial (al contrario de lo que describen Vericat y Batalla, 2005a). Este proceso únicamente se ha detectado en las inmediaciones de Flix, pero de una forma muy limitada que ni siquiera ha variado el número y posición de las barras existentes previamente debido a la presencia de clastos de gran tamaño que han protegido el cauce y lo han estabilizado para las nuevas condiciones de descarga y pendiente.

* **Amplio desarrollo de la vegetación.** Este desarrollo ha venido favorecido por la regulación de los caudales circulantes, lo que garantiza la conservación de las semillas y el crecimiento de las plantas. Esta cubierta vegetal ha dado estabilidad a los sedimentos que recubre, reduciendo la erosión de las orillas y protegiendo el escarpe de la llanura de inundación, que no ha experimentado un retroceso apreciable.

+ Estas modificaciones producidas por los embalses afectan con igual intensidad a los 40 kilómetros analizados desde la presa de Flix, por lo que se considera razonable que estos cambios afecten a todo el tramo bajo del río Ebro hasta la desembocadura.

+ Los cambios en las condiciones del cauce se produjeron en un breve intervalo de tiempo. En las fotografías aéreas de 1982 se observa que el cauce ya estaba estabilizado y desde esta fecha hasta la actualidad apenas ha experimentado cambios notables. Actualmente el río Ebro se encuentra en una situación de equilibrio dentro de las nuevas condiciones introducidas por los embalses y el hombre.

El efecto de la regulación del régimen hidrológico producido por los embalses en la estabilización de los cauces y el favorecimiento de una desarrollada orla de vegetación de ribera ha sido claramente descrito para el tramo medio del río Ebro en Magdaleno (2011) y sus conclusiones pueden ser también válidas para el tramo bajo del Ebro. Se estudia un tramo del Ebro medio de 250 km (desde Rincón de Soto hasta La Zaida). Detecta un gran incremento de caudal durante los meses de verano en comparación con el régimen circulante a principios de siglo XX. Ello ha provocado cambios intensos en la morfología del río con una estabilización del canal que ha llevado una pérdida de su anchura y una desaparición de muchas de las islas interiores. La vegetación de ribera reacciona rápidamente a la nueva situación colonizando prácticamente todo el canal activo original. La distribución original en mosaico ha cambiado a una distribución lineal y

continúa que ha crecido mucho más próxima al canal permanente. En estos cambios de vegetación ha tenido un papel importante los elevados caudales mínimos mantenidos por la regulación de los embalses. La restauración de estos tramos debería pasar por la recuperación de la magnitud, variabilidad y estacionalidad de los flujos de verano.

La propuesta de régimen de caudales ecológicos para el bajo Ebro realizada en CHE (2012b) recoge estas ideas, tendiendo hacia una recuperación de la modulación original de los caudales mínimos, con mayores estiajes estivales y mayores caudales en época de aguas altas.

4.5.2.2.- Delta del Ebro

La evolución del delta del Ebro ha sido muy dinámica desde su origen respondiendo a los factores que condicionan sus características. Estos factores son, principalmente, el aporte de los sedimentos fluviales, al oleaje y la dinámica de las mareas y elevaciones del nivel del mar.

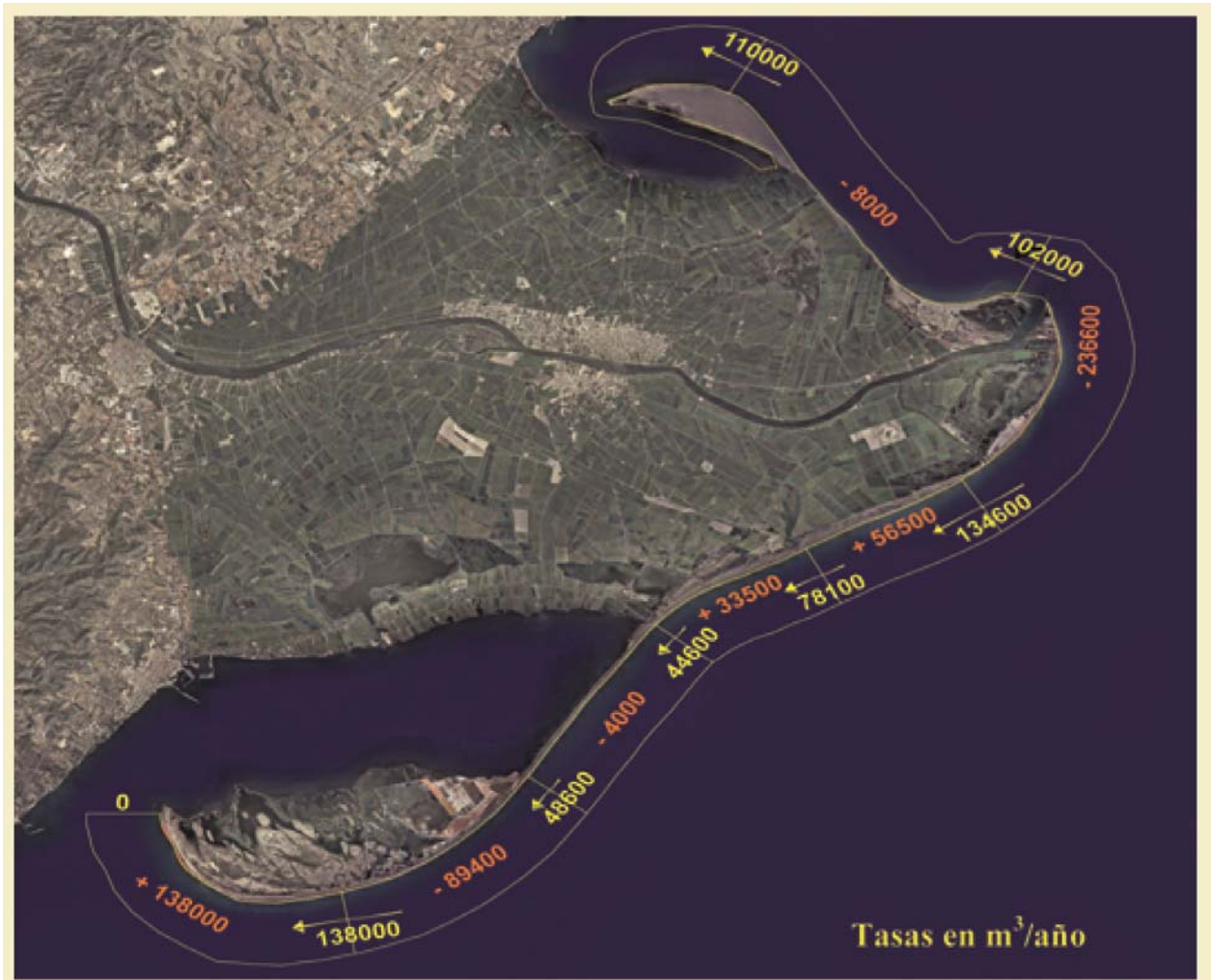
Dadas las características particulares del delta, el principal factor que ha condicionado su desarrollo ha sido el aporte de sedimentos fluviales, estando ligada la velocidad de crecimiento del delta a las variaciones en dicho aporte. Históricamente estas variaciones han estado determinadas por factores climáticos (periodos fríos con menor vegetación y, por tanto mayor escorrentía y erosión; periodos cálidos con más vegetación y por ello menor escorrentía y erosión) y por factores humanos ligados especialmente a la deforestación, que ha condicionado una mayor tasa de erosión y por ello un mayor aporte de sedimentos al delta.

Estos factores han justificado la evolución histórica de la forma del delta. Pasada la segunda mitad del siglo XX la construcción de los grandes embalses en toda la cuenca del Ebro y en especial los embalses de Mequinenza-Ribarroja-Flix provocaron una busca disminución de los aportes sedimentarios que provocó una adaptación de la morfología del delta del Ebro.

La evolución de esta morfología ha sido estudiada por numerosos autores a partir de las fotografías aéreas disponibles llegándose a las siguientes conclusiones (Maldonado, 1986; Lechuga y López, 1997; Sánchez-Arcilla et al, 1997; Rodríguez, 1997; Molinet, 2006):

- La zona de cabo Tortosa está en proceso de erosión mientras que El Fangar y la Banya son zonas de sedimentación. Las zonas del Trabucador y Eucaliptus-Migjorn son de tránsito de sedimento que procede de Cap Tortosa y se dirige hacia la Banya. La zona Marquesa-Riumar es de tránsito de sedimento que procede de Cap Tortosa y se dirige hacia el Fangar (Figura 13).

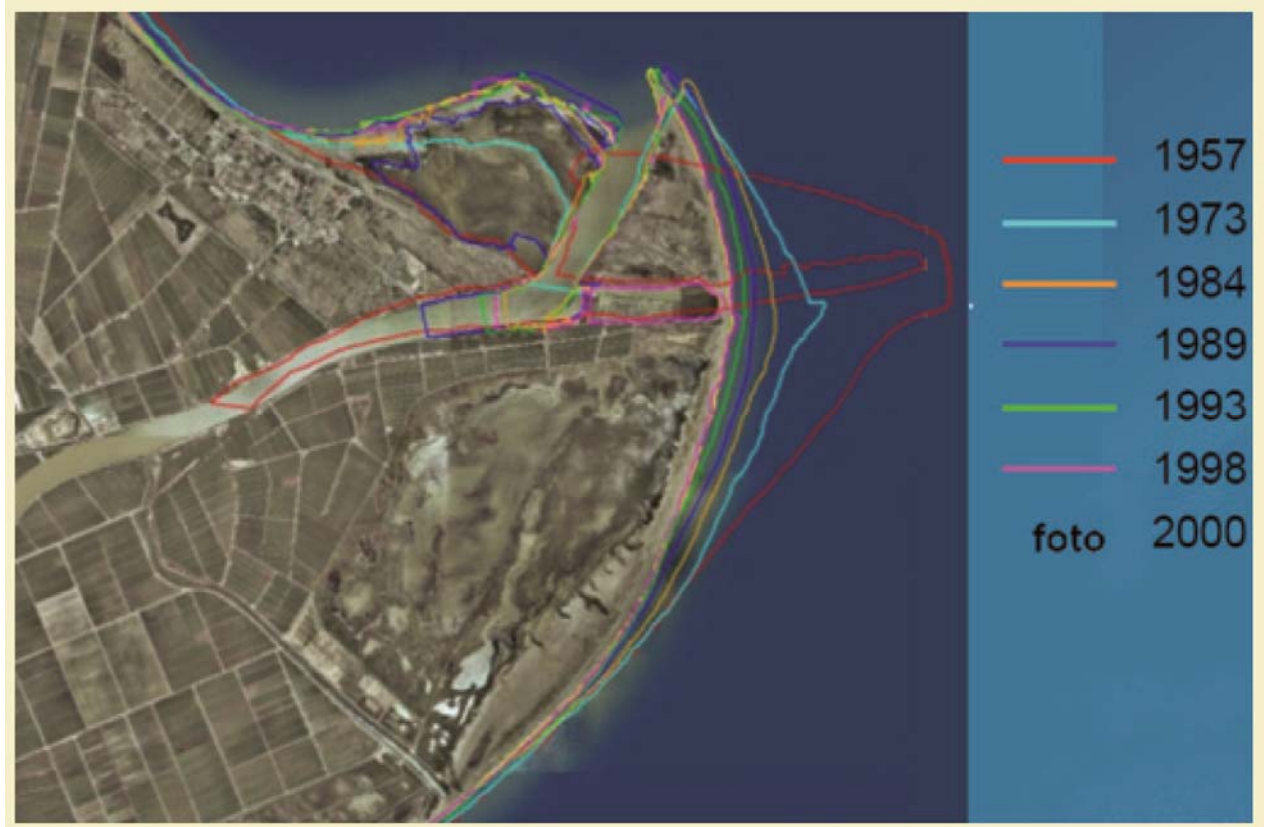
Figura 13: Ganancias y pérdidas actuales de sedimento a lo largo de la costa exterior del Delta del Ebro (Generalitat de Catalunya, 2008). En naranja se indica la erosión (negativo) o ganancia (positivo) de cada tramo. En amarillo se indica el transporte de sedimento de una celda a otra.



- Después de la construcción de los grandes embalses el delta sufrió cambios rápidos, especialmente la erosión de Cap Tortosa (Figura 14) pero estos cambios han ido disminuyendo progresivamente, llegándose en la actualidad a un perfil próximo al equilibrio.
- De forma global, puede decirse que el proceso de adaptación del delta a las nuevas condiciones no ha supuesto significativas pérdidas de superficie emergida ni de volumen de material sedimentado. Únicamente se ha producido una adaptación de su forma.
- Es fundamental continuar con el seguimiento de la evolución de la morfología del delta con el objeto de caracterizar y evaluar los cambios que se producen a una escala temporal lenta.

Actualmente se da una tendencia sedimentaria en las dos flechas litorales mientras que las zonas situadas entre el lóbulo y las flechas actúan como zonas de trasvase de sedimento y la zona de Cabo Tortosa ha sufrido el mayor proceso erosivo

Figura 14: Línea de costa en Cap Tortosa desde 1957 hasta el 2000 (Jiménez et al, 2005; en Generalitat de Catalunya, 2008).



4.5.3.- Hábitat de las especies singulares

El efecto del régimen de caudales ecológicos recogidos en la propuesta de proyecto del plan de cuenca 2010-2015 (CHE, 2012b) ha sido uno de los criterios establecidos para su definición, tal y como se ha descrito detalladamente en el apartado 4.1.1.1 de este informe. Por ello este régimen garantiza el hábitat requerido en la normativa vigente con respecto a las especies singulares.

4.5.4.- Efectos ambientales de los caudales aportados al Delta y a las Bahías

El funcionamiento hidrológico de las aguas superficiales y de las lagunas del delta del Ebro no se puede comprender si no se analiza en detalle la evolución de las prácticas agronómicas, en especial, la distribución que se realiza anualmente para el riego de los arrozales.

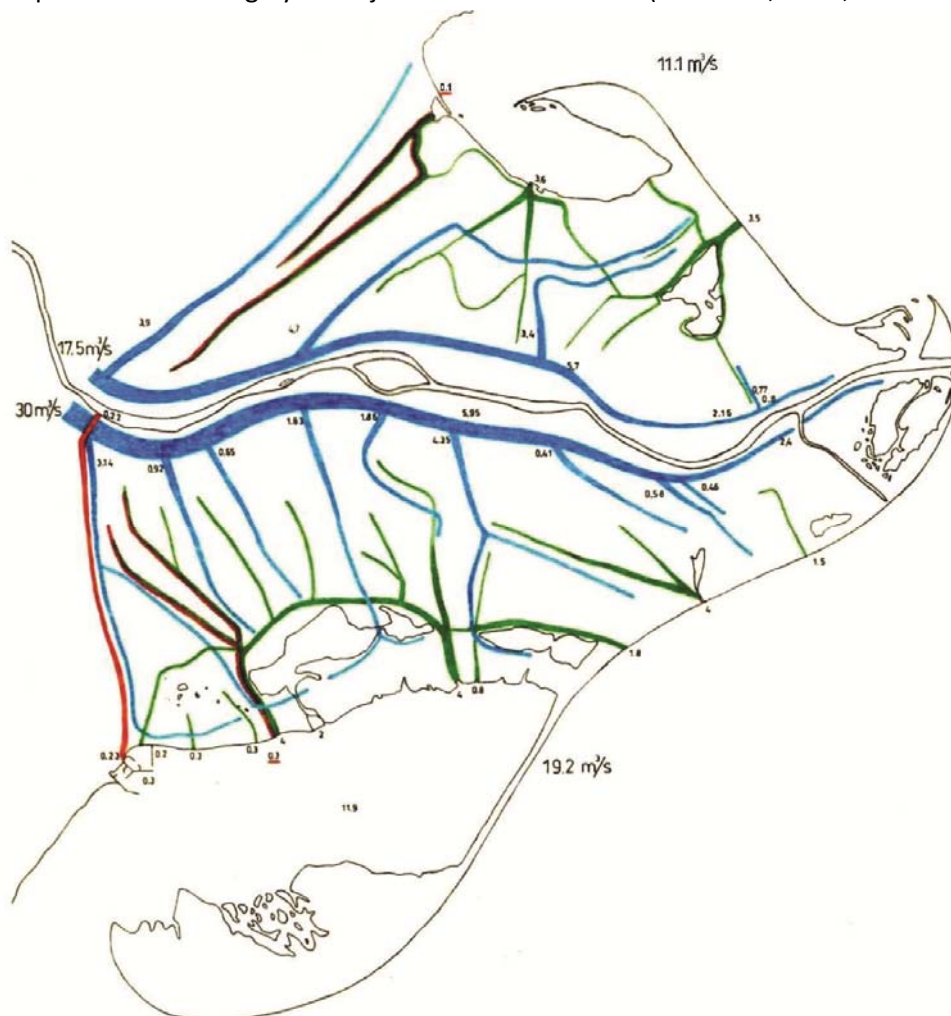
El comportamiento del acuífero superficial con respecto a la evolución de su salinidad ha sido estudiado en detalle en CHE (2008b, 2009b) y Jiménez (2010). La evolución de la salinidad de las aguas de este acuífero viene condicionadas por las prácticas de riego (aplicación en campos, filtraciones de los

canales y drenaje artificial), las precipitaciones y el mar, bahías y el propio río Ebro. De todos ello el componente más importante es el riego de los arrozales.

El cultivo del arroz ocupa la mayor parte de la llanura deltaica y mantiene inundados los campos durante todo el periodo de cultivo, teniendo una componente de infiltración muy importante que produce una recarga artificial que supera ampliamente el término de la recarga por infiltración. El ciclo del arroz dura 188 días en los que los campos reciben agua en continuo y una vez acabado el cultivo, durante 120 días más (desde octubre hasta enero) se produce un tipo de riego de carácter única y exclusivamente ecológico-ambiental. Con este riego se persigue favorecer el hábitat propio de una zonas húmeda como es el delta del Ebro (CGRCMDE-CRSAE, 2008).

La red de riego está constituida por dos canales principales y una red secundaria revestidas. La red terciaria ya no está revestida, al igual que la red de drenaje (Figura 15). Esta red de drenaje evacúa el agua mediante estaciones dotadas con tornillos de Arquímedes que comienzan a funcionar cuando termina la cosecha de arroz en septiembre, evacuando unos 33 m³/s en el semidelta izquierdo y unos 50 m³/s en el derecho (MARM-GC, 2006; en Jiménez, 2010).

Figura 15: Principales redes de riego y drenajes en el delta del Ebro (Acuamed, 2008; en Jiménez, 2010).

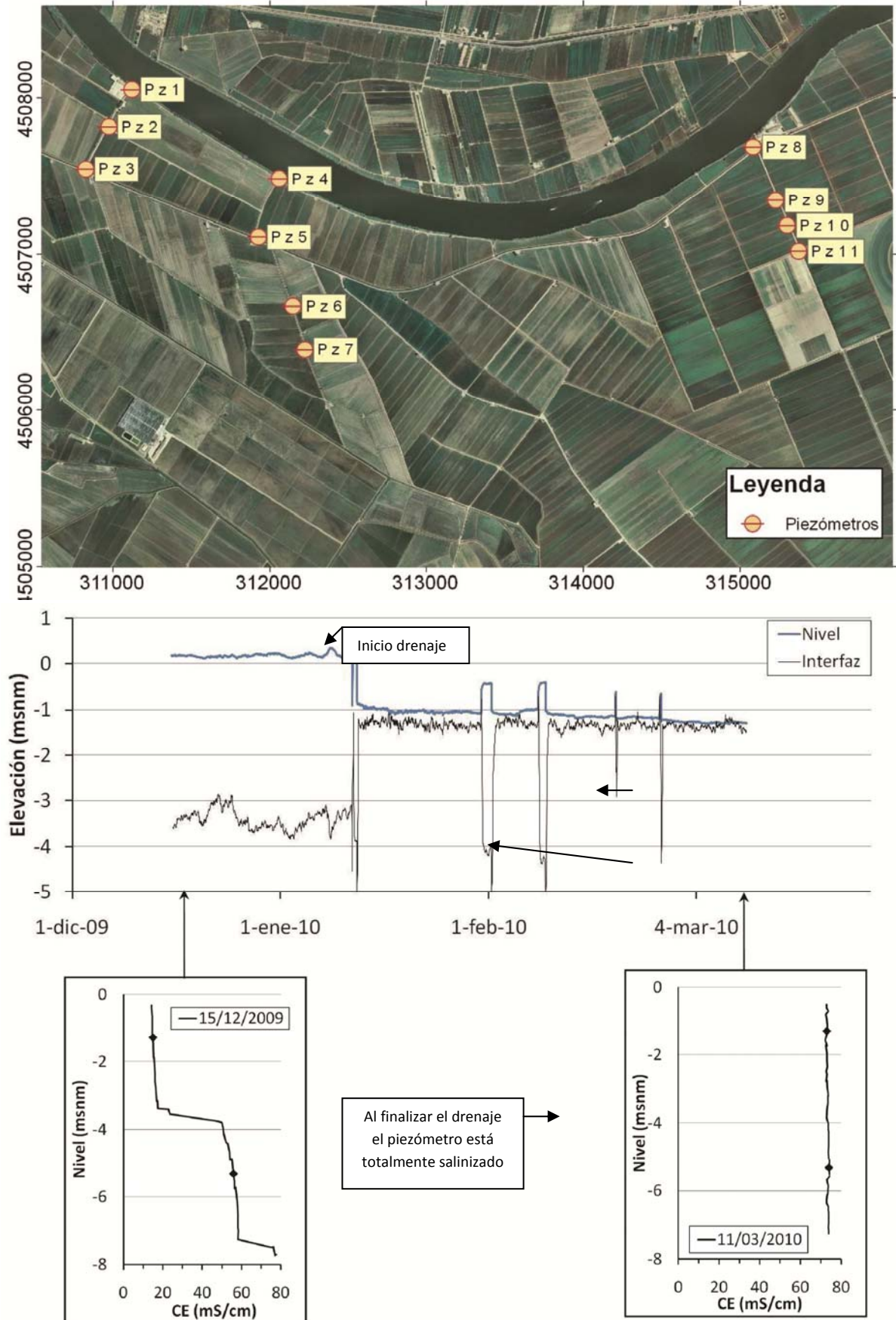


Con objeto de comprender en detalle el funcionamiento de la recarga en el acuífero superior, en CHE (2008b, 2009b) y Jiménez (2010), se instalaron en el año 2008 once piezómetros de 10 m de profundidad en la margen derecha del río Ebro aguas abajo de Deltebre (Figura 16). En ellos se realizaron ensayos de bombeo, se registró la salinidad, nivel y otros parámetros físico-químicos e isotópicos y perfiles de conductividad en los sondeos y en el río Ebro en seis campañas de campo en distintas épocas del año (riego, riego ambiental y con drenaje) entre abril de 2009 y mayo de 2010. Especialmente se analizó la interfaz dulce-salada en el acuífero y su relación con los factores externos que condicionan su comportamiento (Jiménez, 2010).

Las principales conclusiones de CHE (2008b, 2009b) y Jiménez (2010) son:

- La permeabilidad de los materiales del acuífero superior es notablemente menor que la considerada de forma global en la bibliografía, con valores de 8×10^{-4} y 6×10^{-3} m/día en material de levee (arcillas), y de 3×10^{-2} y 4×10^{-1} m/día en materiales de llanura deltaica (arenas finas).
- La distribución de las aguas subterráneas en el acuífero superficial son muy variables a lo largo del año.
- Se diferencia una capa superior con aguas de menor salinidad que las del nivel inferior. Esta salinidad es función de: a) la proximidad al canal principal de riego, b) la época de riego; c) la proximidad al río Ebro en las zonas próximas a su cauce.
- La capa inferior tiene una salinidad próxima al agua del mar, aunque en ocasiones sobrepasa ligeramente este valor.
- En época de inundación de los campos de riego se produce una recarga generalizada al acuífero que provoca la aparición de la capa superior de agua dulce-salobre.
- En época de drenaje se produce un abatimiento del nivel piezométrico del acuífero superficial. Con ello la capa superior (dulce-salobre) llega a desaparecer, salinizándose todo el acuífero, a excepción de las zonas de influencia de los canales de riego que, a pesar de estar revestidos, tienen pérdidas que provocan la menor salinidad de las aguas del acuífero en su entorno. El agua salada tiene procedencia marina y de aguas congénitas que proceden del nivel de limos inferior.
- La zona de influencia del río Ebro en el acuífero es de sólo unas pocas decenas de metros, siendo limitada por el Canal de riego que actúa como barrera hidráulica positiva. De hecho, durante el periodo de seguimiento se controlaron los niveles en 2 crecidas controladas y una crecida natural observándose que se estos episodios no producen una afección observable en los niveles de los piezómetros próximos al río, hecho que es claramente indicativo de que la baja permeabilidad de los materiales del acuífero superior aísla el funcionamiento de las aguas contenidas en el acuífero superior con respecto al funcionamiento del río (Anejo IV).

Figura 16: Situación de los piezómetros construidos en CHE (2008b) aguas abajo de Deltebre y resultados observados en el piezómetro 11.



Estas conclusiones ponen claramente de manifiesto la importancia que tienen para el delta del Ebro los regadíos y la reducida afección que tiene la cuña salina del río Ebro en la salinización de las aguas del delta del Ebro. Únicamente en las zonas en las que se produce un bombeo de las aguas subterráneas cerca del cauce del Ebro el impacto de la cuña salina del río Ebro podría ser más significativo.

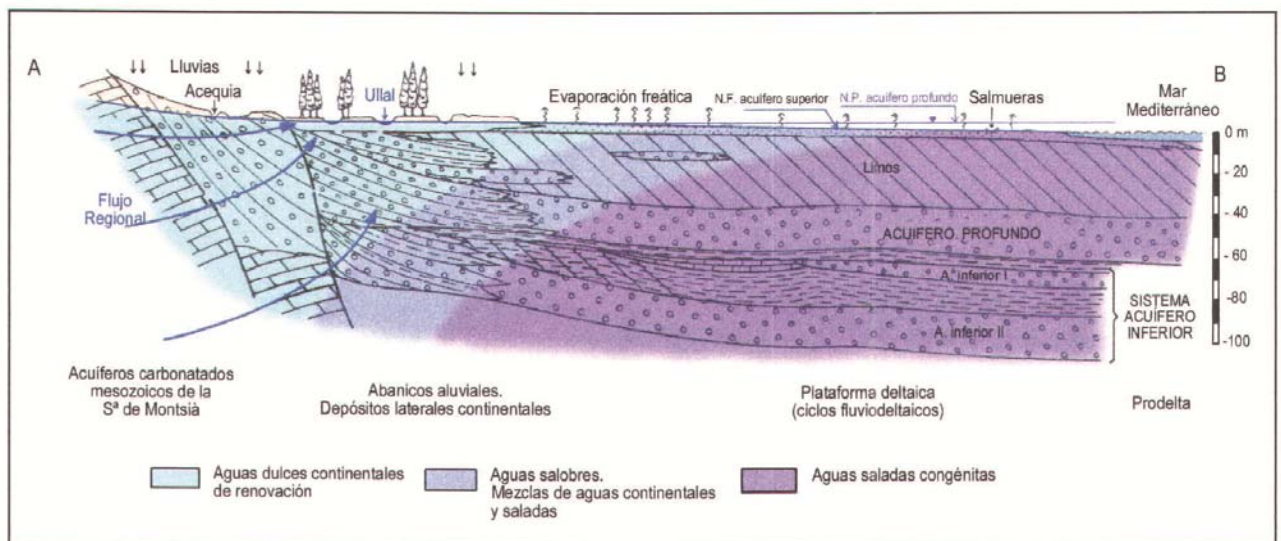
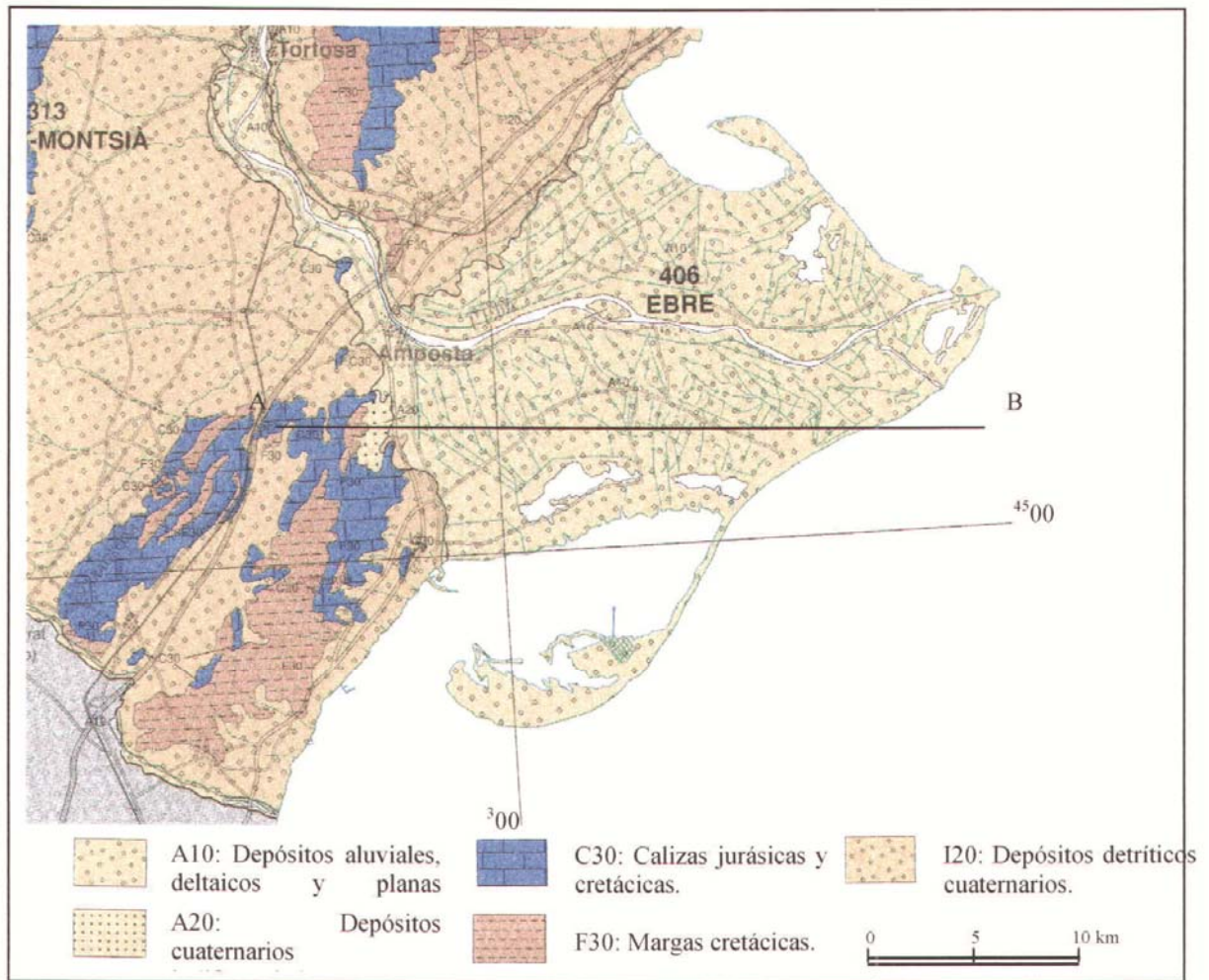
El objetivo de la propuesta de régimen de caudales ecológicos en la desembocadura del río Ebro es conseguir distribuir correctamente las aguas disponibles del bajo Ebro entre el caudal mínimo en el cauce del río y el agua de los canales de la margen derecha e izquierda del Ebro (incluyendo el caudal derivado con función ambiental que produce mejoras tanto en el delta emergido como en las bahías). La propuesta realizada en este trabajo incluye las aportaciones de las concesiones de riego, con un periodo de inundación de 308 días al año, manteniendo, de esta manera, los beneficios ambientales que produce estas derivaciones del cauce tanto en el propio delta como en las bahías.

4.5.5.- Descargas subterráneas al delta

Los materiales del delta del Ebro tienen una disposición subhorizontal. Siguiendo a Bayó et al (1997; en IGME, 2005) y Custodio (2010), en función de sus características hidrogeológicas se diferencian los siguientes niveles de arriba abajo (Figura 17):

- Un acuífero superior de 10 m de espesor máximo, de arenas y gravas finas de paleocauces, playas y dunas litorales. La permeabilidad es muy baja. Aunque se han dado cifras medias del orden de 1-5 m/día (CHE, 1991), estudios recientes han disminuido sustancialmente la estimación de esta permeabilidad a partir de ensayos de bombeo realizados en piezómetros con valores que oscilan entre 8×10^{-4} y 4×10^{-1} m/día (CHE, 2008b). Funciona como un acuífero libre. Tiene aguas salinizadas a partir del metro de profundidad. En las zonas próximas al continente los flujos de los acuíferos carbonatados del bajo Ebro discurren sobre las aguas salinas dando lugar a los manantiales poco salinos conocidos como *ullals*.
- Capa de entre 20 y 100 m de potencia de limos orgánicos que se comporta como acuitardo que confina al acuífero profundo.
- Acuífero profundo constituido por 20-30 m de gravas. Tiene un carácter surgente y contiene aguas marinas congénitas que mantienen un elevado grado de salinización original. Únicamente en las zonas más próximas al continente el drenaje de las formaciones mesozoicas favorece un cierto grado de mezcla, dando lugar a aguas subterráneas con menor mineralización que son objeto de explotación.

Figura 17: Mapa y corte geológico del delta del Ebro. Tomados de IGME (2005) que a su vez toma el mapa del Servicio Geológico de Cataluña y el corte de Bayó et al (1997).

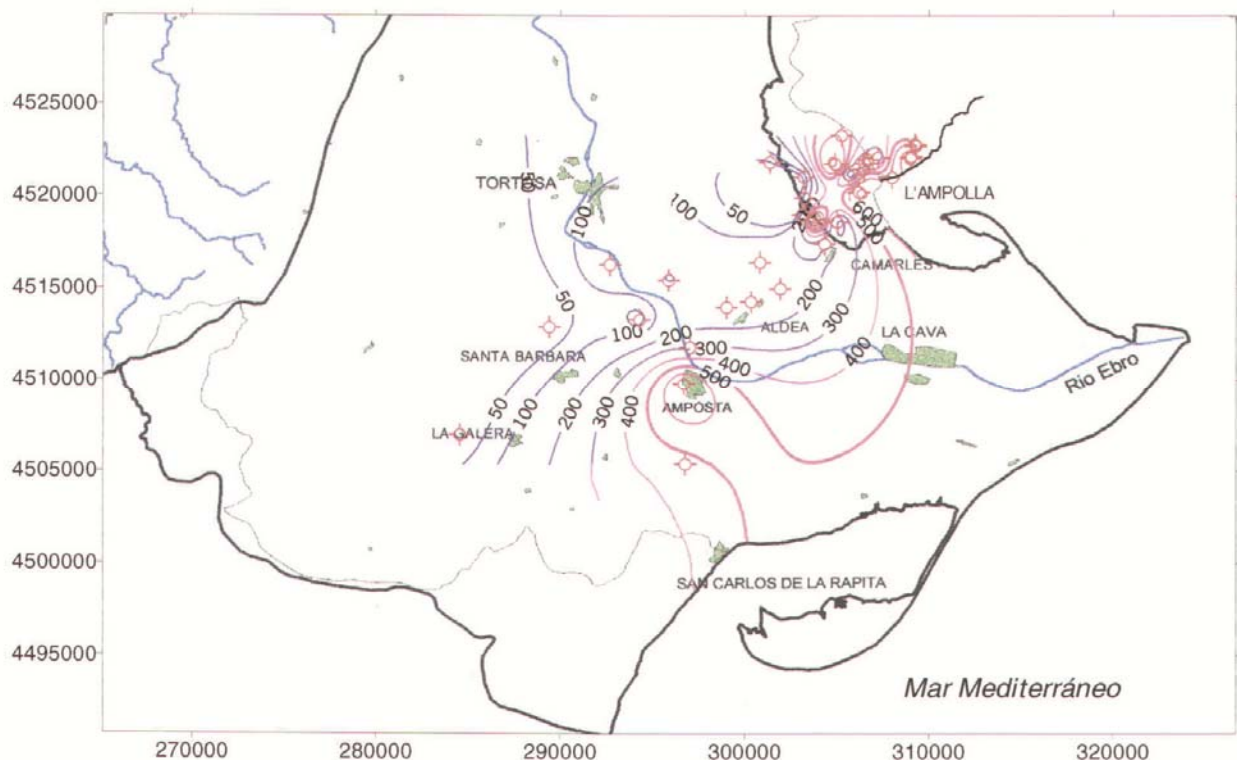


- Sistema acuífero multicapa, profundo y confinado, que se instala entre los 70 y 500 m de profundidad. Son gravas fluviales intercaladas con sedimentos deltaicos que contienen agua con un grado de salinidad semejante a la del mar.

La recarga de los acuíferos se estima (CHE, 1991) en 135,5 hm³/año y se produce principalmente por la infiltración del agua de los arrozales (79 hm³/año), por la descarga subterránea de las formaciones continentales adyacentes (35 hm³/año) y por la infiltración del agua de lluvia (21,5 hm³/año). La descarga se produce: a través de las acequias de drenaje (97 hm³/año); descargas subterráneas al río Ebro, al mar Mediterráneo y a las lagunas y zonas húmedas (34 hm³/año); y extracciones (4,5 hm³/año).

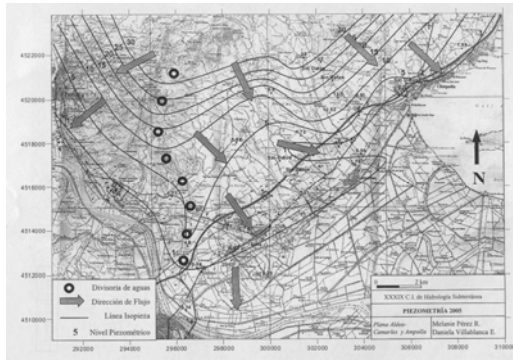
La salinidad del acuífero cuaternario en el interior del delta va incrementándose conforme se aproxima al mar, partiendo de los 200-300 mg/l de cloruros registrados a la altura de L'Aldea y norte de Amposta (Figura 18). En algunas zonas hay contenidos menores de 200 mg/l de cloruros debido a la descarga de los flujos mesocóicos que se dirigen hacia el acuífero superior y profundo. Localmente, en la zona de L'Ampolla y Amposta hay elevadas concentraciones de sales debido a la existencia de procesos de intrusión locales favorecidos por los bombeos de las aguas subterráneas. En la primera la entrada de agua del mar se produce a través de la costa y en la segunda se produce a través del cauce del río Ebro. No se ha observado una tendencia general a la salinización de las aguas ni en los sondeos en los que se viene registrando la salinidad ni en los *ullals* (IGME, 2005).

Figura 18: Mapa de isocloruros del acuífero superior en septiembre-octubre de 1999 (IGME, 2005).

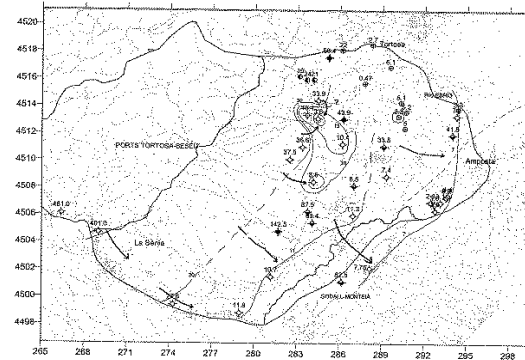


Los tres acuíferos cuaternarios del delta (superior, inferior y multicapa) contienen aguas congénitas, que son las aguas marinas que quedaron atrapadas durante la formación del sedimento. El bajo gradiente hidráulico de los niveles piezométricos (Figura 19) y la baja permeabilidad impiden el lavado efectivo de estas aguas congénitas. El equilibrio de la salinidad del delta es función de dos factores principales:

Figura 19: Mapas de isopiezas para el sector norte (CHE, 2005b) y sur (CHE, 2001) a partir de los que se han estimado las descargas del Mesozoico que descargan en el delta del Ebro.



Mapa de isopiezas del acuífero pliocuaternario de la Plana de l'Aldea-Camartes en marzo-mayo de 2005 (CHE, 2005b)



Piezometría de la fosa de la Galera en marzo-abri-2002 (CHE, 2001)

- las explotaciones de agua, que si sobrepasan un umbral provocan problemas de intrusión muy localizados, como ocurre en l' Ampolla y Amposta.
- Las descargas de agua dulce procedente del Mesozoico. Estas descargas han sido evaluadas:

- Para el sector entre l' Ampolla y Amposta:

- + En CHE (1991) se estiman en $20 \text{ hm}^3/\text{año}$. El cálculo se realiza considerando una transmisividad media del acuífero mesozoico de $1.200 \text{ m}^2/\text{día}$, un gradiente de 0,003 y una longitud salida al delta entre Amposta y l' Amella de 15,2 km ($Q = 1.200 \cdot 0,003 \cdot 15.200 = 54.720 \text{ m}^3/\text{día} = 20 \text{ hm}^3/\text{año}$).
- + En CHE (2005b) se estiman en $2,1 \text{ hm}^3/\text{año}$. El cálculo se realiza considerando una transmisividad media del acuífero mesozoico de $450 \text{ m}^2/\text{día}$, un gradiente de 0,001 y una longitud salida al delta de 13 km ($Q = 450 \cdot 0,001 \cdot 13000 = 5.850 \text{ m}^3/\text{día} = 2,1 \text{ hm}^3/\text{año}$).

- Para el sector situado al sur de Amposta,

- + En CHE (1991) se estiman en $15 \text{ hm}^3/\text{año}$. El cálculo se realiza considerando una transmisividad media del acuífero mesozoico de $700 \text{ m}^2/\text{día}$, un gradiente de 0,006 y una longitud salida al delta de 9,8 km ($Q = 700 \cdot 0,006 \cdot 9.800 = 41.160 \text{ m}^3/\text{día} = 15 \text{ hm}^3/\text{año}$).

+ En (CHE, 2001) en torno a $0,8 \text{ hm}^3/\text{año}$. Se estima como el 50 % de la descarga hacia el sureste que calcula considerando una transmisividad media del acuífero mesozoico de $370 \text{ m}^2/\text{día}$, un gradiente de 0,0009 y una longitud salida al delta de 13,33 km ($Q = 370 * 0,0009 * 13330 = 4.439 \text{ m}^3/\text{día} = 1,60 \text{ hm}^3/\text{año}$).

4.5.6.- Aporte de sales y nutrientes

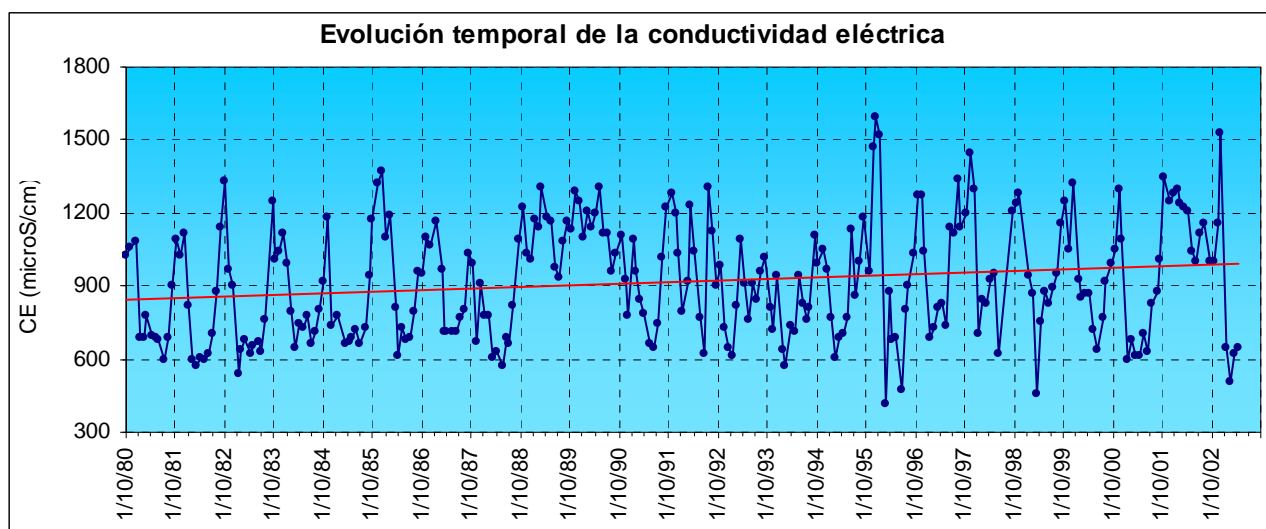
El estudio estadístico de la evolución temporal de los parámetros químicos de la cuenca del Ebro ha sido realizado en numerosos estudios (Bouza et al, 2004; Bouza, 2006; Valencia, 2007). En este apartado se destacan los aspectos que tienen una mayor significación en la calidad físico química de las aguas del tramo bajo del río Ebro.

4.5.6.1.- Salinidad de las aguas superficiales

En el eje del Ebro se observa un incremento de la salinidad media conforme el río avanza en su recorrido hasta llegar a la cola del embalse de Mequinenza, en Sástago, donde alcanza una conductividad media de $1.329 \text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ (periodo 1980/2002). Debido a la sedimentación de partículas producida en el embalse de Mequinenza y a las aportaciones de menor salinidad del río Segre, el río Ebro en su tramo bajo tiene una salinidad menor que aguas arriba del embalse de Mequinenza. De esta manera, en Ascó el promedio para el mismo periodo es $908 \text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ y en Tortosa es $918 \text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$.

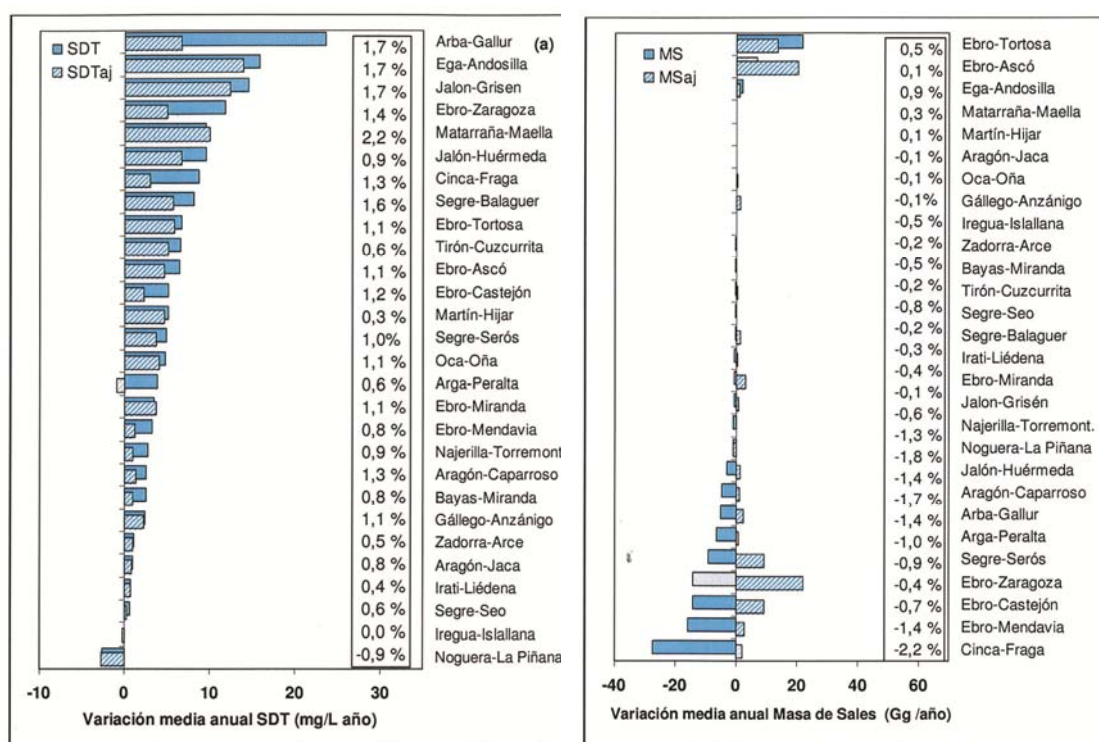
La caracterización de la concentración y la masa de sales de la cuenca del Ebro ha sido realizada en CHE (2009c) a partir del estudio estadístico de los datos del total de sólidos disueltos en 28 estaciones de aforo en el periodo 1975-2008. Se ha detectado una tendencia al incremento de la concentración de sales en la mayor parte (93 %) de las estaciones de calidad estudiadas (Figuras 20 y 21). En Tortosa se han detectado un ascenso anual del orden de $6 \text{ mg}/\text{l}$ año.

Figura 20: Evolución del total de sólidos disueltos en la estación 27 (río Ebro en Tortosa). CHE (2008d).



El efecto del incremento de la concentración se encuentra afectado por la tendencia a una menor cantidad de volúmenes de agua circulantes. En la cuenca del Ebro se ha detectado una clara correlación entre caudales y concentraciones de sales de manera que a menor caudal la concentración es mayor. Si se evalúa la masa de sales realmente exportada en cada estación de control, se puede observar que, a pesar de que la concentración de sales está tendiendo a incrementarse, no ocurre lo mismo con la masa de sales. En análisis realizado en CHE (2009c) pone claramente de relieve que la mayor parte de las estaciones no presenta un incremento de la masa de sales en el periodo 1975-2008 (Figura 21). Las estaciones de Tortosa y Ascó son las dos únicas estaciones que tienen una tendencia a incrementar su contenido de la masa exportada en torno a 20 Tn/año. No obstante, es importante considerar que el análisis realizado indica que globalmente no existe en la cuenca del Ebro una tendencia a que se esté incrementando la masa exportada de sales hacia el mar Mediterráneo.

Figura 21: Concentración de sales (izquierda) y masa de sales (derecha) registrada en 28 estaciones de afloros de la cuenca del Ebro en el periodo 1975-2008 (CHE, 2009c).



4.5.6.2.- Evolución del pH

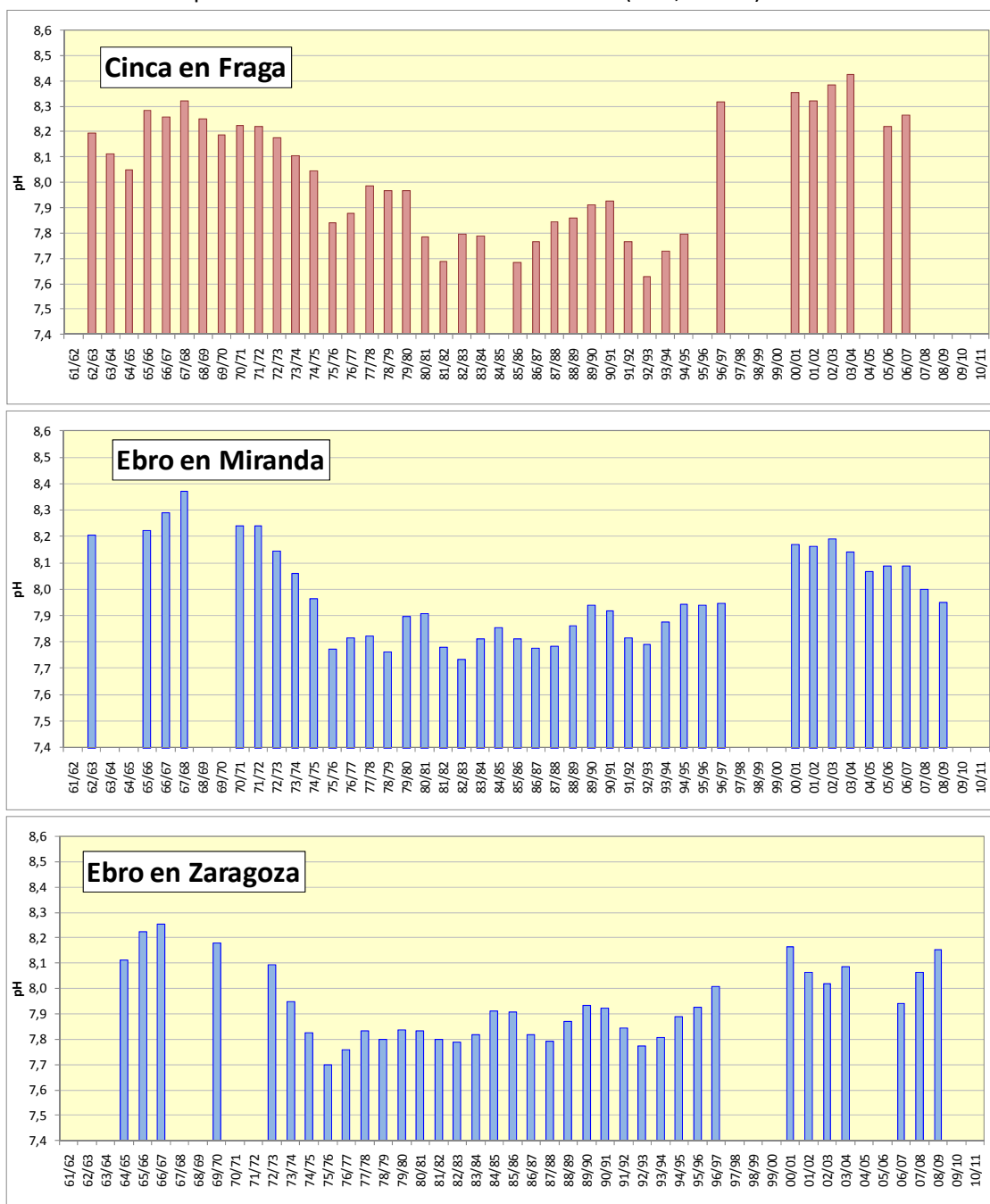
Uno de los aspectos generales que ha sido destacado en diversos estudios que han analizado la tendencia espacio-temporal de los parámetros físico químicos de la cuenca del Ebro ha sido la tendencia al incremento del pH en las aguas superficiales (Valencia, 2007). Se ha planteado la posible relación de esta evolución con el efecto del incremento de la temperatura del agua debido al cambio climático.

En CHE (2012d) se realiza un análisis detallado de la evolución del pH en las estaciones de la red de calidad de la cuenca del Ebro incorporando datos desde 1960 (Figura 22). Se observa que, tal y como se había detectado, existe un incremento del pH a partir de los años 1995-2000, pero, al analizar las series

desde 1960 se observa que en el periodo anterior a 1970 los valores de pH son similares a los obtenidos en la actualidad.

A partir del análisis de los distintos factores que pudieran explicar la evolución observada se concluye que el factor más plausible que explique esta relación es el funcionamiento de las centrales térmicas que se instalaron en el sector norte de la Península Ibérica más próximas a la cuenca y con mayor afección potencial a sus aguas: Andorra (Teruel) en 1981, Escucha (Teruel) en 1975, Escatrón (Zaragoza) en 1990, As Pontes (A Coruña) en 1976, Aboño (Asturias) en 1974, Compostilla (León) en 1972, Soto de Ribera (Asturias) en 1962, La Robla (León) en 1971, Guardo (Palencia) en 1964, Lada (Asturias) en 1967, Anillares (León) en 1971, y Pasaia (Guipúzcoa) en 1968.

Figura 22: Evolución del pH en estaciones de calidad desde 1960 (CHE, 2012d)



La puesta en funcionamiento de la mayor parte de las centrales se produce entre 1965 y 1980, periodo en el que parece producirse un descenso generalizado del pH por efecto de la lluvia ácida. A partir del año 1993 se constata una subida generalizada del pH tanto en el Ebro como en sus afluentes y a partir del año 2000 el pH se ha mantenido en niveles estables y sensiblemente más altos que los registrados en las tres últimas décadas. La causa más probable de este ascenso del pH son determinadas actuaciones adoptadas en la década de los 90 que han hecho posible una sensible reducción de las emisiones tales como la instalación de filtros y plantas de desulfuración (por ejemplo en Andorra y Cercs) y los cambios en el origen del combustible a carbones con menor contenido en azufre. La relación de este incremento del pH con la depuración de aguas residuales urbanas no está clara puesto que el ascenso del pH se observa en estaciones no afectadas por depuradoras. Tampoco hay una clara relación causa-efecto entre el incremento del pH y las actividades de origen industrial y agropecuario.

4.5.6.3.- Evolución de la temperatura

La caracterización de la temperatura de las aguas del tramo bajo del río Ebro ha sido ampliamente desarrollada en Prats (2011) mediante el estudio del régimen térmico del tramo inferior del río Ebro, entre Escatrón y Miravet y las alteraciones causadas por el sistema de embalses de Mequinzenza, Ribarroja y Flix y la central nuclear de Ascó. Como principales conclusiones se tiene que:

- Parece existir un incremento de la temperatura del agua en la estación de Escatrón a lo largo del periodo 1955-2000 que resulta coherente con el incremento de la temperatura media del aire observada en este periodo.
- El sistema de embalses de Mequinzenza, Ribarroja y Flix producen un aumento de la temperatura media mensual de 3-4 °C en otoño e invierno y un descenso de 3-4 °C en primavera y verano. También se produce un retardo de los máximos y mínimos anuales y una reducción de la amplitud térmica anual y una menor variabilidad a nivel diario.
- La alteración provocada por los tres embalses se debe fundamentalmente al embalse de Mequinzenza. Las aportaciones del Segre y del Cinca contrarrestan parcialmente esta alteración. Posteriormente a medida que el agua circula río abajo la alteración va disminuyendo.
- La central nuclear de Ascó produce un aumento de la temperatura media anual de 3 °C. Este efecto depende del caudal, de manera que a caudales altos la alteración es menor.
- La central nuclear corrige la alteración de los embalses en primavera y verano y los incrementa en otoño e invierno.

4.5.6.4.- Evolución de los fosfatos

La evolución de los fosfatos ha tenido una marcada disminución generalizada en torno al año 1995. Este hecho ha sido detectado claramente en Valencia (2007) de forma estadística para toda la cuenca del

Ebro (Figura 23) y a modo de ejemplo se muestra la evolución para la estación del río Ebro en Tortosa (Figura 24).

Figura 23: Evolución de la serie anualizada y por medias móviles para el fosfato (en mg/l) (Valencia, 2007).

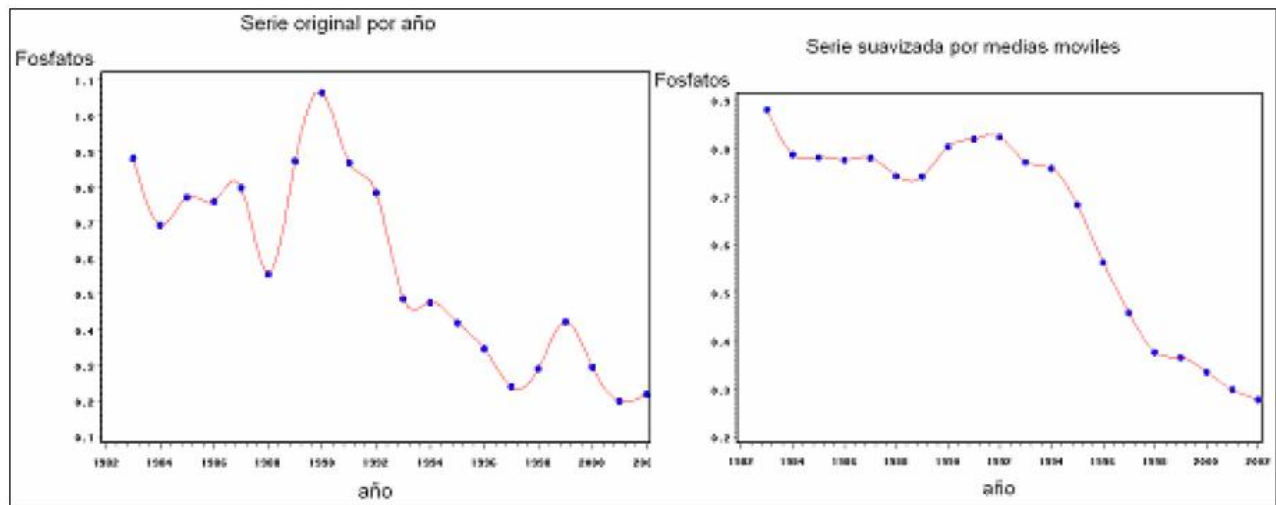
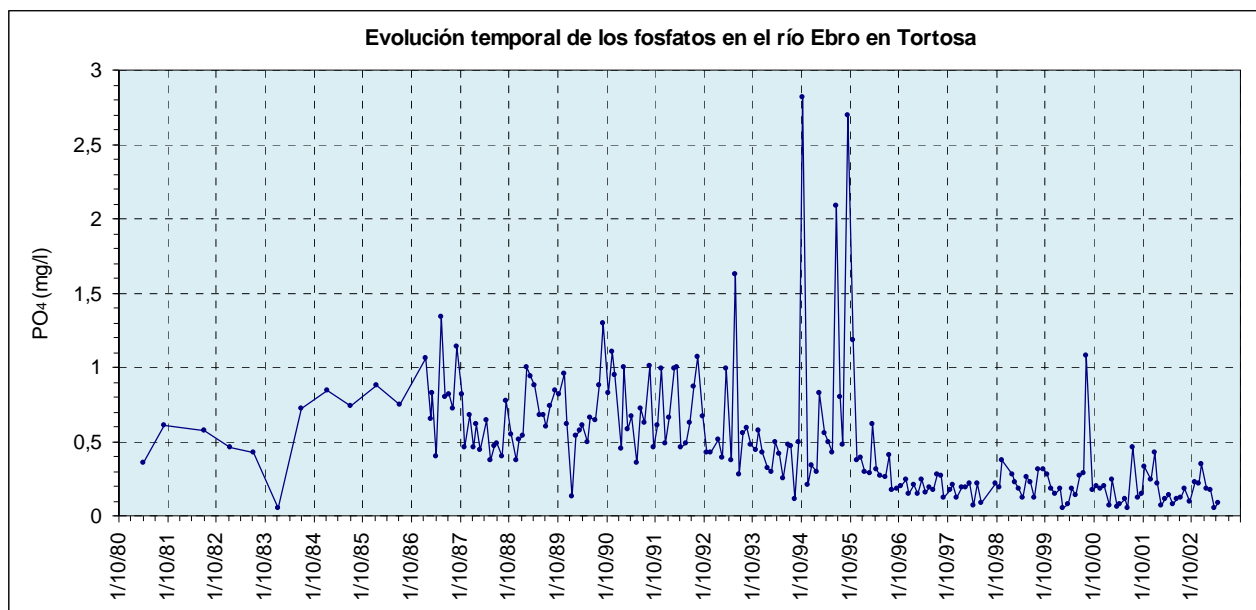


Figura 24: Evolución del contenido de fosfatos en el río Ebro en Tortosa (CHE, 2008d).

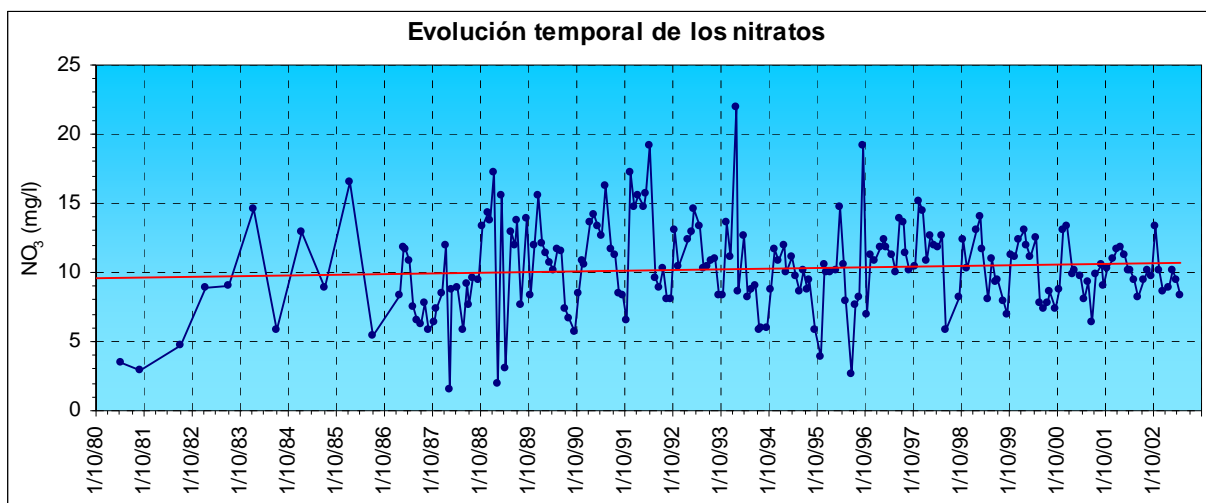


Las implicaciones ambientales de esta disminución de los fosfatos serán analizadas en el apartado de los macrófitos. Sobre las hipótesis para justificar esta disminución se manejan por un lado la depuración de las aguas y por otro la reducción de los fosfatos de los detergentes en torno al año 1995. La primera hipótesis no está claramente justificada puesto que hay estaciones donde se observa esta disminución y no está relacionado con la puesta en funcionamiento de ninguna depuradora. En todo caso lo que está claro es que en el año 1995 se produjo una importante mejora ambiental con la disminución del contenido de fosfatos de las aguas.

4.5.6.5- Evolución de los nitratos

El contenido de nitratos de las aguas de la cuenca del Ebro está relacionado con las actividades agropecuarias en industriales del sector medio y bajo de la cuenca del Ebro. Las aguas de la cabecera presentan concentraciones muy reducidas (0,5-2 mg/l) y conforme el agua de los ríos va avanzando en su recorrido va incrementando su contenido en nitratos. La concentración media del río Ebro en Sástago es 16 mg/l en el periodo 1980-2002 y en las estaciones de Ascó y Tortosa es 10 mg/l para el mismo periodo (Figura 25).

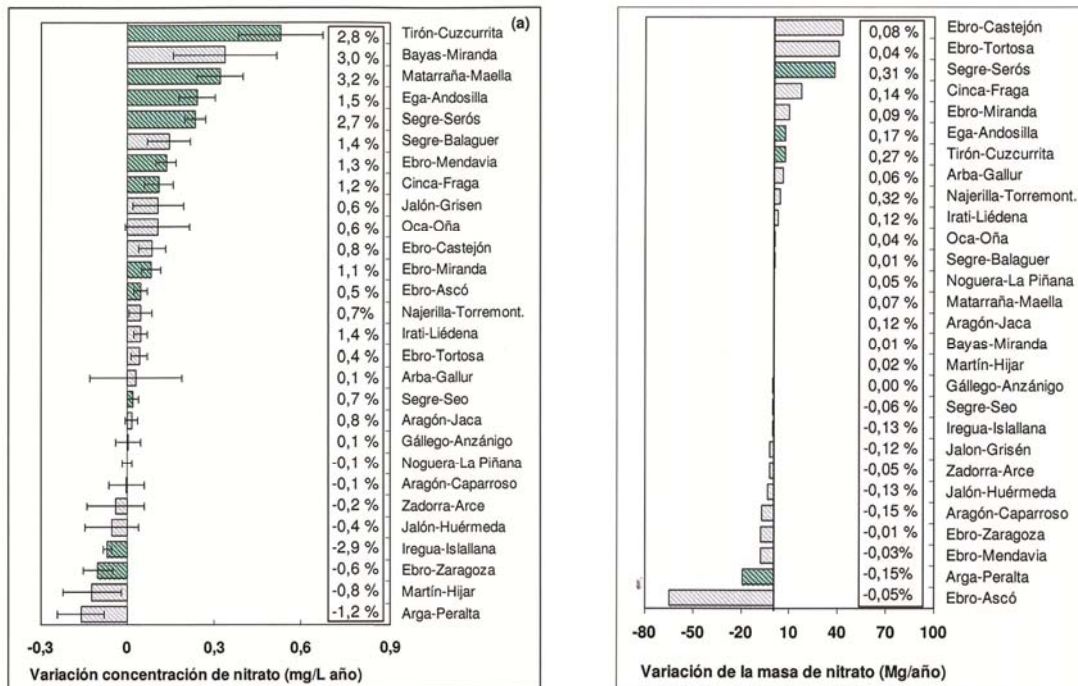
Figura 25: Evolución de la concentración de nitratos en la estación del río Ebro en Tortosa (CHE, 2008d).



La evolución de este parámetro ha sido analizada para 28 estaciones de calidad en CHE (2009c). Se observa que el 29 % de las estaciones analizadas la tendencia es significativa y positiva (Figura 26). Si se realiza el mismo análisis de tendencias para la masa de nitratos exportada se observa que no la mayor parte de ellas no tienen una tendencia marcada y que las dos estaciones del bajo Ebro (Ascó y Tortosa) indican un descenso y un incremento de las masas, respectivamente, lo que pone de relieve que no hay una tendencia marcada en este parámetro.

Lassaletta (2012) realiza un balance global de nitratos en la cuenca del Ebro. Se concluye que la cuenca del Ebro recibe una alta cantidad de nitratos ($5118 \text{ kg N km}^{-2} \text{ año}^{-1}$), el 50 % en forma de fertilizante sintético. Solamente el 8 % de este nitrógeno es exportado al delta del Ebro, indicando una retención de Nitrógeno del 91 %, que es un valor muy alto. Esta elevada tasa de retención dentro de la cuenca evita, por un lado problemas poco severos de eutrofización por liberación de nitrógeno en la zona costera, y por otro pueden llevar a problemas dentro de la cuenca, tales como contaminación de acuíferos y ríos, así como emisiones atmosféricas elevadas.

Figura 26: Concentración de nitratos (izquierda) y masa de nitratos (derecha) registrada en 28 estaciones de aforos de la cuenca del Ebro en el periodo 1975-2008 (CHE, 2009c).



4.5.6.6- Conclusión final respecto a los nutrientes

La descripción del contenido de nitratos y fosfatos en las aguas del bajo Ebro realizada en este apartado apunta a la idea que la masa de nutrientes exportados al delta del Ebro se encuentra estabilizada en la actualidad. Cabe destacar la importante reducción de fosfatos en las aguas observada en torno al año 1995.

El caudal ecológico establecido en la propuesta de proyecto del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro 2010-2015 (CHE, 2012b) mantiene un régimen similar al que se viene realizando hasta ahora y por ello no parece que se vaya a producir un incremento del contenido de nitratos y fosfatos significativo que ponga en riesgo la calidad de las aguas. No obstante se considera recomendable mantener operativo todo el control de las aguas que se viene realizando hasta la fecha para detectar de forma temprana todas aquellas tendencias que puedan recomendar revisar la propuesta de medidas contenidas en la planificación hidrológica en relación a la mejor gestión de todas aquellas prácticas que afectan al contenido de nutrientes de las aguas de la cuenca del Ebro.

4.5.7.- Macrófitos

Desde mitad de 1995 se ha producido una progresiva profusión de macrófitos en los tramos bajos de los ríos de la cuenca del Ebro. Inicialmente el fenómeno comenzó en la zona del Bajo Ebro para posteriormente localizarse en el bajo Segre y en la actualidad esta problemática se está produciendo en el tramo medio del Ebro.

La evolución de los macrófitos en el bajo Ebro ha sido analizada en varios estudios (CHE, 2008e; Montesinos, 2009; CHE, 2010d; ACA, 2008b y 2009b). En todos ellos se realiza un trabajo de caracterización de los macrófitos (especies, hábitat, distribución espacial y temporal,...) y se apuntan distintos factores que justifican su proliferación y se evalúan los efectos de las crecidas artificiales que se vienen realizando desde el año 2002.

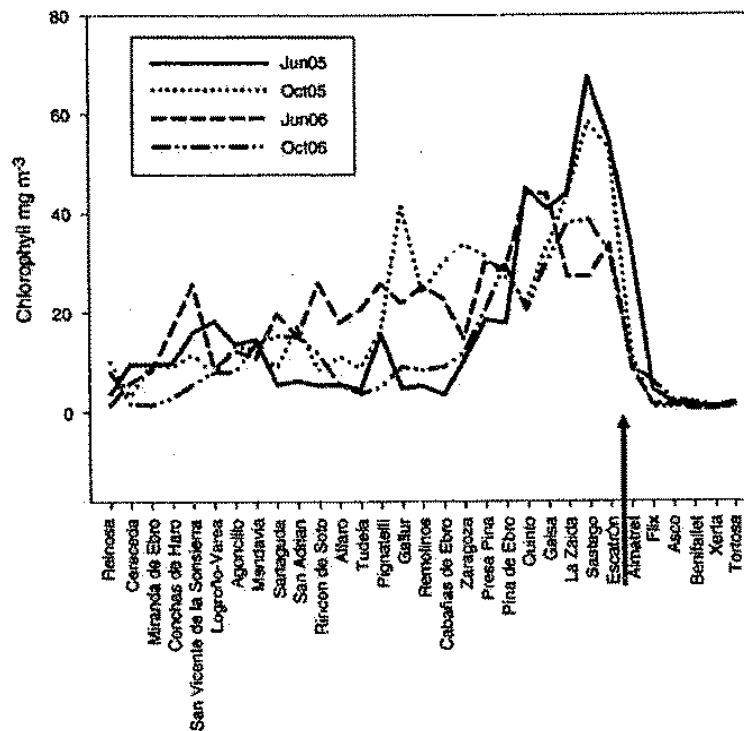
Los macrofitos son especies autóctonas de la cuenca del Ebro pero que no habían sido detectadas en la abundancia en lo que se encuentran en la actualidad. Las especies son:

- *Potamogeton pectinatus* L.
- *Miriophyllum spicatum* L.
- *Ceratophyllum demersum*

Los factores que han condicionado la profusión de estas especies son múltiples:

- Disminución del contenido de fosfato en las aguas a partir del año 1995. Este aspecto se ha descrito en el apartado 4.5.6.3. La disminución del fosfato provocó una menor abundancia de fitoplancton, lo que favoreció una mayor transparencia del agua que mejora las condiciones de luminosidad del río y, por tanto, unas mejores condiciones para el desarrollo de los macrófitos. (Ibáñez, 2008; Sabater et al, 2008).
- Variación del régimen hídrico de las aguas. Esta variación se caracteriza por:
 - + Una mayor constancia de caudales mínimos en los meses de menor caudal. Desde 1996 se mantiene un caudal mínimo constante de 100 m³/s. Esto ha provocado unas condiciones muy regulares de caudal que favorecen el desarrollo de la vegetación.
 - + Menor probabilidad de avenidas debido al efecto laminador de los embalses de la cuenca del Ebro y en especial del embalse de Mequinenza.
- El tiempo de residencia del agua en el río. Este factor ha sido descrito en Sabater et al (2008) en el que estudia la evolución de la clorofila a lo largo del río Ebro y observa que se produce una notable reducción a partir de los embalses de Mequinenza-Ribarroja-Flix (Figura 27). Considera que esta reducción se debe a que el tránsito a lo largo del río desde estos embalses hasta la desembocadura es del orden de 2 días. En este reducido tiempo y favorecido con que en el embalse se produce una disminución del contenido de nitratos, no se llega a desarrollar el fitoplacton, favoreciendo las condiciones de transparencia que favorecen a los macrófitos.

Figura 27: Evolución longitudinal a lo largo del eje del Ebro de la clorofila plantónica in cuatro campañas de muestreo. La presencia de los embalses en el tramo bajo está señalada con una flecha (Sabater et al, 2008).



- Otros factores a los que se ha hecho referencia ha sido la puesta en funcionamiento de las depuradoras de aguas residuales urbanas, el incremento de la temperatura del agua por efecto del cambio climático, la presencia de peces alóctonos, el mayor tiempo de residencia del agua en los embalses (provoca una mayor decantación por lo que hay una mayor transparencia y porque la mayor eutrofia provoca un mayor contenido en potasio de las aguas) y la menor existencia de avenidas provoca una mayor transparencia del agua.

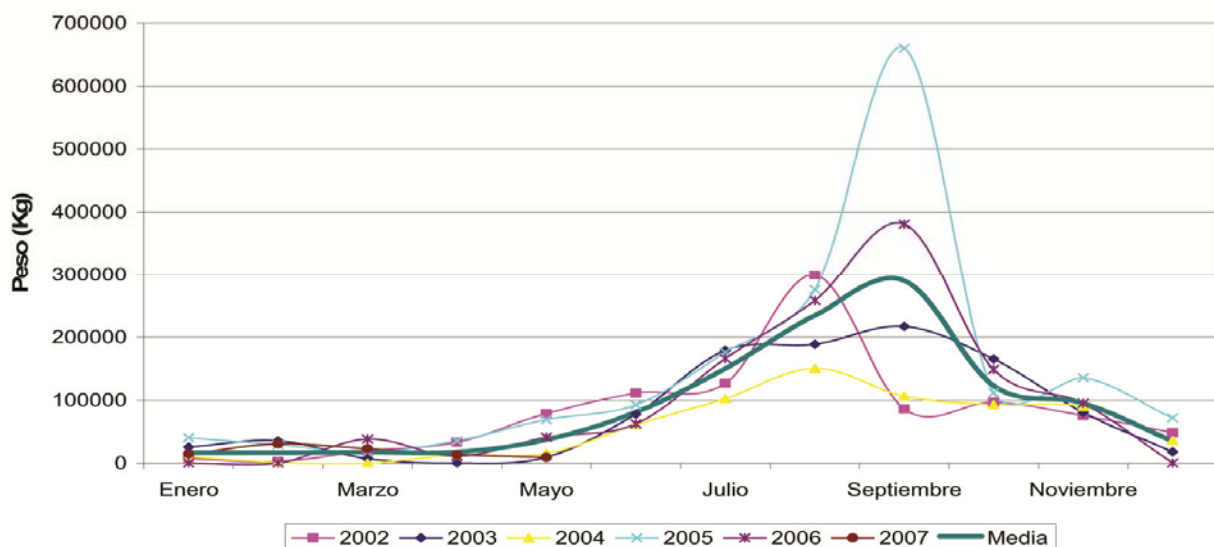
La abundancia de macrófitos tiene consecuencias negativas para:

- Los ecosistemas puesto que afecta a la estructura de las comunidades biológicas
- Los parámetros físico-químicos del agua (temperatura, incidencia de luz, dinámica de los nutrientes).
- Efectos en la sedimentación y regulación del caudal. Se produce una sobre-elevación de la lámina de agua por pérdida de capacidad de transporte del cauce por variación de la sección hidráulica.
- Impactos en los sistemas de riego y en el almacenamiento de agua. La Comunidad General de Regantes de la Margen derecha estudió las medidas más efectivas para evitar los problemas de los macrófitos en sus canales CGRCMDE (2011). En este trabajo se realizaron experiencias en canales de riego instalando membranas de distinto tipo y analizando el proceso de fijación de algas y macrófitos con el objetivo de evaluar distintos métodos para evitar la proliferación de estos organismos. Se evalúa la instalación de membranas, el uso de productos químicos limitantes de la actividad biológica, el efecto de los desecados, de las mallas reductoras de luz, corte y recogida. La conclusión final es que

el método más barato es el desecado durante el máximo tiempo posible. El momento más favorable para el desecado y limpieza después de fuertes lluvia o bajada de arena. También se recomienda el uso de mallas de sombreado especialmente en las zonas de difícil acceso para la limpieza mecánica.

- Taponamiento de las tomas de agua de los aprovechamientos. Destacan los problemas que se generan en las rejillas de la toma de agua para refrigeración en la central nuclear de Ascó, que tiene que proceder a un intenso proceso de limpieza de rejillas en el periodo de mayor abundancia de macrófitos (junio a septiembre) (Figura 28).
- Efectos en la navegación

Figura 28: Masa de macrófitos retirada en las rejillas del sistema de captación de la central nuclear de Ascó para los años indicados y su valor medio conjunto.



Como medidas de mejora de gestión en CHE (2010d) se plantean una colección de líneas de actuación entre las que se puede destacar la mejora del hidrograma de las crecidas artificiales, pasando de un volumen adicional total para la crecida de 36 hm³ hasta 81 hm³. También se ha planteado la poda mecánica con recogida de restos en algunos puntos localizados, monitorización, seguimiento y estudio de las crecidas y también se plantea como posibilidad el estudio de la opción de reducir el caudal mínimo del río en algunos periodos para provocar el desecado de macrófitos en las zonas de ribera.

La propuesta de caudales ecológicos para el bajo Ebro del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro 2010-2015 (CHE, 2012b) recoge la continuación de las crecidas controladas como medida para contribuir a la limpieza y eliminación de los macrófitos y también reduce ligeramente el caudal ecológico en los meses estivales como una medida orientada a incrementar el estrés de las plantas en el periodo de su máximo crecimiento.

4.5.8.- Cuña salina

Si bien durante la década de 1990 se realizaron estudios de caracterización en campo de la situación de la cuña salina (Ibáñez et al, 1999; proyecto PIONEER UPC-UPV), es a partir del año 2000 cuando se realizan estudios detallados de la modelación de la cuña salina en el estuario del río Ebro.

En MIMAM (2001) el Instituto Hidráulico de Cantabria realiza un estudio de la cuña salina en el delta del Ebro a partir de la modelación hidrodinámica calibrada con datos de campo (Figuras 29 y 30). Además realiza una primera evaluación de la velocidad de avance y retroceso de la cuña salina en función del caudal del río Ebro. Se concluye con la necesidad de realizar una gestión del hidrograma que permita sostener un régimen pulsante de la cuña salina y para ello realiza algunas simulaciones con un modelo simplificado en el que simula pulsos de caudal entre 100 y 800 m³/s con la conclusión principal de que ante el pulso de caudal la cuña es desplazada en unos 2 días y ante la disminución del caudal el retroceso completo se realiza en unos 12 días (Figura 31).

Figura 29: Evolución de la posición de la cuña-caudal en el bajo Ebro según distintas fuentes (MIMAM, 2001). Los datos de PHN2000 se obtienen a partir del estudio de la relación lineal entre los caudales medios diarios registrados en la estación de aforos de Tortosa y la profundidad de la interfaz agua dulce-salada en dos puntos de control situados a 6 y 13 km de la desembocadura.

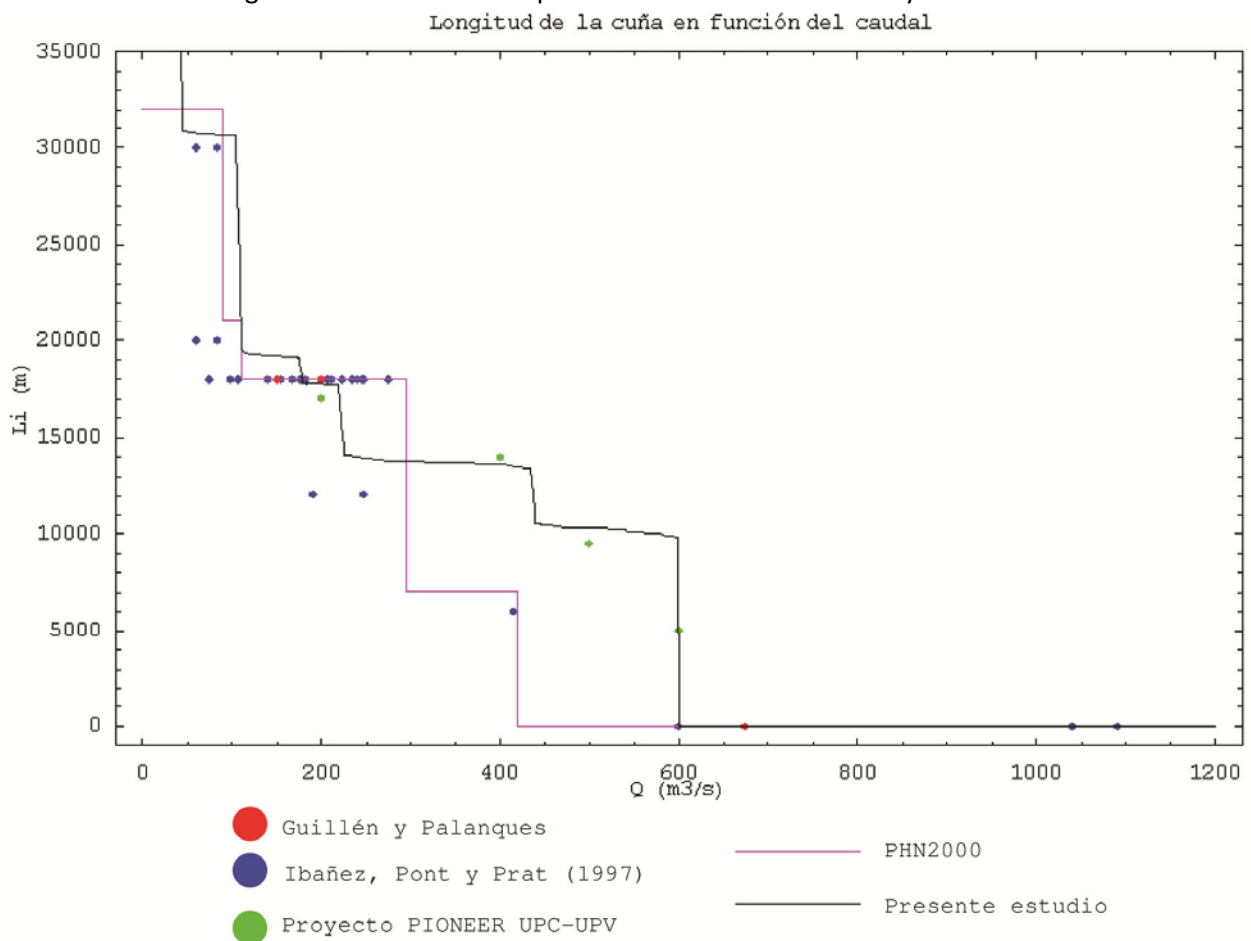


Figura 30: Resultados de la modelación de la cuña salina en el bajo Ebro para los caudales: 40, 100, 168, 200, 300, 400, 500 y 600 m³/s y comparación con datos de calibración MIMAM (2001).

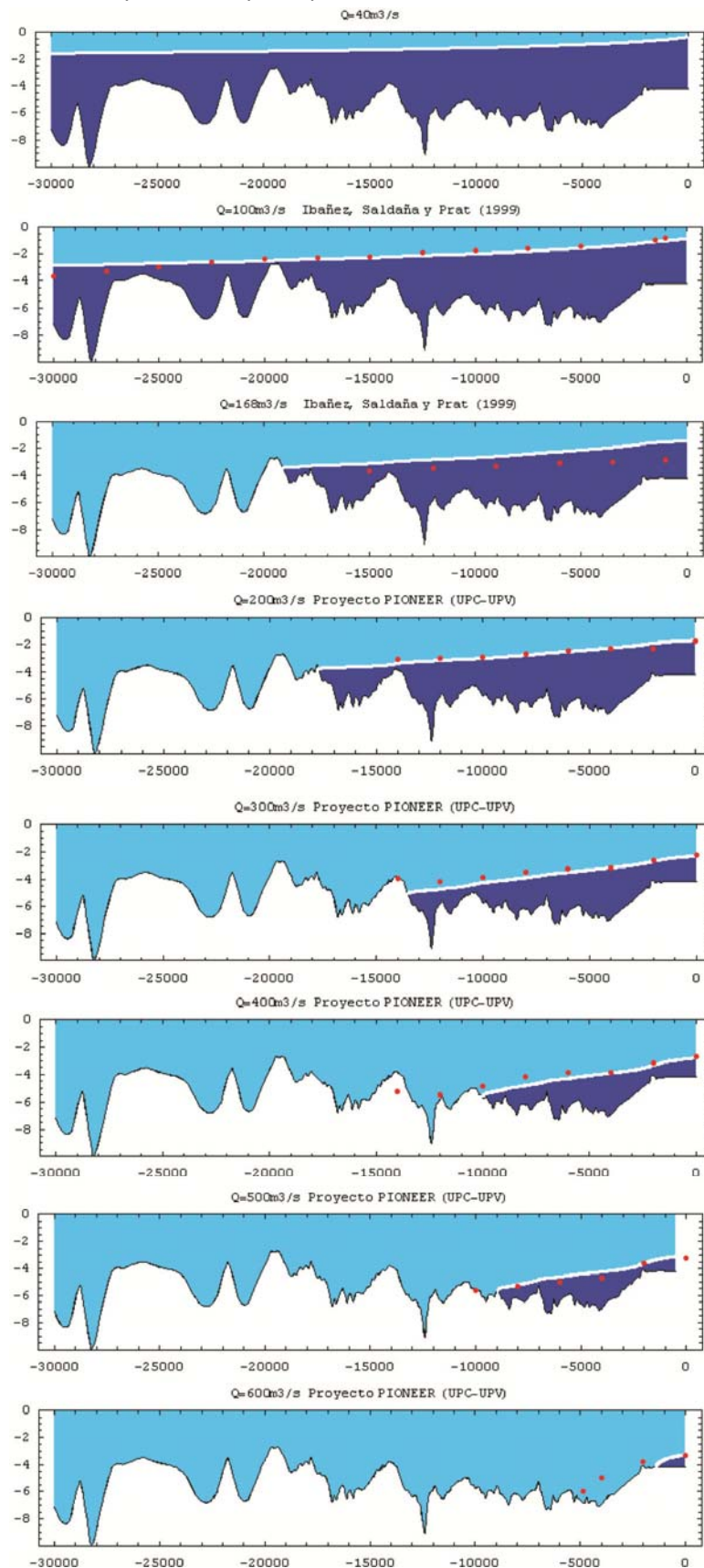
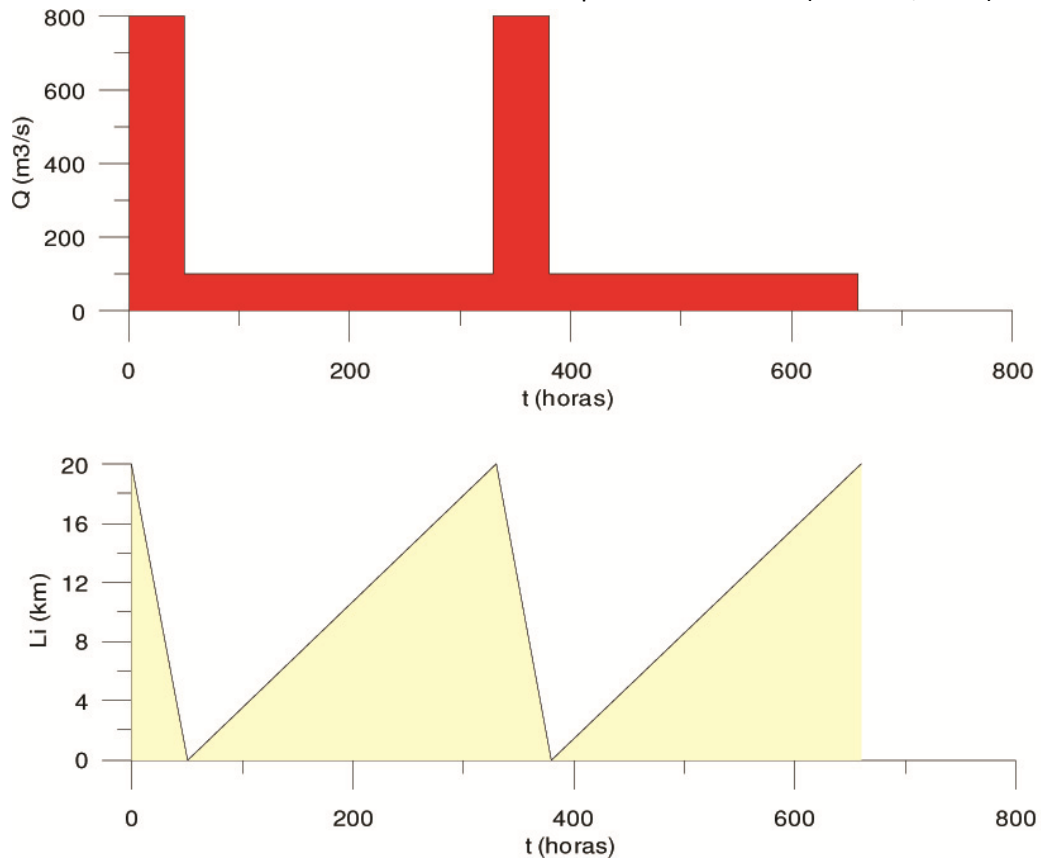
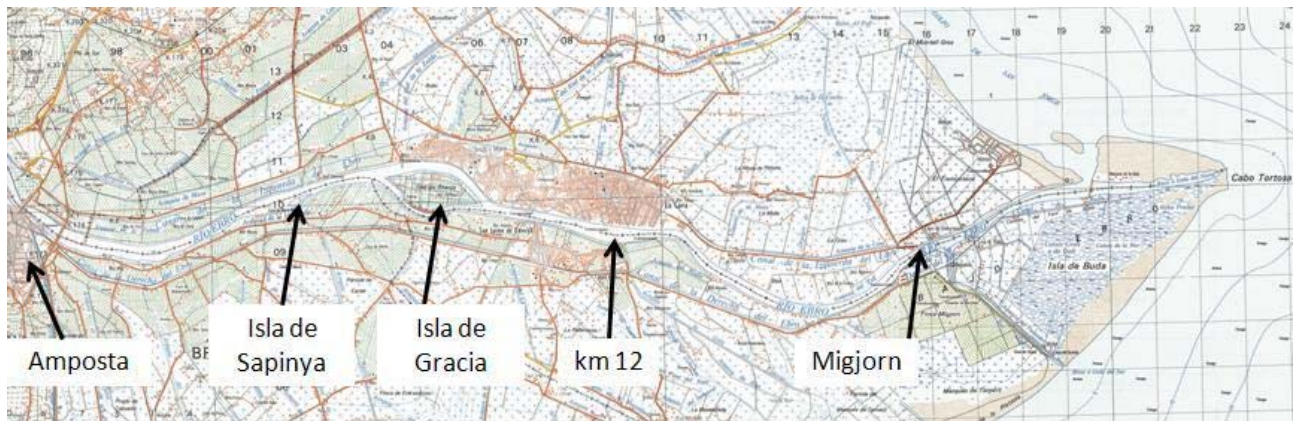


Figura 31: Simulación de la evolución de la cuña ante dos pulsos de crecidas (MIMAM, 2001).

Posteriormente, en Movellán (2003) y Sierra et al (2002) se parte también de los datos del proyecto PIONEER y se realiza una modelación de la cuña salina con el modelo de advección dispersión MIKE 12. Como resultado del modelo, debidamente calibrado, se concluye con que la posición de la cuña varía en función del caudal de la siguiente manera (Figura 32):

Figura 32: Situación de los puntos hasta donde llega la cuña salina en distintos caudales umbrales (ver texto).

- + Con caudales menores de $130 \text{ m}^3/\text{s}$ la cuña llega hasta Amposta.
- + Con caudales entre 130 y $200 \text{ m}^3/\text{s}$ la cuña se encuentra en la Isla de Gracia – Sapinya
- + Con caudales entre 200 y $300 \text{ m}^3/\text{s}$ la cuña llega al kilómetro 12 desde la desembocadura.

- + Con caudales entre 300 y 400 m³/s la cuña llega a Migjorn.
- + Con caudales mayores que 400 m³/s ya no hay cuña salina.

Estos valores son coincidentes con los resultados de los modelos aplicados para la elaboración del informe CPIDE (2003).

Los datos de caudales medidos con bajos caudales indican que el final de la cuña salina se localizó en Amposta en el intervalo de caudales entre 80 y 150 m³/s y que la cuña se desplaza hasta la isla de Gracia con caudales de 130-200 m³/s (CPIDE, 2003). Ello indica que con el régimen de caudales ecológicos mínimos, se va a asegurar que una zona de desplazamiento de la cuña entre Amposta y la Isla de Garcia. Con crecidas y con las aguas no reguladas la cuña se desplazará en más ocasiones hacia la desembocadura.

Puede concluirse que a la vista de la información disponible una disminución del caudal ecológico mínimo de 100 m³/s hasta 80 m³/s no parece que vaya a afectar a la penetración de la cuña salina. La modulación de los caudales ecológicos propuesta en CHE (2012b) que incorpora los caudales de crecidas permitirá una mayor movilidad de la cuña marina. Esta mayor movilidad es considerada como beneficiosa para el estado de las aguas del estuario puesto que favorece la renovación de las aguas.

Para evitar que la cuña penetre más allá de Amposta se recomienda que se modifique el régimen de caudales ecológicos. En estudios anteriores se ha partido de que la condición de que la cuña no ha de sobrepasar Amposta, aunque históricamente se han registrado episodios de muy bajos caudales en los que la cuña ha llegado hasta Tortosa. La discusión sobre la penetración óptima de la cuña y el ritmo de renovación son aspectos que habrán de ser analizados en futuros estudios.

Tal y como se ha demostrado en CHE (2008b, 2009b) y Jiménez (2010) la cuña salina no tiene efectos sobre el conjunto de los acuíferos del delta puesto que su permeabilidad es muy baja. La renovación de la cuña salina, recuperando episodios de estrés y crecidas, es un factor que se ha de tener en cuenta para la mejora de la calidad de las aguas del tramo bajo del río Ebro.

4.5.9.- Componente eustática y cambio climático

El mayor impacto del cambio climático que se prevé para el delta del Ebro lo constituye la elevación del nivel del mar. Otros efectos que podrían afectarle en menor magnitud podrían ser la disminución de las aportaciones procedentes de la cuenca del Ebro, que han sido evaluadas en un 5 % respecto a la serie 1980-2006 al horizonte 2027 (Gobierno de España, 2008).

En MARM (2011) se realiza la evaluación del impacto climático en los recursos hídricos españoles y para la cuenca del Ebro se concluye que la disminución media de la escorrentía respecto al periodo 1967-1990 sería del 9 % en el periodo 2011-2040, 13 % en el periodo 2041-2070 y 16 % en el periodo 2071-2100. La recarga subterránea a los acuíferos disminuiría en un 7, 11 y 14 % respectivamente.

En Pisani et al (2011a y b) y Samper et al (2011) se realiza un estudio sobre el impacto del cambio climático en el acuífero aluvial de Tortosa y en la plana de La Galera en los que se concluye que la recarga media disminuirá en un 20 % respecto a la recarga media del periodo 1959-2008. En el aluvial de Tortosa la

recarga disminuirá en un 5 % en el periodo 2021-2050 y un 13 % en el periodo 2070-2099. Estas disminuciones de la recarga llevarán asociadas unas reducciones semejantes en el valor de las descargas.

Pero el efecto más importante del cambio climático en el delta viene dado por el incremento relativo del nivel del mar producido por la elevación previsible del nivel del mar y al fenómeno de la subsidencia. En Ibáñez et al (2010) se hace referencia a un ascenso del nivel del mar de 3 mm/año (a partir de estimaciones del IPCC en 2007) y una tasa de subsidencia media de 2 mm/año en la parte central del Delta y de 6 mm/año en las áreas de mayor subsidencia situadas cerca del mar. Ello supone un valor de ascenso relativo del nivel del mar medio entre 5 y 8 mm/año para el delta del Ebro. Estas cifras serían comparables a las estimadas para el delta del Mississipi (mayor de 1 cm/año), delta del Nilo (5 mm/año), en Venecia la extracción de aguas subterráneas que se produjo entre 1940 y 1960 provocó una subsidencia de 8 mm/año, la extracción de gas natural en el delta del Po ha causado una subsidencia total de hasta 3 metros en algunas zonas (Day, 1996). Los valores de subsidencia del delta del Ebro han sido analizados en el Apartado 4.5.1 concluyéndose que no está claramente probado el proceso de subsidencia global del delta desde la construcción de los embalses de Mequinenza-Ribarroja-Flix.

Los efectos del cambio climático en el delta del Ebro han sido estudiados recientemente de forma detallada en Generalitat de Catalunya (2008), donde se ha realizado una simulación del estado del delta en:

- A: Horizonte temporal de 2050 con un ascenso del nivel medio del mar de 15 cm (escenario A1B de IPCC, 2007)
- B: Horizonte temporal de 2100 con un aumento del nivel del mar de 40 cm (escenario A1B de IPCC, 2007)
- C: Horizonte temporal de 2100 con un aumento del nivel del mar de 1 m (escenario pesimista de IPCC, 2007)

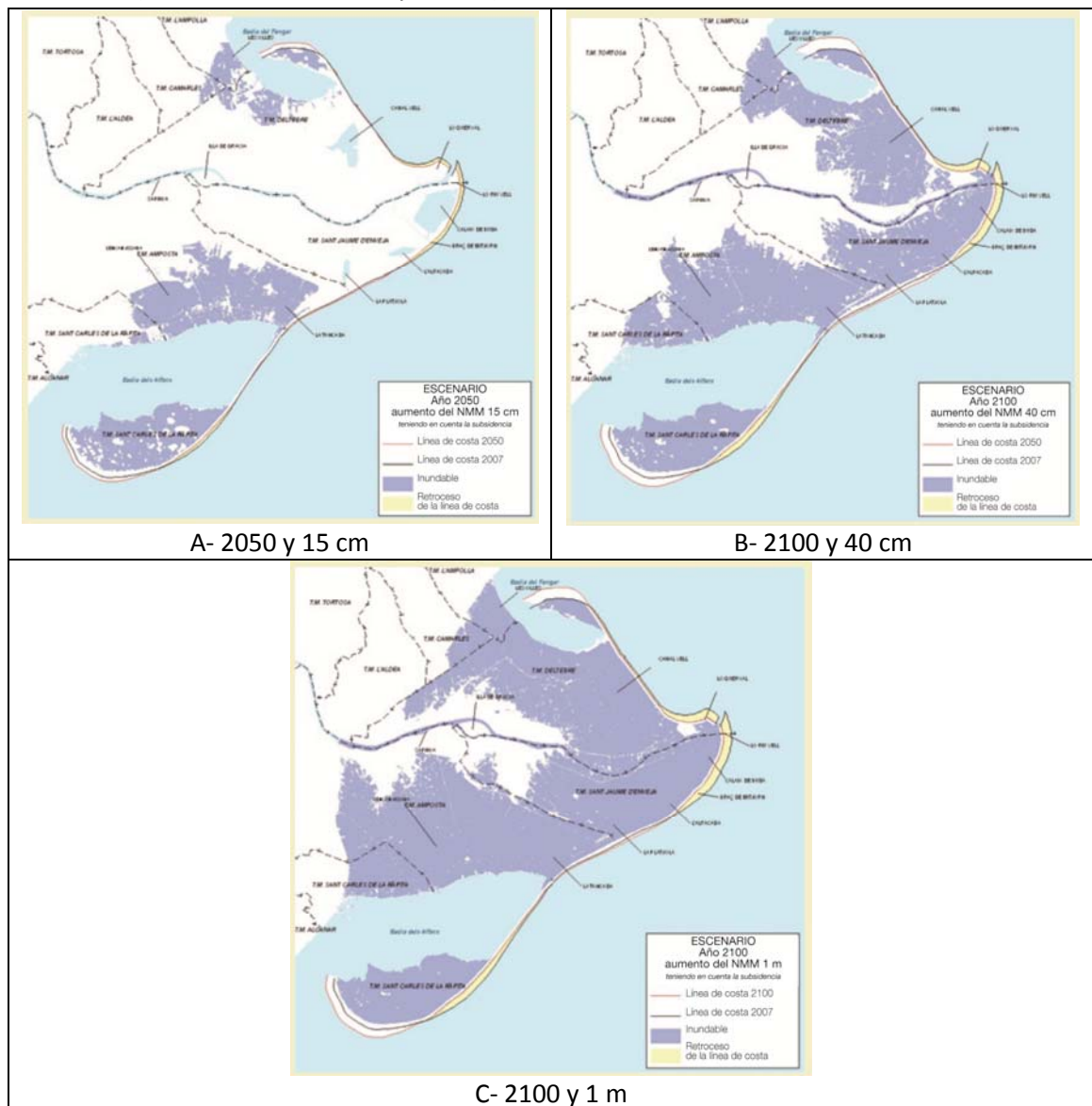
Los resultados de las simulaciones muestran un retroceso de la línea de costa que se muestra en la Tabla XIX y en el que se observa que se producen retrocesos en todo el frente de costa excepto en las zonas de la punta del Fangar y de la punta del Banyà y también en las playas de los Eucaliptus, Serrallo y Migjorn.

Se estima que únicamente 6.688 ha de arrozales no están en riesgo de ser inundados (Figura 33). Ello supone el 27 % de la superficie total destinada al cultivo del arroz en el delta del Ebro. Además habrá otras afecciones a sectores como la pesca marina y continental, la acuicultura, los recursos turísticos, zonas urbanizadas (Riumar, Poblenoy del Delta, Els Muntells u Els Eucaliptus) y a los espacios naturales.

Tabla XIX: Retroceso medio total de la línea de costa en metros respecto a la línea de costa de 2007 (Generalitat de Catalunya, 2008). En positivo: retroceso de la costa; en negativo: avance de la costa.

	Escenario A 2050-0,15cm	Escenario B 2100-0,40 cm	Escenario C 2100-1 m
Península del Fangar	-339	-729	-694
Playa de la Marquesa	20	50	90
Playa de Riumar y Cap Tortosa	205	448	488
Playa de Serrallo y playa Migjorn	-111	-235	-197
Playa de los Eucaliptus	-68	-142	-106
Playa del Trabucador	16	40	76
Salinas de la Trinidad	158	346	383
Punta de la Banya	-245	-526	-494

Figura 33: Prognosis de las zonas inundables considerando varias hipótesis de aumento medio del nivel del mar (Generalitat de Catalunya, 2008).



Las medidas de adaptación al cambio climático para el delta del Ebro propuestas en Generalitat de Cataluña (2008) son:

- Medidas de gestión, planificación y normativa: crear una figura de observación y de seguimiento de los efectos del cambio climático en el delta, elaborar un plan director de medidas de adaptación y prevención, adecuación del dominio público marítimo terrestre en las previsiones de riesgo de aumento del nivel del mar, adaptación del plan territorial y sectorial, adaptación del planeamiento urbanístico en las zonas de riego, adaptar los límites de las figuras protegidas, incorporar los criterios constructivos y de evaluación técnica necesarios, establecer sistemas de control y prevención sanitarios, establecimiento de sistemas de control y prevención para prevenir plagas y enfermedades que afecten a la producción agrícola, piscícola y marisquera y establecer sistemas de control de calidad ambiental
- Medidas para la obtención y gestión de datos y elaboración de estudios. Se prevé la realización de batimetrías y cartografías detalladas de la costa, seguimiento de la subsidencia, estado de la cuña salina, poblaciones de especies singulares, conservación del patrimonio genético, control de lagunas, bahías y zonas húmedas, impacto en los diferentes sectores productivos, estudio sobre el uso de variedades de arroz con menores requerimientos hídricos, sistemas de optimización de recursos hidrológicos, control de parásitos y otros vectores de plagas, evaluación de la funcionalidad de infraestructuras costeras, valoración de los reservorios de arena, elaboración de prognosis y seguimiento de las mismas. La importancia de la realización de estudios científico técnicos rigurosos ha sido subrayada recientemente en un estudio sobre la
- Medidas para la información y sensibilización ciudadana: programas específicos y desarrollo de sistemas de alerta.
- Medidas de intervención directa:
 - + Sobre problemas ambientales: medidas para resolver la falta de acreción vertical, (aprovechamiento de los sedimentos de los embalses, potenciar zonas húmedas, aprovechamiento de los limos de las bahías para rellenar las zonas más bajas de la plana deltaica), medidas para resolver la problemática de la cuña salina, minimización de la rigidización en la costa, instalar filtros verdes y regulación de los efluentes que se viertan en lagunas y bahías.
 - + Medidas generales: en la línea de costa se plantean medidas de diversa índole en función de la zona (no intervención, redefinición gestionada, medidas duras y medidas blandas, medidas para ganar terreno al mar), formación de sistemas dunares, compensación de hábitats naturales, abandono progresivo de áreas urbanas y actividades en zonas de riesgo, construcción de motas, regeneración de playas, medidas dirigidas al mantenimiento de un caudal mínimo en el río Ebro y medidas destinadas a garantizar el libre movimiento de la arena.

4.5.10.- Navegación

El delta del Ebro fue una importante vía fluvial hasta el siglo XIX en que los cambios producidos en la sociedad produjeron un abandono del medio rural y una transformación de los medios de comunicación y transporte con el desarrollo del motor de explosión. A ello se sumó la construcción de los embalses de Mequinenza, Ribarroja y Flix en torno a la mitad del siglo que supusieron unas barreras hidráulicas que impedían el tránsito de los barcos.

Durante los años 80 y primeros de los 90 se realizaron estudios para la recuperación de la navegación en el Ebro. Esta navegación fluvial tenía un objetivo de desarrollo turístico de la zona. En 1996 el organismo responsable de gestionar la recuperación y mantenimiento de la navegabilidad en el bajo Ebro es el Instituto para el desarrollo de las comarcas del Ebro (IDECÉ) que plantea una serie de actuaciones para favorecer la navegabilidad.

Entre estas actuaciones destaca la construcción de 24 embarcaderos, 6 de los cuales disponen de una rampa de bajada para vehículos (Amposta, Tortosa, Cherta, Móra la Nova-Móra d'Ebre y Garcia) y también se ha rehabilitado la esclusa de Cherta para facilitar el paso de embarcaciones. Con ello se ha conseguido un río navegable desde Ascó hasta la desembocadura con las siguientes características:

- Desde Ascó a Tortosa, con un canal navegable de entre 20 y 50 m de anchura y una profundidad de 1,5 metros. Con ello se permite el paso de embarcaciones que tienen un calado de 0,8m.
- Desde Tortosa hasta Amposta, con un canal navegable de de entre 20 y 50 m de anchura y una profundidad de 2 m que permiten el paso de embarcaciones que tienen un calado de 1,5 m.
- Aguas abajo de Amposta el cauce se hace más profundo y no se requieren medidas de adaptación del cauce.

El caudal mínimo para que el río sea navegable es de 125 m³/s desde Ascó hasta el azud de Cherta y de 80 m³/s desde este azud hasta Tortosa (Generalitat de Catalunya, 2010). Estos valores indican que la propuesta de caudales ecológicos establecida en CHE (2012b) permite el desarrollo de las actividades de navegación. Las experiencias históricas de navegación con caudales de estiajes bajos indican que los caudales propuestos en Generalitat de Catalunya (2010) están claramente del lado de la seguridad.

5.- CONCLUSIONES

Se ha realizado un análisis de los estudios relacionados con los aspectos ambientales principales del bajo Ebro como resultado del cual se ha propuesto un régimen de caudales ecológicos en la masa de agua 463 (río Ebro desde el río Canaleta hasta la estación de aforos 27) y en la desembocadura. En la estación de aforos de Tortosa se ha establecido un caudal ecológico mínimo de 80 m³/s, caudal muy superior al observado en las series históricas antes de la puesta en funcionamiento de los embalses de Mequinenza-Ribarroja-Flix por lo que se tiene evidencia empírica de que estos caudales son asumibles por el medio natural.

El régimen de caudales ecológicos mensual para la estación de aforos de Tortosa es:

Datos en m³/s

oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
80	80	91	95	150	150	91	91	81	80	80	80

Que supone un volumen anual destinado a satisfacer las necesidades ambientales en la estación de aforos del río Ebro en Tortosa de 3.010 hm³/año a los que hay que añadir las dos crecidas puntuales de 1.000-1.500 m³/s para renaturalizar el régimen de caudales y especialmente para la reducción de la invasión de macrófitos. Este caudal es un 300 % superior al resto de caudales establecidos en los ríos de la cuenca del Ebro. Esto es posible gracias a la capacidad de regulación del embalse de Mequinenza (principalmente).

Los caudales mínimos del conjunto del delta están formados por los caudales mínimos que se fijan para la estación de aforos de Tortosa, los caudales generadores de crecidas, los caudales aportados al delta por los canales de la margen derecha e izquierda del Ebro con carácter ambiental, sin perjuicio de la preeminencia de los derechos concesionales que asisten a dichos canales y la descarga natural de agua subterránea. En el Ebro en desembocadura se estiman los siguientes valores:

Datos en m³/s

oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
80	100	100	120	150	155	100	100	100	100	100	80

Que supone un volumen anual destinado a satisfacer las necesidades ambientales de 3.370 hm³/año.

Se ha realizado un exhaustivo estudio sobre los distintos aspectos ambientales del tramo bajo del río Ebro y de su delta (subsistencia y sedimentos, modificación morfológica, hábitat de especies singulares, efectos ambientales de los caudales aportados al delta y las bahías, descargas subterráneas del delta, aportes de sales y nutrientes –salinidad, evolución del pH, temperatura, fosfatos y nitratos-, macrófitos, cuña salina, componente esutática y cambio climático y navegación). La conclusión principal del análisis realizado es que el régimen de caudales propuesto es compatible con la conservación de las características ambientales del delta del Ebro. No obstante atendiendo al criterio de prudencia se considera que es necesario continuar con la realización de todos aquellos estudios dirigidos a evaluar la evolución futura del funcionamiento ambiental del delta del Ebro.

El principio de unidad de cuenca y tratamiento integral desde Reinosa al Delta y desde los Pirineos hasta la Cordillera Ibérica es una fortaleza para el mantenimiento de todo el medio hídrico de la cuenca del Ebro.

6.- BIBLIOGRAFÍA

- ACA (2005) “Pla sectorial de cabals de manteniment de les conques internes de Catalunya”. Disponible en: http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=B4600133811219996387000&_nfls=false.
- ACA (2007) “Propuesta de caudales ambientales del tramo final del río Ebro”. Documento de discusión preparado para la Comisión de Sostenibilidad de las Tierras del Ebro por encargo de la Agencia Catalana del Agua y el equipo técnico del PIPDE y elaborado por la Unidad de Ecosistemas Acuáticos del IRTA. Informe inédito.
- ACA (2008a) “Estudis de valoració i determinació del règim de cabals ambientals al tram baix del riu Ebre al seu pas per Catalunya”. Entidad colaboradora: IRTA. 58 páginas. Disponible en: http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/planificacio/cabals/cabals_ambientals_baix_ebre_2008.pdf
- ACA (2008b) “Estudi de la dinàmica de poblacions de macròfits al tram baix del riu Ebre”. Entidad colaboradora: IRTA. Informe inédito.
- ACA (2009a) “Balanc de sediment del tramo final del riu Ebre. Document Preliminar”. Entidad colaboradora: IRTA. Informe inédito.
- ACA (2009b) “Estudi per a la delimitació de les zones amb presència de macròfits al tram baix del riu Ebre”. Entidad colaboradora: IRTA. Informe inédito.
- ACA (2010) “Plan de gestió del districte de conca fluvial de Catalunya”. Disponible en: http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P29600129321280749434777&_nfls=false.
- Alberto Giménez, F. (1989) “La desertización por salinización en el valle del Ebro”. Azara, nº 1, pp 45-53.
- Alcacer-Santos, C. (2004) “Evaluación y provisión de caudales ambientales en los cursos de agua mediterráneos. Conceptos básicos, metodologías y práctica emergente. Estudio de caso mediterráneo: Delta del Ebro (España). Nexos entre los planes de gestión de humedales y cuencas hidrográficas”. Estudio elaborado por el Centro para la cooperación Mediterránea de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Disponible en: http://www.uicnmed.org/web2007/cdf/flow/conten/2/pdf/2_6_Espana_MedCS.pdf.
- Avendaño Salas, C.; Sanz Montero, M.E.; Cobo Rayán, R.; Gómez Montaña, J.L. (1996) “Aportes de sedimentos a los embalses españoles y su relación con la superficie de la cuenca”. En: Actas de las V

Jornadas españolas de grandes presas: Corrección hidrológica de cuencas y aterramiento de embalses. Edita: Comité Nacional Español de Grandes Presas. Valencia.

Batalla, R.; Vericat, D. (2009) "Hydrological and sediment transport dynamics of flushing flows: implications for management in large mediterranean rivers". *River Research and applications* 25: 297-314.

Boqueira Margalef, M.; Quiroga Raimúndez, V. (2001) "De la saboga al silur. Pescadores fluvials de l'Ebre a Tivenys". Edita: Generalitat de Catalunya. Temes d'Etnología de Catalunya nº 1. 141 páginas.

Bouza Deaño, R; Ternero Rodríguez, M.; Fernández Espinosa, A. J. (2004) "Métodos no paramétricos para la detección de tendencias de calidad de aguas. Aplicación a datos históricos del río Ebro (España) 1981-2000". En: *Actas del IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua*, Tortosa. Disponible en: http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CFAQFjAA&url=http%3A%2F%2Farea.us.es%2Fiberico%2Farchivos_word%2F232b.doc&ei=LEfYT8KaNqX80QXy_uibBA&usq=AFQjCNGmnGg-mzr6vCOcfEHrb8NTC114iA&sig2=7Gd-bvHKNKIUbyAQJB-Bg.

Bouza Deaño, R. (2006) "Estudio y evolución espacio-temporal de tendencias en datos históricos de calidad de aguas. Aplicación a la cuenca hidrográfica del río Ebro (1981-2005)". Tesis doctoral por la Universidad de Sevilla. 481 páginas. Disponible en: <http://fondosdigitales.us.es/tesis/tesis/397/estudio-y-evolucion-espacio-temporal-de-tendencias-en-datos-historicos-de-calidad-de-aguas-aplicadas-a-la-cuenca-hidrografica-del-rio-ebro-1981-2005/>.

Capapé Miralles, S. (2010) "Geometría hidráulica de la vall de l'Ebre a l'estiaje de 1863". Tesina de especialidad de la Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible en: http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12601/1/TFC_SCM.pdf.

Capapé Miralles, S.; Martín Vide, J.P. (2012) "Morfología del río Ebro en el estiaje de 1863 y deducción de un caudal mínimo". *Revista de Obras Públicas* nº 3.530, año 159, pp 25-32.

CGRCMDE-CRSAE (2008) "Alegaciones al esquema de temas importantes del plan hidrológico de cuenca". Incluido en "documento ETI-004 de alegaciones de la Federación de regantes del Ebro presentado al Esquema de Temas Importantes". Alegación conjunta de la Comunidad General de Regantes del Canal de la Derecha del Ebro y de la Comunidad de Regantes del sindicato Agrícola del Ebro. Disponible en: <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=4159&idMenu=3040>.

CGRCMDE (2011) "Formación de biopelículas sobre plásticos y cemento". Entidad colaboradora: Facultad de Farmacia de la Universidad de Barcelona. 54 páginas.

CEDEX (1998) "Realización del asesoramiento técnico en temas ambientales relacionados con las obras hidráulicas: Metodología de cálculo de regímenes de caudales de mantenimiento". Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX, 241 páginas.

CHE (1991) "Estudio de los recursos hídricos subterráneos de los acuíferos de la margen derecha del Ebro. Zona III. Acuíferos de la zona baja". Informe Inédito.

- CHE (1993) "Estudio de recursos de la cuenca del Ebro". Oficina de Planificación Hidrológica. Informe Inédito. Series disponibles en: <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=18341>.
- CHE (1996) "Propuesta del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro". Disponible en: <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=7991&idMenu=3400>.
- CHE (2001) "Estudio hidrogeológico del sector central de la U.H. del aluvial de Urgell y del sector sur de la U.H. del bajo Enro-Montsiá". Entidad colaboradora: Fundación Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Informe inédito.
- CHE (2002) "Caracterización de las alteraciones de régimen hidrológico sufridas en las estaciones de aforos de la cuenca del Ebro". Disponible en: <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=14297&idMenu=3085>.
- CHE (2003) "Análisis y restitución al régimen natural de las estaciones de aforo de la cuenca del Ebro". Entidad colaboradora: INCISA. Informe inédito.
- CHE (2005a) "Consultoría y asistencia técnica para la realización del estudio de la fauna ictícola en las aguas del bajo Ebro". Entidad colaboradora: Interlab. Informe inédito.
- CHE (2005b) "Estudio hidrogeológico de los acuíferos de la plana de la Aldea (Tarragona) y del tramo medio de la rambla de la Ribota (Zaragoza). Entidad colaboradora: Fundación Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Informe inédito.
- CHE (2007a) "Criterios para la implantación de caudales ecológicos. Esquema de temas importantes Plan Hidrológico". Entidad colaboradora: IRTA. Forma parte de la asistencia técnica titulada: "Informes expertos investigadores y universitarios. Esquema de temas importantes (2007)". Disponible en: <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=5793&idMenu=3043>.
- CHE (2007b) "Criterios sobre implantación de caudales ambientales. Esquema de temas importantes. Plan Hidrológico (2007). Entidad colaboradora: COAGRET y Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=5789&idMenu=3043>.
- CHE (2008a) "Elaboración de un informe sobre validación biológica del régimen de caudales del tramo bajo del río Ebro. Esquema de temas importantes plan hidrológico". Entidades colaboradoras: Plataforma en Defensa del Ebro y unidad de ecosistemas acuáticos del IRTA. Informe disponible en:
- CHE (2008b) "Diseño y acondicionamiento de una red de control de variables ambientales para controlar la incidencia de la lengua salina de la desembocadura del río Ebro en el acuífero superficial del delta". Entidad colaboradora: ANPHOS. Disponible en: <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=23427&idMenu=3920>.
- CHE (2008c) "Atlas comparativo 1926-2002 del río Ebro entre Escatrón y el Delta del Ebro". Entidad colaboradora: Intecsa-Inarsa. Documento elaborado para el proceso de participación pública del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro 2010-2015. Documento Inédito.

- CHE (2008d) "Plan Hidrológico del eje del río Ebro desde el río Martín hasta su desembocadura". Documento elaborado para el proceso de participación pública del plan hidrológico 2010-2015. Disponible en: <http://194.143.220.68/contenido.visualizar.do?idContenido=9169&idMenu=2716>.
- CHE (2008e) "Vuelo multiespectral para la caracterización de macrófitos". Entidad colaboradora: GEOSYS. Disponible en: http://195.55.247.234/webcalidad/estudios/2008_macrofitos_vuelo_completo.pdf.
- CHE (2009a) "Aportación al diagnóstico ambiental en grandes ejes de ambiente mediterráneo de la cuenca del Ebro". Entidad colaboradora: Universidad de Lleida. Informe inédito.
- CHE (2009b) "Estudio de la incidencia de la lengua salina de la desembocadura del río Ebro en el acuífero superficial del delta". Disponible: <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=23427&idMenu=3920>.
- CHE (2009c) "Análisis de tendencias de masas exportadas en la cuenca del Ebro". Entidad colaboradora: CITA-DGA. Disponible en: <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=14417&idMenu=3087>.
- CHE (2010a) "Evaluación de la efectividad de la escala de peces del azud del río Ebro entre 2007 y 2010". Entidad colaboradora: United Research Services España, S.L. Disponible en: http://195.55.247.234/webcalidad/estudios/2010_Evaluacion_escala_Xerta.pdf
- CHE (2010b) "Levantamiento de variables de hábitat en el entorno del azud de Xerta (río Ebro). Entidad colaboradora: Ecohydros. Informe inédito.
- CHE (2010c) "Estudio del comportamiento de la saboga en el bajo Ebro durante la fase reproductora". Entidad colaboradora: Ecohydros. Informe inédito.
- CHE (2010d) "Asistencia técnica para el control de macrófitos: mejora de la gestión de los embalses del bajo Ebro". Entidades colaboradoras: URS, ENDESA, Universidad de Girona, Universidad de Lleida y Central Nuclear de Ascó. Disponible en: http://195.55.247.234/webcalidad/estudios/indicadoresbiologicos/2011_Control_Macrofitos_Bajo_Ebro.pdf.
- CHE (2011a) "Muestreo cuantitativo de peces en el bajo Ebro entre Ascó y Cherta". Entidad colaboradora: Ecohydros. Informe interno.
- CHE (2011b) "Estudio cuantitativo de la ictiofauna y modelado de su hábitat en un tramo del bajo Ebro". Entidad colaboradora: Ecohydros. Informe interno.
- CHE (2012a) "Caracterización de la ictiofauna de la cuenca del Ebro a partir de los inventarios realizados entre 1996 y 2010". Entidad colaboradora: Tragsatec. Informe interno.

CHE (2012b) "Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro". Disponible en: <http://www.chebro.es:81/Plan%20Hidrologico%20Ebro%202010-2015/>.

CHE (2012c) "Nivelación de alta precisión en tres referencias del Canal de la Margen Izquierda del delta del Ebro y comparación con las cotas medidas en 1927". Estudio realizado por la Sección de Topografía de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Informe inédito.

CHE (2012d) "Evolución del pH y de la temperatura del agua de los ríos de la cuenca del Ebro". Entidad colaboradora: INTECSA-INARSA. Informe inédito.

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2010) "Propuesta de proyecto del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del río Guadalquivir". Disponible en <http://www.chguadalquivir.es/opencms/portalchg/planHidrologicoDemarcacion/participacionPublica/consultaPublica/>.

Confederación Hidrográfica del Júcar (2009) "Esquema provisional de temas importantes". Disponible en: <http://www.chj.es/es-es/ciudadano/consultapublica/Paginas/Consultap%C3%BAblicadelEsquemaprovisionaldeTemasImportantes.aspx>

Confederación Hidrográfica del Miño (2011) "Propuesta de proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del río Miño". Disponible en <http://www.chminosil.es/contenido.php?mod=0&id0=4&id1=122>.

CPIDE (2003) "Plan integral de protección del delta del Ebro". Documento borrador elaborado por el Consorcio para la Protección Integral del Delta del Ebro. Inédito.

CSHE (1927) "Nivelaciones de precisión por las márgenes del río Ebro". Entidad Colaboradora: Instituto Geográfico Catastral. Estudio realizado por encargo de la Confederación Sindical Hidrográfica de la cuenca del Ebro.

Custodio, E. (2010) "Coastal aquifers of Europe: an overview". *Hidrogeology Journal* (2010) 18: 269-280.

Day, J.W. (1996) "L'impacte de l'home sobre els deltes. Bases per a una gestió sostenible". En: Conferència sobre Desenvolupament Sostenible i Conservació del delta de l'Ebre (1995 : Sant Carles de la Ràpita). Deltebre : SEO, pp 11-16.

De Mesa, Pedro Antonio (1865) "Reconocimiento hidrológico del valle del Ebro. Reeditado por la Confederación Hidrográfica del Ebro en el año 2009.

FNCA (2006) "Propuesta de caudales ambientales para el Ebro". Entidad colaboradora: IRTA. Informe inédito.

Franquet Bernis, J.M. (2004) "Determinación del caudal mínimo medioambiental del río Ebro en su tramo final". En: Actas V Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua, Tortosa.

- Franquet Bernis, J.M. (2009) "El caudal mínimo medioambiental del tramo inferior del río Ebro". Edita: UNED-Tortosa. 325 páginas.
- García Ruiz, J.M.; López Bermúdez, F. (2009) "La erosión del suelo en España". Ed: Sociedad Española de Geomorfología.
- Generalitat de Catalunya (2006) "Resolució MAH/2465/2006, de 13 de juliol, per la qual es fa públic l'Acord del Govern de 4 de juliol de 2006, pel qual s'aprova el Pla sectorial de cabals de manteniment de les conques internes de Catalunya". DOGC nº 4685 de 27 de julio, 33808-33821.
- Generalitat de Catalunya (2008) "Estudios de base para una estrategia de prevención y adaptación al cambio climático en Cataluña. Número 1: el delta del Ebro. Documento de síntesis". Disponible en: <http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Campanyes%20i%20comunicacio/Publicacions/Publicacions%20de%20Oficina%20Catalana%20del%20Canvi%20Climatic/Estudi%20del%20delta%20de%20Ebre/DMAH%20interior%20complet.pdf>.
- Generalitat de Catalunya (2010) "Plan territorial de les Terres de l'Ebre". Aprobado por el gobierno de la Generalitat el 27/7/2010. Disponible en: <http://www20.gencat.cat/portal/site/territori/menuitem.2a0ef7c1d39370645f13ae92b0c0e1a0/?vgnextoid=511eaa49ca9b7210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextchannel=511eaa49ca9b7210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextfmt=default&contentid=c72fad166a548210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD>.
- Gobierno de España (1998) "Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de cuenca". BOE nº 191 de 11 de agosto, 27.296-27.298.
- Gobierno de España (1999) "Orden de 13 de agosto de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro, aprobado por el Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio". BOE nº 222 de 16 de septiembre, 33.386-33.452.
- Gobierno de España (2001) "Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional". BOE nº 161 de 6 de julio, 24.228-24.250.
- Gobierno de España (2005) "Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional". BOE nº 149 de 23 de junio de 2005, 21846-21856.
- Gobierno de España (2007) "Real Decreto 907/2007, de 6 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica". BOE nº 162 de 7 de julio, 29361-29398.
- Gobierno de España (2008) "Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica". BOE nº 229 de 22 de septiembre, 38472-28582.
- Gómez, C.M.; Delacámara, G.; Pérez, C.D.; Rodríguez, M. (2011) "WP3 EXPOST Case studies: Lower Ebro (Spain): voluntary agreement for river regime restoration services". En: Evaluating economic policy

- instruments for sustainable water management in Europe. Disponible en: http://www.feem-project.net/epiwater/docs/d32-d6-1/CS2_Ebro.pdf.
- Heraldo de Aragón (1935) "Monográfico sobre la Confederación Hidrográfica del Ebro". 28 de abril de 1935.
- Ibáñez i Martí, C. (1993) "Dinàmica hidrològica i funcionament ecològic del tram estuari del riu Ebre". Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 196 páginas.
- Ibáñez, C.; Prat, N.; Canicio, A. (1996) "Changes in the hydrology and sediment transport produced by large dams on the lower Ebro river and its estuary". Regulated Rivers: Research and Management, vol 12, 51-62.
- Ibáñez, C.; Prat, N.; Canicio, A.; Curcó, A. (1999) "El delta del Ebro, un sistema amenazado". Colección Nueva Cultura del Agua. Editorial Bakeaz.
- Ibáñez, C.; Prat, N.; Durán, C.; Pardos, M.; Munné, A.; Andreu, R.; Caiola, N.; Cid, N.; Hampel, H.; Sánchez, R.; Trobajo, R. (2008) "Changes in dissolved nutrients in the lower Ebro river: Causes and consequences". Limnetica, 27 (1): 131-142.
- Ibáñez, C. (2009). Efectos de la mejora de la calidad del agua y de la alteración del régimen de caudales sobre las comunidades biológicas del tramo final del río Ebro. Informe de seguimiento anual. Proyecto I+D ref. CGL2006-01487/BOS. Ministerio de Ciencia e Información. Madrid. 47 pp.
- Ibáñez, C.; Sharpe, P.J.; Day, J.W.; Day, J.N.; Prat, N. (2010) "Vertical Accretion and Relative Sea Level Rise in the Ebro delta Wetland (Catalonia, Spain)". Volumen 30, Nº 5, 979-988.
- IGME (2005) "Estado de la intrusión de agua de mar en los acuíferos costeros españoles. Año 2000. Unidad Hidrogeológica 09.8.21 Bajo Ebro-Montsiá". Informe interno Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IPCC (2007) "IV informe del Panel Intergubernamental del cambio climático". Disponible en: http://www.wmo.int/pages/partners/ipcc/index_es.html.
- ITGE (1996) "Estudio geológico del delta del Ebro. Proyecto para la evaluación de la tasa de subsidencia actual". Informe interno. 67 páginas.
- Jiménez Parras, S. (2010) "Caracterización hidrodinámica, hidroquímica e isotópica del acuífero superficial del delta del Ebro". Tesis de Máster en Hidrología Subterránea. Universidad Politécnica de Cataluña. 135 páginas.
- Lassaletta, L.; Romero, E.; Billen, G.; Garnier, J.; García-Gomez, H.; Rovira, J.V. (2012) "Spatialized N Budgets in a large agricultural mediterranean watershed: high loading and low transfer". Biogeosciences, 9, 57-90.

- Lechuga Navarro, A.; López Gutiérrez, J.S. (1997) "Evolución reciente del Delta del Ebro. Aporte de sedimentos por el río. El oleaje y el transporte sólido litoral". Ingeniería Civil, 99-107.
- López, M.A. y A. de Sostoa (2001). "Comunidades piscícolas en el tramo final del río Ebro". In: El Curso Inferior del Ebro y su Delta: Situación Actual (C. Ibáñez y N. Prat, eds.). Documento inédito. Universidad de Cantabria – Ministerio de Medio Ambiente, pp: 113-135
- López, M.A., N. Gázquez, J.M. Olmo-Vidal, M.W. Aprahamian y E. Gisbert (2007). "The presence of anadromous twaite shad (*Alosa fallax*) in the Ebro River (western Mediterranean, Spain): an indicator of the population's recovery?" Journal of Applied Ichthyology, 23 (2): 163-166.
- Lorenzo Pardo, M. (1918) "Proyecto de construcción del pantano del Ebro". Documento inédito.
- Lorenzo Pardo, M. (1931) "El Ebro y Zaragoza. Horizonte de las posibilidades de Aragón". En: La conquista del Ebro". Editor: Lorenzo Pardo, M. pp 103-127.
- Magdaleno Mas, F. (2011) "Evolución hidromorfológica del sector central del río Ebro a lo largo del siglo XX. Implicaciones ecológicas para su restauración". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: <http://oa.upm.es/6914/>.
- Maldonado, A. (1986) "Dinámica sedimentaria y evolución litoral reciente del Delta del Ebro". En Sistema Integrado del Ebro Estudio interdisciplinar. 33-60.
- MAGRAMA (2012) "El régimen de caudales ambientales en la desembocadura del Ebro". Nota complementaria incluida en el estudio MARM (2010).
- MARM (2009) "Determinación de curvas de preferencia para la lamprea de mar (*Petromyzon marinus*) y para las alosas (*Alosa sp.*)". Entidades colaboradoras: Estudios cinegéticos y piscícolas (EAFOR) e Infraestructura y Ecología (INFRAECO). Forma parte de la Asistencia Técnica financiada por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino titulada: "Tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos en masas de agua superficiales en las demarcaciones del Tajo, Miño-Sil, Duero y Cantábrico"
- MARM (2010) "Consultoría y asistencia para la realización de las tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de la demarcación hidrográfica del Ebro y de las demarcaciones hidrográficas del Segura y Júcar. Documento técnico correspondiente a la demarcación hidrográfica del Ebro". Entidad colaboradora: Intecsa-Inarsa. Informe interno.
- MARM (2011) "Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural". Entidad colaboradora: CEDEX. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/EGest_CC_RH.aspx.

- MIMAM (2000) "Documentación técnica para el Plan Hidrológico Nacional: volumen de análisis ambientales". Ministerio de Medio Ambiente. Informe inédito.
- MIMAM (2001) "Estudio de la cuña salina en el delta del Ebro". Entidad colaboradora: Instituto de Hidráulica de Cantabria". En: "Estudio de las afecciones ambientales producidas en el entorno del sistema deltaico del Ebro por el trasvase de aguas previsto en el borrador del Plan Hidrológico Nacional". Informe inédito.
- Molinet Coll, V. (2006) "Recuperación del delta del Ebro I. Recuperación de la configuración del delta del Ebro". Tesina de licenciatura. Universidad Politécnica de Cataluña. 104 páginas. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/3322>.
- Montesinos, S.; Bea, M.; Durán, C.; Losada, J.A. (2009) "Determinación de macrófitos en el río Ebro entre Flix y Mora d'Ebre". En: "Teledetección: Agua y Desarrollo Sostenible". XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Calatayud, 23-26 de septiembre de 2009. pp. 137-140. Editores: Montesinos, S.; Fernández Fornos, L. Disponible en: <http://www.aet.org.es/congresos/xiii/cal35.pdf>.
- Movellán Mendoza, E. (2003) "Modelado de la cuña salina y del flujo de nutrientes en el tramo estuarino del río Ebro". Tesis Doctoral. 231 pp. Disponible en: <http://www.tesisenred.net/handle/10803/1425>.
- OPH-CHE (1999) "Aplicación del método del caudal básico a las estaciones de aforos de la cuenca del Ebro". Informe interno.
- OPH-CHE (2011) "Análisis de sensibilidad de los métodos de determinación de hábitat para la estimación del caudal ecológico en el Ebro en Xerta con la saboga como especie tipo". Entidad colaboradora: Intecsa-Inarsa. Informe interno.
- Palau Ybars, A. (2008) "La sedimentación en embalses. Medidas preventivas y correctoras". Actas del I Congreso de Ingeniería Civil. Territorio y Medio Ambiente. pp 847-856.
- Pisani, B.; Samper, J.; Ribeiro, L.; Fakir, Y.; Stigter, T. (2011a) "Evaluación de los impactos del cambio climático en el acuífero de la Plana de la Galera". En actas de las X jornadas de la zona no saturada. 353-358.
- Pisani Veiga, B.; samper Calvete, J.; Li, Y.; Loaso Vierbücher (2011b) "Evaluación de los impactos del cambio climático en los acuíferos de la Plana de la Galera y el aluvial del Ebro en Tortosa (España) dentro del proyecto CLIMWAT". En: "Las aguas subterráneas: desafíos de la gestión para el siglo XXI". Editores: Lambán, L.J.; Carceller, T.; Valverde, M.; Fernández-Jaúregui, C.
- Prat, N. (2001) "Afecciones al bajo Ebro derivadas del Plan Hidrológico Nacional, alternativas y necesidad de un nuevo modelo de gestión del agua". En: El Plan Hidrológico Nacional a debate. Editor Arrojo, P. Editorial Bakeaz. 413-425.
- Prats Rodríguez, J. (2011) "El règim tèrmic del tram inferior de l'Ebre i les seues alteracions". Tesis Doctoral por la Universidad Politécnica de Catalunya. 331 páginas.

- Regione del Veneto (2012) "Siccità: dichiarato in véneto lo stato di crisi idrica". Comunicado de prensa nº 617 del 3/4/2012.
- Rodríguez Santalla, I. (1997) "Los SIG en estudios de evolución costera: ejemplo del Delta del Ebro". Ingeniería Civil, 25-32.
- Rusconi, Antonio (2008) "Idrografia e idrologia del Po". En: Tracce e Segni, 92-106.
- Sabater, S.; Artigas, J.; Durán, C.; Pardos, M.; Romaní, A.M.; Tornés, E.; Ylla, I. (2008) "Longitudinal development of chlorophyll and phytoplankton assemblages in a regulated large river (the Ebro River)". Science of the Total Environment. 404: 196-206.
- Samper, J.; Pisani, B.; Li, Y. (2011) "CLIMWAT: Assessing and managing the impact of climate change on coastal groundwater resources and dependent ecosystems. Final report".
- Sánchez-Arcilla, A.; Jiménez, J.A.; Gelonch, G.; Nieto Romeral, J. (1997) "El problema erosivo del delta del Ebro". Revista de Obras Públicas. Septiembre nº 3.368, 23-32.
- Sánchez-Arcilla, A.; Jiménez, J.A.; Pau Sierra, J. (2005) "B11. Zones costaneres: dinàmica sedimentària". En: "Informe sobre el camvi climàtic a Catalunya". Editor: Enric Llebot, J. Promovido por: Meteocat, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible e Institut d'estudis catalans. Disponible en: http://www15.gencat.cat/cads/AppPHP/images/stories/publicacions/informesespecials/2005/inf_cavi_climatic_integra.pdf.
- Sánchez Navarro, R. (2004) "Aplicación del método QBM en el tramo inferior del río Ebro". Trabajo para la obtención del Diploma en Estudios Avanzados en Ecología. Universidad de Barcelona.
- Sanz Montero, M.E.; Avendaño Salas, C.; Cobo Rayán, R. (2001) "Influencia del complejo de embalses mequinenza-Ribarroja-Flix (río Ebro) en la morfología del cauce situado aguas abajo". Rev. Soc. Geol. España, 14 (1-2): pp. 3-17.
- Sierra, J.P.; Figueras, P.A.; Sánchez-Arcilla, A.; Mösso, C.; Movellán, E. (2002) "Simulación numérica del impacto de la reducción de caudales en la dinámica de la cuña salina del río Ebro". I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Pp 293-309.
- Valencia Delfa, J.L. (2007) "Estudio estadístico de la calidad de las aguas en la cuenca hidrográfica del río Ebro". Tesis Doctoral por la Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: http://oa.upm.es/454/1/JOSE_LUIS_VALENCIA_DELFA.pdf.
- Varela, J.M.; Gallardo, A.; López de Velasco, A. (1986) "Retención de sólidos por los embalses de Mequinenza y Ribarroja. Efectos sobre los aportes al delta del Ebro". En Sistema Integrado del Ebro Estudio interdisciplinar.

Vericat, D.; Batalla, R. (2005a) "Bed load under low sediment transport in a large regulated river: the lower Ebro, NE Spain". *Geomorphological Processes and Human Impacts in River Basins (Proceedings of the International Conference held at Solsona, Catalonia, Spain) 2004*. IAHS Publ. 299.

Vericat, D.; Batalla, R. (2005b) "Sediment transport in a highly regulated fluvial system during two consecutive floods (lower Ebro river, NE Iberian Peninsula)". *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, 385-402.

Vericat, D.; Batalla, R. (2006) "Sediment transport in a large impounded river: The lower Ebro, NE Iberian Peninsula". *Geomorphology* 79 (2006) 72-92

ANEXOS

ANEXO I

Recopilación bibliográfica sobre los caudales ecológicos normativos en el Delta de la Bahía de California

VALORES GENERALES DE DEFINICIÓN DE LAS CUENCAS

Cuenca del río Sacramento:

http://www.waterplan.water.ca.gov/docs/cwpu2009/0310final/v3_sacramentoriver_cwp2009.pdf

- Extensión: 70.567,14 km² (27.246 millas²)
- Longitud del río: 526,3 m (327 millas) (http://ca.water.usgs.gov/sac_nawqa/study_description.html)
- Aportación media en régimen natural: 27.616,4 hm³/año o 875,7 m³/s (22.389.000 acre-pie/año)

Cuenca del río San Joaquín:

http://www.waterplan.water.ca.gov/docs/cwpu2009/0310final/v3_sanjoaquinriver_cwp2009.pdf

- Extensión: 82.879,6 km² (32.000 millas²)
- Longitud del río: 482,8 m (300 millas)
- Aportación media en régimen natural: 2.220,3 hm³/año o 70,4 m³/s (1.800.000 acre-pie/año)

Caudales mínimos requeridos en el Delta de la Bahía de California

http://deltacouncil.ca.gov/sites/default/files/documents/files/Fifth_Staff_Draft_Delta_Plan_080211.pdf (páginas 84-86)

La autoridad competente en las áreas de derechos de agua, protección de la calidad del agua y definición de los criterios de los caudales mínimos o requeridos es "State Water Resources Control Board" (SWRCB). Este organismo está actualmente trabajando en la definición de estos caudales en el Delta y en sus principales afluentes, los ríos Sacramento y San Joaquín, previsto que el proceso se finalice en junio del presente año 2012. Mientras tanto, los caudales vigentes son los establecidos por el SWRCB en la Decisión del Derecho del Agua 1641 (D1641), disponible en http://www.waterboards.ca.gov/waterrights/board_decisions/adopted_orders/decisions/d1600_d1649/wrd1641_1999dec29.pdf (Tabla 1).

El SWRCB ha realizado recientemente otros estudios relacionados con la actualización de los requerimientos de caudal para el delta y sus afluentes principales. En el año 2010, se publicó el trabajo titulado "Desarrollo de los criterios de caudal para el ecosistema del Delta de los ríos Sacramento-San Joaquín" ("Development of Flow Criteria for the Sacramento-San Joaquin Delta Ecosystem"), disponible en http://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water_issues/programs/bay_delta/deltaflow/docs/final_rpt080310.pdf. Este informe propone los caudales que serían necesarios en el Delta si el único propósito fuera la protección de los recursos pesqueros. Por tanto, este informe presenta las conclusiones en relación al requerimiento de caudal para cumplir con uno de los factores que han de tenerse en cuenta, faltando el análisis de los caudales para el cumplimiento de los objetivos de satisfacción de demandas y otros usos, como los recreativos.

Tabla 1. Caudales mínimos medios mensuales en la desembocadura de los ríos Sacramento y San Joaquín (D1641).

	Caudal mínimo medio mensual (m ³ /s) ¹			Caudal mínimo medio mensual (m ³ /s) ^{2 y 3}					
	Estación de Aforos D-24 (RSAC101)			Estación de Aforos C-10 (RSAN112)					
	Río Sacramento en Río Vista			Río San Joaquín en el Aeropuerto Way Bridge, Vernalis					
	Categoría Año Hidrológico ⁴			Categoría Año Hidrológico ⁴					
	Todos	W, AN, BN, D	C	Todos	W	AN	BN	D	C
Octubre		113,27	84,95	28,32 ⁵					
Noviembre		127,43	99,11						
Diciembre		127,43	99,11						
Enero									
Febrero					60,31 o 96,84	60,31 o 96,84	40,21 o 64,56	40,21 o 64,56	20,10 o 32,28
Marzo					60,31 o 96,84	60,31 o 96,84	40,21 o 64,56	40,21 o 64,56	20,10 o 32,28
1 al 14 Abril					60,31 o 96,84	60,31 o 96,84	40,21 o 64,56	40,21 o 64,56	20,10 o 32,28
15 al 30 Abril					207,56 o 244,09 ⁶	162,26 o 198,78 ⁶	130,82 o 155,18 ⁶	113,83 o 138,19 ⁶	88,07 o 100,24 ⁶
1 al 15 Mayo					207,56 o 244,09 ⁶	162,26 o 198,78 ⁶	130,82 o 155,18 ⁶	113,83 o 138,19 ⁶	88,07 o 100,24 ⁶
16 al 31 Mayo					60,31 o 96,84	60,31 o 96,84	40,21 o 64,56	40,21 o 64,56	20,10 o 32,28
Junio					60,31 o 96,84	60,31 o 96,84	40,21 o 64,56	40,21 o 64,56	20,10 o 32,28
Julio									
Agosto									
Septiembre	84,95								

¹El promedio de 7 días no deberá ser inferior a 28,32 m³/s por debajo del objetivo mensual.

²En este periodo se promediaron meses parciales. Por ejemplo, el caudal medio para el periodo desde el 1 al 14 de abril se calculó sobre 14 días. El promedio de 7 días no será inferior al 20% por debajo del caudal objetivo, con la excepción del periodo comprendido entre el 15 de abril y el 15 de mayo, por ser un periodo de caudal en pulsos.

³La clasificación del año hidrológico para los objetivos de caudal en el río San Joaquín se establecerán utilizando la estimación mejor disponible para la Clasificación del Año Hidrológico en el Valle de San Joaquín 60-20-20 con un 75% de nivel de superación. El objetivo de caudal mayor se aplica cuando se requiera una isohalina de 2-ppt (medida como 2,64 mmhos/cm de salinidad superficial) en o al oeste de la isla Chipps.

⁴Las categorías de año hidrológico son: W para un año húmedo, AN para un año por encima de lo normal, BN para un año por debajo de lo normal, D para un año seco y C para un año crítico.

⁵Sumar hasta un máximo de 34,5 hm³ adicionales en situación de caudales en pulsos o de caudales de atracción para especies migradoras durante todos los tipos de año hidrológico. La cantidad de agua adicional estará limitada a la cantidad necesaria que proporcione un caudal medio mensual de 56,63 m³/s. Los 34,5 hm³ adicionales no se requerirán en el segundo año crítico consecutivo. El caudal en pulsos se programará por el Departamento de Recursos Hídricos de California (California Department of Water Resources (DWR)) y la Oficina de Reclamación (Bureau of Reclamation (USBR)) en colaboración con el Servicio Americano de Pesca, Fauna y Flora (U.S. Fish and Wildlife Service (USFWS)), el Servicio Nacional de Recursos Pesqueros Marinos (National Marine Fisheries Service (NMFS)) y el Departamento de Caza y Pesca (Department of Fish and Game (DFG)). La consulta con el Grupo de Operaciones del Programa CALFED establecido en virtud del acuerdo marco satisfará el requisito de la consulta.

⁶Este periodo de tiempo entre el 15 de abril y el 15 de mayo se puede variar dependiendo de los caudales reales obtenidos. Un pulso, o dos pulsos separados de duración combinada igual al pulso único, se deberán programar para que coincida con la migración de peces en los afluentes del río San Joaquín y del Delta. La Oficina de Reclamación (Bureau of Reclamation

(USBR)) programará el periodo de tiempo de los pulsos en colaboración con el Servicio Americano de Pesca, Fauna y Flora (U.S. Fish and Wildlife Service (USFWS)), el Servicio Nacional de Recursos Pesqueros Marinos (National Marine Fisheries Service (NMFS)) y el Departamento de Caza y Pesca (Department of Fish and Game (DFG)). La consulta con el Grupo de Operaciones del Programa CALFED establecido en virtud del acuerdo marco satisfará el requisito de la consulta. La planificación está sujeta a la aprobación del Director Ejecutivo del Órgano de control de los recursos hídricos del Estado (State Water Resources Control Board (SWRCB)).

Clasificación del año hidrológico en el río Sacramento:

La clasificación del año hidrológico se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{ÍNDICE} = 0,4 * X + 0,3 * Y + 0,3 * Z$$

Dónde:

X = El caudal natural de un año corriente en el valle del río Sacramento en los meses de Abril a Julio

Y = El caudal natural en el valle del río Sacramento en los meses de Octubre a Marzo

Z = Índice del año anterior (con un máximo de 12.335 hm³ para la reserva del control de inundaciones requerida durante los años húmedos)

El caudal natural en un año corriente (desde el 1 de octubre del año previo hasta el 30 de septiembre del presente año) en el Valle del río Sacramento, tal como se publicó en el Boletín 120 del Departamento de Recursos Hídricos de California, es una previsión de la suma de los siguientes puntos: Río Sacramento aguas arriba del Puente Bend, cerca de Red Bluff; Río Feather, entrada total de agua en el Embalse de Oroville; Río Yuba en Smartvill; Río American, entrada de agua total al Embalse de Folsom. Las determinaciones preliminares de la clasificación del año hidrológico deben realizarse en Febrero, Marzo y Abril con una determinación final en mayo y deben de estar basadas en las condiciones hidrológicas hasta la fecha más el caudal natural previsto para el futuro asumiendo una precipitación normal para el resto del año hidrológico.

Clasificación año hidrológico ¹	Índice (hm ³)
W – Húmedo	Igual o mayor de 11.348
AN – Por encima de lo normal	Mayor que 9.621 y menor que 11.348
BN – Por debajo de lo normal	Igual o menor que 9.621 y mayor que 8.018
D – Seco	Igual o menor que 8.018 y mayor que 6.661
C - Crítico	Igual o menor a 6.661

¹El tipo de año hidrológico para el año hidrológico anterior permanecerá vigente hasta la disponibilidad de la previsión inicial del caudal natural para el año actual.

Clasificación del año hidrológico en el río San Joaquín:

La clasificación del año hidrológico se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{ÍNDICE} = 0,6 * X + 0,2 * Y + 0,2 * Z$$

Dónde:

X = El caudal natural de un año corriente en el valle del río San Joaquín en los meses de Abril a Julio

Y = El caudal natural en el valle del río San Joaquín en los meses de Octubre a Marzo

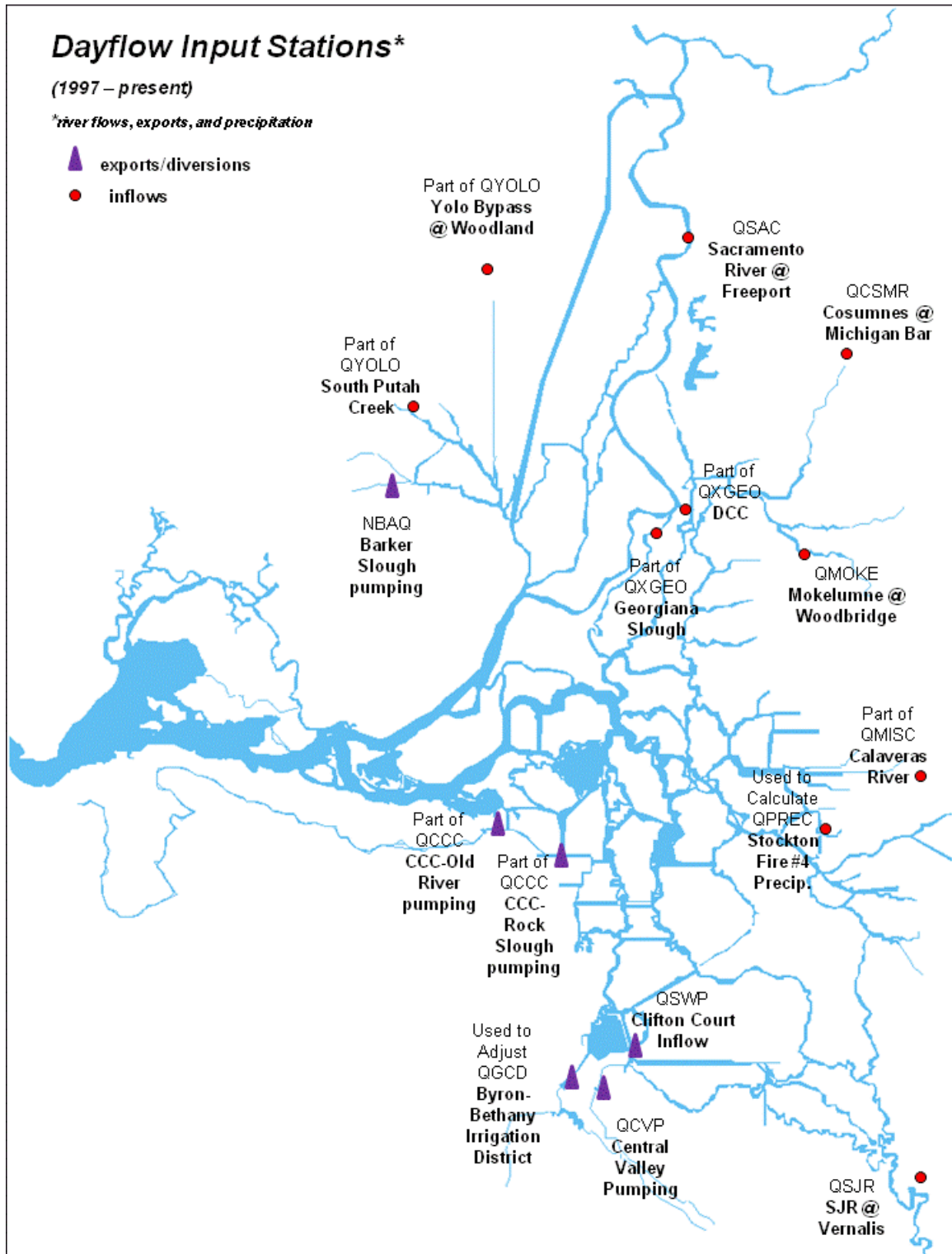
Z = Índice del año anterior (con un máximo de 5.551 hm³ para la reserva del control de inundaciones requerida durante los años húmedos)

El caudal natural en un año corriente (desde el 1 de octubre del año previo hasta el 30 de septiembre del presente año) en el Valle del río San Joaquín, tal como se publicó en el Boletín 120 del Departamento de Recursos Hídricos de California, es una previsión de la suma de los siguientes puntos: Río Stanislaus, caudal total en el Embalse de New Melones; Río Tuolumne, entrada de agua total al Embalse Don Pedro; Río Merced, caudal total en el Embalse de Exchequer; Río San Joaquín, entrada de agua total al Lago Millerton. Las determinaciones preliminares de la clasificación del año hidrológico deben realizarse en Febrero, Marzo y Abril con una determinación final en mayo y deben de estar basadas en las condiciones hidrológicas hasta la fecha más el caudal natural previsto para el futuro asumiendo una precipitación normal para el resto del año hidrológico.

Clasificación año hidrológico ¹	Índice (hm ³)
W – Húmedo	Igual o mayor de 4.687
AN – Por encima de lo normal	Mayor que 3.824 y menor que 4.687
BN – Por debajo de lo normal	Igual o menor que 3.824 y mayor que 3.084
D – Seco	Igual o menor que 3.084 y mayor que 2.590
C - Crítico	Igual o menor a 2.590

¹El tipo de año hidrológico para el año hidrológico anterior permanecerá vigente hasta la disponibilidad de la previsión inicial del caudal natural para el año actual.

<http://www.water.ca.gov/dayflow/>



ANEXO II

Recopilación bibliográfica sobre los caudales ecológicos normativos en la cuenca del río Murray Darling (Australia)

Cuenca del río Murray:

<http://www.mdba.gov.au/draft-basin-plan/draft-basin-plan-for-consultation>

- Extensión: 1.060.000 km²
- Aportación media en régimen natural (Tabla 1 - Schedule 1, tabla pag 127): 31.599 GL/año

MDB average long-term annual inflow and water use	
Surface water	GL
Inflows	
Inflows to the Basin	31,599
Transfer into the Basin	954
Total	32,553
Water Use	
Watercourse diversions	10,903
Interceptions	2,720
Water used by the environment & losses	13,788
Outflows from the Basin	5,142
Total	32,553

Tabla 1. Entradas de agua anuales medias a largo plazo y uso del agua en la cuenca del Murray-Darling

Caudales mínimos requeridos la desembocadura del río Murray

<http://www.mdba.gov.au/bpkid/bpkid-view.php?key=yYwsBnGLSc4VQrHGEAqDviQmAfWf1/YV4EE/1ZKRWxo=>

Para el desarrollo de la cantidad de agua necesaria para cumplir con los requisitos medioambientales propuestos en la Propuesta de Plan Hidrológico de la cuenca del Murray-Darling se realiza un trabajo titulado "Water resource assessments for without-development and baseline conditions", publicado en noviembre del año 2011. Este trabajo realiza una estimación de los balances de agua de la cuenca a través de la realización de los dos modelos hidrológicos siguientes (datos del periodo desde julio del año 1895 hasta junio del año 2009):

- "Baseline scenario": El escenario base representa las extracciones de agua existentes en junio del año 2009, teniendo en cuenta además los derechos de comercio de agua en la misma fecha. Algunas de las condiciones utilizadas para el río Murray son:
 - o Unos caudales de dilución adicionales de 3.000 ML/d, si el volumen almacenado en Menindee Lakes es superior a 1.650 GL en los meses de junio y julio, 1.500 GL en agosto y 1.300 GL en el resto de meses, y el almacenamiento combinado en las presas de Hume y Dartmouth es mayor a 2.000 GL.
 - o Caudales ambientales liberados por el Darling Anabranch durante los periodos de no asignación en la parte baja del río Darling.
 - o Asignación de caudal ambiental de más de 150 GL/año para el Bosque Barmah-Millewa.
 - o Agua recuperada a través de los proyectos actuales de 500 GL (proyecto "The Living Murray" y otros).
 - o El agua recuperada a través del proyecto de "Water for Rivers" y 70 GL de aumento de caudal por deshielo.
- "Without-development scenario": Es un modelo que simula el régimen natural del río. Parte del escenario base y se considera que todas las presas, sistemas de riego, infraestructuras y usos consuntivos se eliminan del sistema.

Los resultados (Tabla 2) muestran que en el escenario de condiciones naturales, el 76% de las entradas de agua del río Murray y de la parte baja del río Darling alcanzan el mar a través de la desembocadura del río Murray. Sin embargo, en las condiciones de referencia, este porcentaje desciende al 42%, que se corresponde sólo con el 31% de las entradas de agua en condiciones naturales.

Water balance (GL/y)	Without-development	Baseline
Storage		
Total change in storage	-13.0	-75.4
Inflows		
Darling (inflow to Menindee Lakes)	3,092.1	1,723.2
Murrumbidgee (Balranald)	2,724.2	1,257.0
Murrumbidgee (Darlot)	123.5	320.7
Catchment managed by Snowy scheme	616.9	1,132.8
Ovens at Peechelba	1,728.2	1,686.0
Goulburn at McCoy's Bridge	3,368.0	1,665.2
Campaspe at Rochester	280.8	151.9
Loddon at Appin South	144.7	67.8
Directly gauged Murray sub-catchments	4,047.1	4,035.9
Indirectly gauged Murray sub-catchments	260.2	327.6
Total inflows	16,385.6	12,368.1
Diversions		
NSW Murray diversions	-	1,680.2
NSW lower Darling diversions	-	54.7
Victorian Murray diversions	-	1,657.0
SA Murray diversions	-	665.0
Total diversions	-	4,056.3
Losses		
Total net evaporation	427.6	611.6
Net groundwater loss	-	47.0
Total loss including SA	3,593.9	2,585.4
Total losses	4,021.4	3,244.0
Outflows		
Barrage outflow	12,377.2	5,142.4
Unattributed flux		
Unattributed flux	0.00	0.02

Tabla 2. Balances de agua para el sistema del río Murray en los dos modelos utilizados.

<http://www.mdba.gov.au/draft-basin-plan/science-draft-basin-plan/assessing-environmental-water-requirements>

A partir del documento presentado anteriormente, se realizan trabajos independientes para cada uno de los ríos o subcuencas principales de la cuenca del Murray-Darling. El objetivo es cumplir con uno de los requisitos del Plan de Cuenca, establecer límites medioambientalmente sostenibles de la cantidad de agua superficial que puede derivarse para uso consuntivo, denominado Sustainable Diversion Limits (SDLs). Estos límites son el volumen medio anual de agua máximo que se puede extraer de la cuenca a largo plazo, representado lo que se denomina "Environmentally Sustainable Level of Take" (ESLT).

Para poder determinar estos requerimientos de agua medioambiental, el primer paso es la elección de un indicador de caudal en un lugar específico dónde alcanzar unos objetivos ecológicos marcados. En la desembocadura del río Murray, el lugar seleccionado como indicador hidrológico son las 140.500 ha de uno de los humedales más importantes de Australia e incluye un diverso rango de hábitats de agua dulce, de estuarios y marinos, que sustentan especies de flora y fauna únicas.

El desarrollo de varios modelos durante la elaboración del Plan de Cuenca demuestra el impacto del desarrollo de presas en los recursos hídricos, en particular durante los periodos de sequía. El caudal medio continuo de tres años más bajo se da en el periodo comprendido entre 2006-07 y 2008-09, para ambos escenarios considerados (condiciones de base y en régimen natural). Este promedio se ha reducido en un 96% en las condiciones actuales, comparado con las condiciones en régimen natural para el mismo periodo (Tabla 3).

Modelled barrage flows	Without development	Baseline (current development)
Average annual	12,500 GL	5,100 GL
Wettest five years	49,000 GL (1956–57) 36,400 GL (1917–18) 34,700 GL (1955–56) 29,400 GL (1974–75) 27,700 GL (1952–53)	42,600 GL (1956–57) 28,300 GL (1917–18) 24,800 GL (1955–56) 23,000 GL (1974–75) 18,100 GL (1975–76)
Driest five years	400 GL (2006–07) 1,800 GL (1914–15) 1,800 GL (1982–83) 2,400 GL (1902–03) 2,800 GL (2008–09)	0 GL (2008–09) 50 GL (2007–08) 60 GL (1902–03) 80 GL (1914–15) 240 GL (1944–45)
Lowest three-year rolling average	2,500 GL (2006–07 to 2008–09)	100 GL (2006–07 to 2008–09)

Tabla 3. *Modeled barrage flows* en ambos escenarios analizados (1895-2009) para el área de la desembocadura del río Murray, denominada “The Coorong, Lower Lakes and Murray Mouth”.

La reducción de los caudales del río junto a una mayor probabilidad asociada del cierre de la desembocadura del río Murray amenazan la función ecológica del área Coorong, a través de una tendencia de mayor salinidad en el sistema, cambios en el régimen del nivel del agua y la obstrucción o bloqueo de las vías de la migración de los peces.

Los indicadores de caudal especificados (Tabla 4) son indicativos de un régimen de caudales a largo plazo necesario para alcanzar los objetivos ambientales específicos del área de la desembocadura del río Murray y se utilizan para evaluar los posibles escenarios del Plan de Cuenca.

Site-specific ecological targets	Required characteristics	Site-specific flow indicators	Results under modelled without development conditions	Results under modelled baseline conditions
Maintain a range of healthy estuarine, marine and hypersaline conditions in the Coorong, including healthy populations of keystone species such as <i>Ruppia tuberosa</i> in South Lagoon and <i>Ruppia megacarpa</i> in North Lagoon	South Lagoon salinity average long-term salinity <60,000 mg/L. maximum salinity <100,000 mg/L in 95% of years. maximum salinity <130,000 mg/L in 100% of years.	Barrage flow Long-term average at least 5,100 GL/y. Rolling 3-year average >2,000 GL/y in 95% of years. Rolling 3-year average >1,000 GL/y in 100% of years. Maintain at least the proportion of years with high flows (5,100–10,000 GL/y) that is experienced under baseline conditions.	12,500 GL/y 100% of years 100% of years Flows >5,100 GL/y: 89% of years	5,100 GL/y 79% of years 91% of years Flows >5,100 GL/y: 36% of years
	North Lagoon salinity average annual salinity <20,000 mg/L in a proportion of years maximum salinity <50,000 mg/L	Same as above	Same as above	Same as above
Provide sufficient flows to enable export of salt and nutrients from the Basin through an open Murray Mouth	Salt export 2 million tonnes per year, reported on a rolling 10 year average basis.	NA	NA	NA
Provide a variable lake level regime to support a healthy and diverse riparian vegetation community and avoid acidification	Lake levels Lakes Albert and Alexandrina water levels >0 m AHD.	None additional to those above. Modelling will test the assertion that delivery of above flows will provide appropriate lake levels.	N/A	N/A

Tabla 4. Objetivos ecológicos e indicadores de caudal asociados para el área de la desembocadura del río Murray, denominada “The Coorong, Lower Lakes and Murray Mouth”.

Modelos hidráulicos en la cuenca del Murray-Darling

<http://www.mdba.gov.au/draft-basin-plan/science-draft-basin-plan>

La propuesta de Plan de Cuenca recomienda unos Límites Medios de Derivación Sostenibles a Largo Plazo (Long-Term Average Sustainable Diversion Limits (SDLs)), que se prevé que entren en vigor en el año 2019, junto con una serie de medidas que mejoren la gestión del agua en la cuenca. Estos SDL propuestos son límites del volumen de agua que se puede extraer para los diferentes usos (incluyendo uso doméstico, urbano y agrícola) y se determinan sobre la evaluación de un Nivel de Extracción Medioambientalmente Sostenible (Environmentally Sustainable Level of Take (ESLT)).

Los modelos hidrológicos se utilizan para representar y evaluar los requerimientos medioambientales de agua y los regímenes de caudales necesarios. Se utilizan dos enfoques distintos: el primero consiste en estimar los caudales ambientales que se pueden conseguir a partir de una reducción específica de las extracciones y el segundo estima la reducción de las extracciones necesaria para alcanzar unos requisitos medioambientales de agua especificados.

Los recursos de agua superficial de la cuenca se representan como una unión de veinticuatro subcuencas, permitiendo evaluar una mayor variedad de respuesta a los cambios en el régimen de caudales como consecuencia de una recuperación de agua en varias partes de la cuenca.

El modelo del escenario del Plan de Cuenca se realiza mediante la simulación de una reducción en el uso consuntivo de agua, liberando un volumen de agua equivalente disponible para usos medioambientales en las condiciones actuales de referencia.

Los escenarios clave modelados son “Without development” – régimen natural, “Baseline” – condiciones actuales en junio del año 2009 y una reducción de 2.800 GL de agua en la cuenca. También, se realizan análisis de sensibilidad para uno de los sistemas (Southern Connected System – cuencas de los ríos Murray, Murrumbidgee and Goulburn-Broken), basados en dos escenarios más de reducción de extracciones de 2.400 GL y 3.200 GL.

Por tanto, en la cuenca del río Murray se modelan tres escenarios, reducciones de los usos consuntivos en 2.400 GL/año, 2.800 GL/año y 3.200 GL/año, en cuatro áreas: Yarrawonga, Torrumbarry, Euston y en la frontera sur de Australia. Los resultados muestran que hay mejoras medioambientales significantes. Sin embargo, los objetivos para los indicadores ambientales que requieren eventos de mayor caudal para el beneficio de las comunidades no se cumplen debido a las limitaciones de capacidad en los canales. Una reducción del uso consuntivo de 2.400 GL/año no es suficiente para obtener los objetivos medioambientales clave en el río Murray aguas abajo de la desembocadura de su afluente Murrumbidgee (incluyendo su desembocadura), mientras que una reducción de 3.200 GL/año permite pocos beneficios adicionales que el escenario de reducción de 2.800 GL/año.

A parte de los análisis de sensibilidad, las condiciones generales en las otras dos simulaciones son:

- “Without-development scenario”: Es un modelo que simula el régimen natural del río. Parte del escenario base y se considera que todas las presas, sistemas de riego, infraestructuras y usos consuntivos se eliminan del sistema.
- “Baseline scenario”: El escenario base representa las derivaciones de agua existentes en junio del año 2009, teniendo en cuenta además los derechos de comercio de agua en la misma fecha. Algunas de las condiciones utilizadas para el río Murray son:
 - o Unos caudales de dilución adicionales de 3.000 ML/d, si el volumen almacenado en Menindee Lakes es superior a 1.650 GL en los meses de junio y julio, 1.500 GL en agosto y 1.300 GL en el resto de meses, y el almacenamiento combinado en las presas de Hume y Dartmouth es mayor a 2.000 GL.
 - o Caudales ambientales liberados por el Darling Anabranch durante los periodos de no asignación en la parte baja del río Darling.

- Asignación de caudal ambiental de más de 150 GL/año para el Bosque Barmah-Millewa.
- Agua recuperada a través de los proyectos actuales de 486 GL (proyecto “The Living Murray” y otros).
- El agua recuperada a través del proyecto de “Water for Rivers” (190 GL) y 70 GL de aumento de caudal por deshielo.

El resultado de los requisitos medioambientales de agua obtenidos es (Tabla 5):

Diversions (GL/y)	Baseline	BP-2800	BP-2400	BP-3200
Murray	4017	2852	3107	2710
NSW	1696	1182	1302	1124
Victoria	1656	1159	1253	1082
South Australia	665	511	552	504
Lower Darling	55	39	42	36

Tabla 5. Extracciones en las condiciones de referencia y reducción necesaria en las extracciones para los escenarios de reducción anual de 2.800 GL, 2.400 GL y 3.200 GL.

En el área de la desembocadura del río Murray los indicadores ambientales a cumplir son (Tabla 6):

Indicator	Target
Average salinity (g/L) in Coorong southern lagoon over model period	less than 60 g/L
Maximum salinity (g/L) in Coorong southern lagoon over model period	less than 130 g/L
Max period (days) salinity in Coorong southern lagoon is greater than 130 g/L	0 days
Proportion of years salinity in Coorong southern lagoon < 100 g/L	greater than 95%
Average salinity (g/L) in Coorong northern lagoon over model period	less than 20 g/L
Maximum salinity (g/L) in Coorong southern lagoon over model period	less than 50 g/L
Max period (days) salinity in Coorong northern lagoon is greater than 50 g/L	0 days
Proportion of years 3 year rolling average barrage flow greater than 1,000 GL/yr	100%
Proportion of years 3 year rolling average barrage flow greater than 2,000 GL/yr	greater than 95%

Tabla 6. Caudales ambientales e indicadores de salinidad en el área denominada “The Coorong, Lower Lakes and Murray Mouth”.

En la Tabla 7 se muestran los resultados de los balances de agua, que muestran que las entradas de agua varían entre los escenarios, como consecuencia de la reducción de extracciones en los tres escenarios del Plan de Cuenca que conducen a un aumento en los caudales de los afluentes del río Murray de 1.069, 1.159 y 1.358 GL/año respectivamente. También, una reducción en las extracciones de 948, 1.178 y 1.349 GL/año se alcanza para el Murray y el Darling bajo para los tres escenarios respectivamente. Además, como resultado de la liberación de agua al medioambiente y la reducción de las extracciones, los caudales de salida de los embalses se incrementa un promedio de 1.728, 2.068, 2.389 GL/año, respectivamente para los tres escenarios, indicando que una cantidad de agua adicional significativa puede ser recuperada para el medioambiente y llegar a la desembocadura del río Murray, a pesar de que será utilizada por otros lugares, beneficiando al río y su llanura de inundación.

Water balance Items	Without development GL/y	Baseline GL/y	BP-2400 GL/y	BP-2800 GL/y	BP-3200 GL/y
Inflow (GL/y)	16386	12383	13399	13542	13741
NSW	5940	3317	3905	3975	4069
Victorian	5782	3866	4294	4367	4472
Shared	4664	5200	5200	5200	5200
Diversions (GL/y)	0	4070	3122	2892	2721
NSW Murray	0	1696	1277	1180	1099
NSW Lower Darling	0	55	42	40	36
Victoria	0	1654	1251	1161	1081
South Australia	0	665	522	511	504
Loss (GL/y)*	4008	3225	3461	3494	3543
Outflow (GL/y)	12377	5088	6816	7156	7477

* Loss includes unattributed loss and change in storage

Tabla 7. Resultados de los balances de agua claves en la región del río Murray.

La regulación y extracción de agua en las condiciones actuales conducen a una reducción del caudal al final del sistema Murray-Darling del 59% comparado con el escenario del régimen natural. El caudal final del sistema aumenta en los tres escenarios del Plan de Cuenca. Un aumento del volumen del agua recuperada en la cuenca de 2.400 a 3.200 GL aumenta el caudal final del sistema a largo plazo un promedio de 661 GL/año. También, en la desembocadura del río la magnitud del caudal aumenta y el periodo con caudales cero disminuye para los tres escenarios, si se compara con las condiciones de referencia. El efecto de este aumento de caudales es una diferencia sustancial en los niveles de los lagos y en la salinidad del área de Coorong.

En el área de la desembocadura del río Murray, denominada “Coorong, Lower Lakes and Murray Mouth”, las simulaciones muestran que los objetivos ambientales especificados se alcanzan en los siguientes casos (Tabla 8):

Indicator	Target	Without development	Baseline	BP-2400	BP-2800	BP-3200
Average salinity (g/L) in Coorong southern lagoon over model period	less than 60 g/L	24	62	47	44	41
Maximum salinity (g/L) in Coorong southern lagoon over model period	less than 130 g/L	67	291	138	119	97
Max period (days) salinity in Coorong southern lagoon is greater than 130 g/L	0 days	0	323	64	0	0
Proportion of years salinity in Coorong southern lagoon < 100 g/L	greater than 95%	100%	82%	96%	96%	100%
Average salinity (g/L) in Coorong northern lagoon over model period	less than 20 g/L	12	29	22	21	20
Maximum salinity (g/L) in Coorong northern lagoon over model period	less than 50 g/L	49	148	75	56	47
Max period (days) salinity in Coorong northern lagoon is greater than 50 g/L	0 days	0	604	163	75	0
Proportion of years 3 year rolling average barrage flow greater than 1,000 GL/yr	100%	100%	91%	99%	99%	99%
Proportion of years 3 year rolling average barrage flow greater than 2,000 GL/yr	greater than 95%	100%	79%	96%	98%	99%

Tabla 8. Logro de los indicadores de caudal y salinidad en el área de la desembocadura del río Murray en los todos los escenarios simulados.

ANEXO III

Recopilación bibliográfica sobre los caudales ecológicos normativos en la cuenca del río Colorado (USA-México)

Cuenca del río Colorado:

<http://www.waterencyclopedia.com/Ce-Cr/Colorado-River-Basin>

- Extensión: 637.000 km²
- Longitud del río: 2.330 km
- Aportación media en régimen natural: 700 m³/s (22.075 hm³/año)

Nota: El régimen natural según el artículo "Response of Colorado River runoff to dust radiative forcing in snow" (<http://www.pnas.org/content/107/40/17125.full>) entre los años 1916 y 2003 es de 18,3 bcm/año o 18.300 hm³/año (referenciado a la página web <http://www.usbr.gov/lc/region/g4000/NaturalFlow/current.html>).

Caudales mínimos requeridos en la parte baja del río Colorado

http://www.lcra.org/library/media/public/docs/water/wmp/ExhibitA_ProposedWMP_with_Appendices_Mar2012.pdf

(páginas 2-8 y 2-9)

Los caudales mínimos del río Colorado aguas arriba de su entrada en la Bahía de Matagorda y en el Golfo de California se obtienen del Plan Hidrológico de la Región de la Parte Baja del río Colorado.

Tabla 1. Caudales mínimos medios mensuales del río Colorado en Wharton.

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Subsistencia ¹	4,20	4,94	5,77	9,00	8,66	5,83	7,71	8,69	10,60	6,06	3,06	5,37
Base-Seco ²	10,29	13,86	13,43	14,06	17,06	15,17	16,03	28,14	28,11	16,49	8,97	11,71
Base-Medio ²	21,40	21,83	21,31	23,94	25,89	29,60	28,89	39,91	43,20	25,86	14,91	17,63

¹Representa el mínimo caudal en el cual la calidad del agua se mantiene en un nivel aceptable y los hábitats acuáticos se espera que sean consistentes con los encontrados en condiciones naturales en periodos de sequía.

²Las recomendaciones del caudal base proporcionan unas condiciones de hábitat y una variabilidad año a año suficiente para mantener unas buenas condiciones ecológicas.

El estudio realizado para el cálculo de los caudales mínimos recomienda mantener los caudales por encima del nivel de subsistencia todo el tiempo. En relación a los caudales base, se recomienda, sobre una base a largo plazo, mantener las condiciones de año seco sobre el 80% del tiempo y las de año medio sobre un 60% del tiempo.

Caudales reales en la parte baja del río Colorado

<http://waterdata.usgs.gov/nwis>

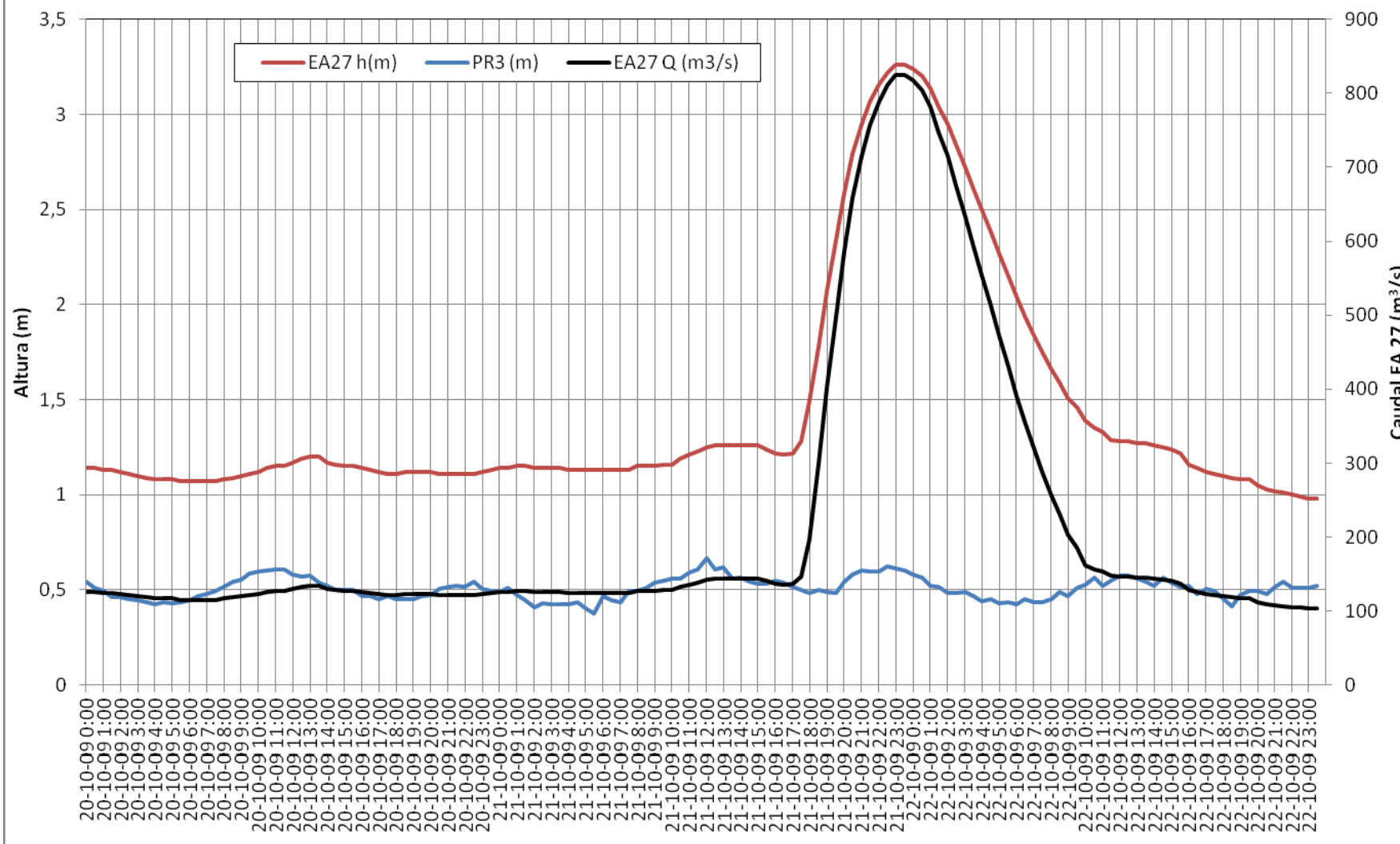
Se utilizan los datos registrados por la estación de aforos número 08162000 del río Colorado en Wharton perteneciente a USGS (U.S. Geological Survey), periodo 1938-2011.

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Mínimo	3,06	3,51	2,43	4,94	6,11	4,20	3,46	3,00	2,34	2,69	1,20	4,54
Percentil 5	10,06	8,76	8,60	7,97	8,80	9,29	12,40	15,58	20,00	18,06	12,40	12,80
Percentil 10	12,06	10,23	9,83	10,20	11,26	10,97	16,17	19,57	23,39	21,20	15,72	15,80
Percentil 25	16,71	15,14	14,66	16,56	17,57	17,17	23,86	28,13	32,57	28,43	21,94	22,24
Percentil 50	28,00	26,67	27,94	36,00	35,71	35,43	42,00	47,71	49,71	39,14	30,86	34,29
Percentil 75	56,57	69,07	73,14	80,00	86,79	92,29	89,71	103,14	105,93	71,71	45,43	53,64
Percentil 90	118,06	156,29	128,23	137,14	173,31	186,57	172,29	230,23	282,89	144,11	70,29	86,29
Máximo	2.088,57	2.411,43	1.745,71	1.234,29	1.597,14	1.457,14	1.494,29	1.437,14	1.708,57	2.588,57	362,86	1.582,86

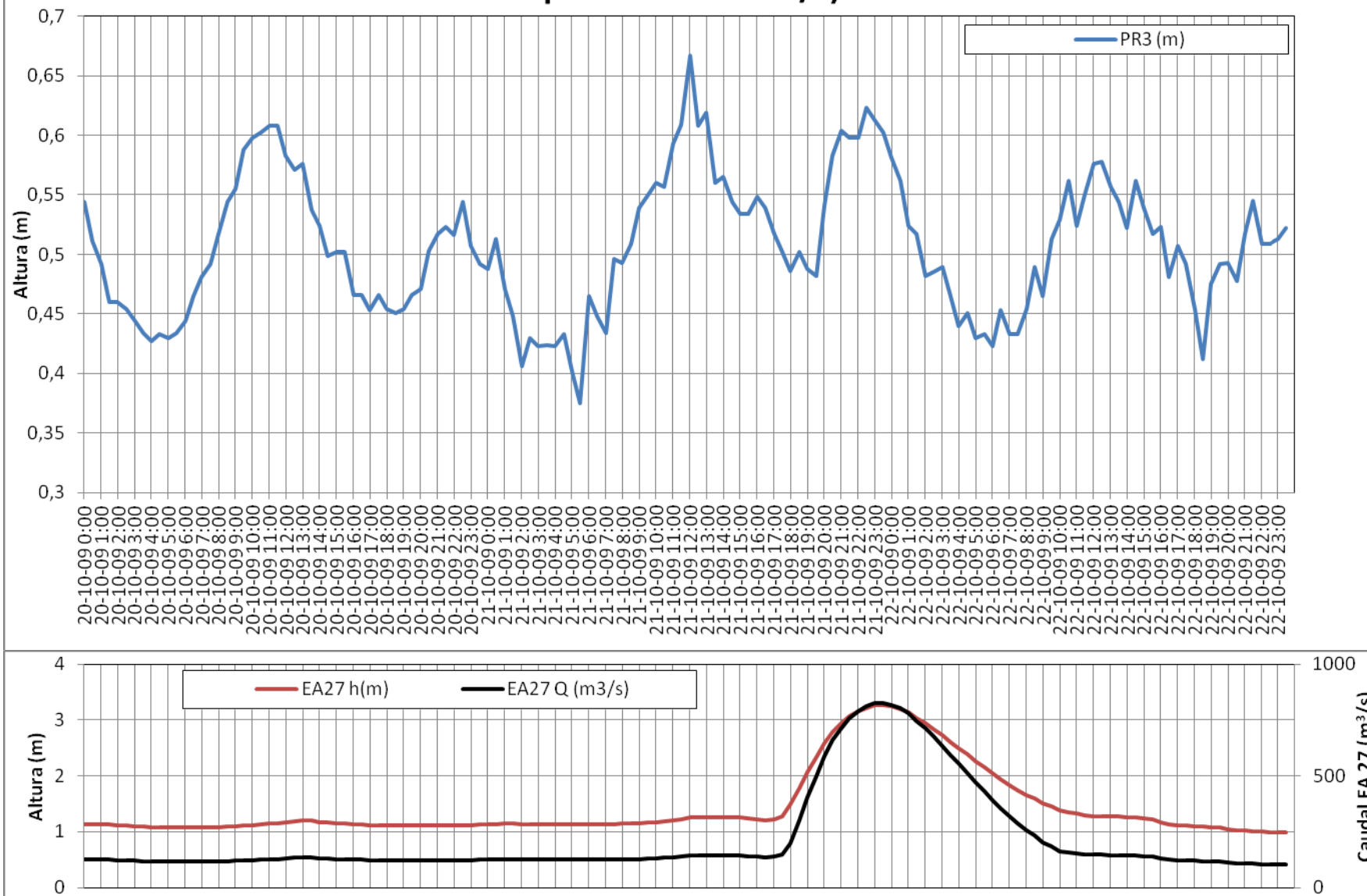
ANEXO IV

Evolución durante tres crecidas de piezómetros cercaos al río Ebro

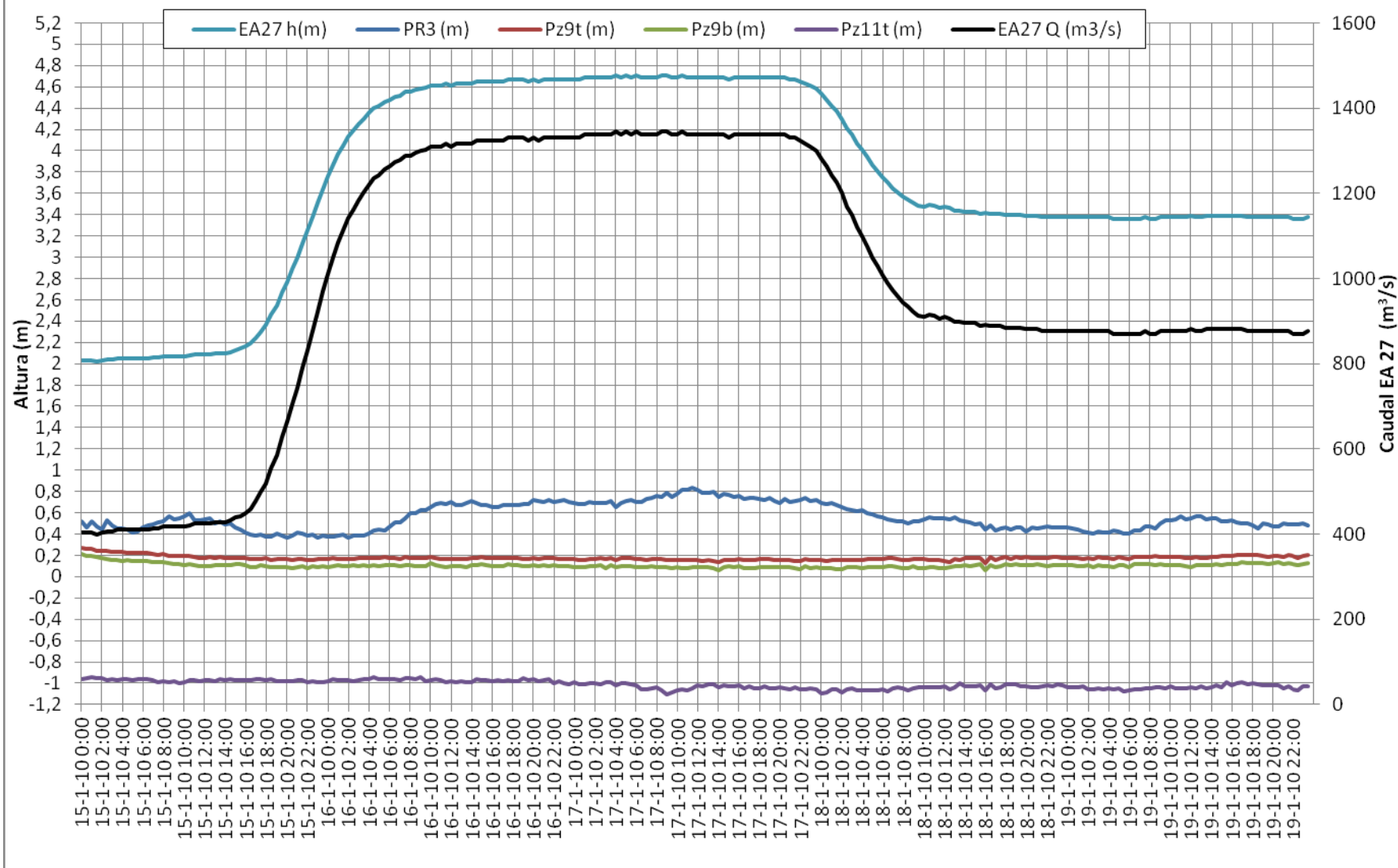
Evolución de niveles en la crecida controlada del 21/10/2009 (caudal punta= 1.120 m³/s)



Evolución de niveles en la crecida controlada del 21/10/2009 (caudal punta= 1.120 m³/s)



Evolución de varios piezómetros en la crecida natural del 15-17/1/2010 (caudal punta= 1.345 m³/s)



Evolución de varios piezómetros en la crecida natural del 15-17/1/2010 (caudal punta= 1.345 m³/s)

