

CONSIDERACIONES CORRECTIVAS EN RELACIÓN A LAS NECESIDADES HÍDRICAS DEL TRAMO INFERIOR DEL RÍO EBRO

ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
Resumen / Resum / Summary	2
1. Introducción.....	3
2. Justificación de la revisión efectuada.....	10
3. Determinación de la aportación media en régimen natural.....	11
4. Metodología aplicada para la estimación de los caudales ecológicos y medioambientales mínimos.....	12
5. Conclusiones.....	18
Referencias bibliográficas y fondos documentales.....	20
Relación de figuras / Relación de tablas	20

RESUMEN

Se lleva a efecto una disminución, en la previsión efectuada por el autor en sus estudios anteriores (2005-2009), de las escorrentías de la cuenca del Ebro en base a las modificaciones inducidas por el cambio climático y una supuesta disminución de las precipitaciones acuosas. Como consecuencia de la aplicación de la metodología pertinente, se elabora una tabla de gestión actualizada de los caudales mínimos medioambientales precisos para el río Ebro en su tramo final, que arroja unos volúmenes anuales hasta alcanzar los 7000 hm³ (222 m³/s en caudal ficticio continuo), con lo que puede estimarse, en definitiva, un margen de variabilidad de $\pm 10\%$ comprendido entre 6300 y 7700 hm³/año de aportación para dichos caudales.

Palabras clave: escorrentía, concesión administrativa, caudal mínimo, plan hidrológico, hidrograma.

RESUM

Es duu a terme una disminució, en la previsió efectuada per l'autor als seus estudis anteriors (2005-2009), dels vessaments de la conca de l'Ebre en base a les modificacions induïdes pel canvi climàtic i una suposada disminució de les precipitacions aquoses. Com a conseqüència de l'aplicació de la metodologia pertinent, s'elabora una taula de gestió actualitzada dels cabals mínims mediambientals precisos per al riu Ebre en el seu tram final, que presenta uns volums anuals fins a assolir els 7000 hm³ (222 m³/s en cabal fictici continu), de manera que es pot estimar, en definitiva, un marge de variabilitat de $\pm 10\%$ comprès entre 6300 i 7700 hm³/any d'aportació per a aquests cabals.

Paraules clau: escolament, concessió administrativa, cabal mínim, pla hidrològic, hidrograma.

SUMMARY / ABSTRACT

Following the forecast made by the author in his previous studies (2005-2009), the runoff of the Ebro basin is reduced on the basis of the modifications induced by climate change and a supposed decrease in aqueous precipitation. As a result of the application of the relevant methodology, an updated management table of the minimum environmental flows required for the Ebro river in its final stretch is drawn up, which gives annual volumes of up to 7000 hm³ (222 m³/s in continuous hypothetical flow), thus allowing an estimate range of $\pm 10\%$ variability between 6300 and 7700 hm³/year of contribution for these flows.

Key words: *runoff, hydrologic plan, administrative concession, minimum flow, hydrograph.*

1. INTRODUCCIÓN

El ámbito territorial que es objeto de nuestro estudio es el que se refleja en la siguiente imagen, que constituye el tramo tarraconense inferior del río Ebro definido desde la presa de Flix hasta su desembocadura en el mar Mediterráneo:

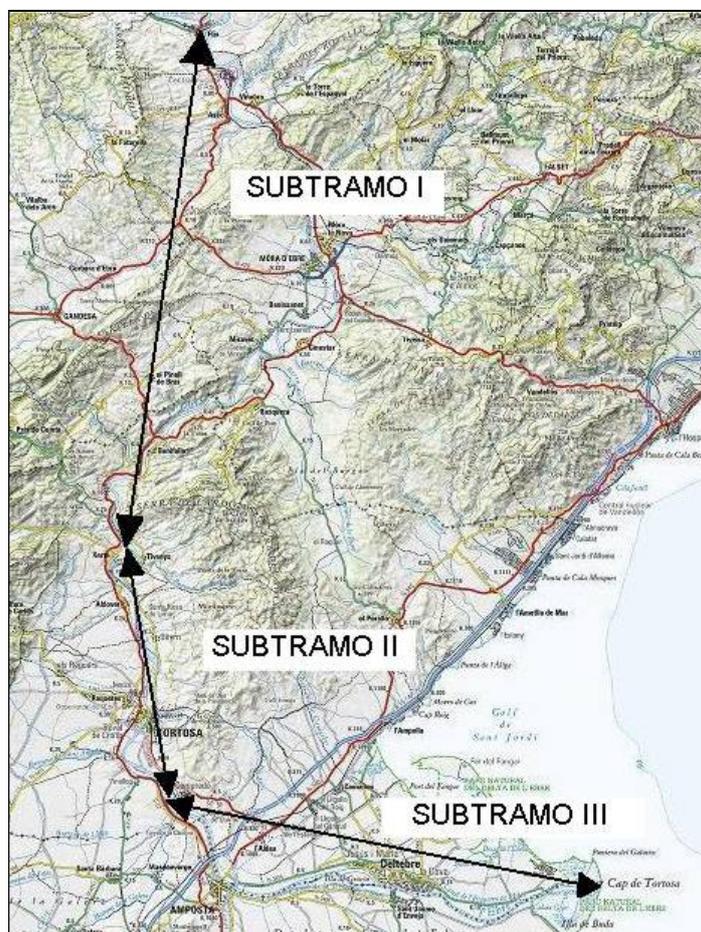


Fig. 1. El tramo inferior del río Ebro en estudio.

Dicho tramo, a su vez, como puede verse, se ha dividido en los tres subtramos siguientes:

- Subtramo I: presa de Flix – assut de Xerta/Tivenys.
- Subtramo II: assut de Xerta/Tivenys – Campredó.
- Subtramo III: Campredó – desembocadura (subtramo deltaico).

El subtramo II es el resultante del cálculo efectuado añadiendo los 4 m³/s de la concesión administrativa del denominado *minitransvase* del Consorcio de Aguas de Tarragona (CAT) y 2 m³/s de previsión para los riegos de Aldea-Camarles (véase el Artículo 1 de este mismo manual recopilatorio), con la corrección correspondiente al mínimo del mes de agosto. Este mínimo debería ser de 100 m³/s en cualquier caso, como reconoce aproximadamente el Plan Hidrológico

de Cuenca¹ actualmente vigente (PHCE, 2010-2015), así como el anterior y el posterior en proceso actual de aprobación (2015-2021)².

El subtramo I resulta de agregar al subtramo II los 8 m³/s previstos para el canal Xerta-Sénia, 19 m³/s del canal de la izquierda del Ebro y 26 m³/s del canal de la derecha del Ebro.

El subtramo III resulta de restar al subtramo II los 4 m³/s de la concesión del CAT y los 2 m³/s de los riegos de Aldea-Camarles, también con la corrección correspondiente al mínimo del mes de agosto antes mencionado.

Como resultado de nuestros estudios anteriores (Franquet, 2005) considerábamos que el caudal de compensación no debía ser, en ningún caso, inferior a 265 m³/s en el subtramo inferior III del río Ebro (aguas de transición), a los que se debían sumar los 45 m³/s que circulan por los canales de regadío de ambas márgenes (19 m³/s por el izquierdo y 26 m³/s por el derecho), con el fin de desarrollar las labores agrícolas y mantener ecológicamente el delta del Ebro, también 8 m³/s para el canal Xerta-Sénia y 2 m³/s para los riegos de Aldea-Camarles, así como los 4 m³/s que determina la ley 18/1981, de 1 de julio (BOE nº 165 de 11/07/1981) para el abastecimiento de municipios e industrias de Tarragona (conocido como “minitransvase”; de hecho, la citada ley se titulaba “sobre actuaciones en materia de aguas en Tarragona”), lo que totaliza 324 m³/s aguas arriba del azud de Xerta-Tivenys (subtramo I).

Todas esas cifras resultaban ligeramente incrementadas una vez realizada la corrección del mes de agosto a un caudal mínimo de 100 m³/s, y su especificación definitiva puede verse en la tabla 1 que se acompaña de caudales mínimos. Ello exigía, en suma, un caudal mínimo de 271 m³/s aguas abajo del azud de Xerta-Tivenys (subtramo II) y 265 m³/s aguas abajo de la toma del CAT y de la futura toma de los riegos de Aldea-Camarles, o sea el subtramo III.

Puede verse, al respecto, la siguiente tabla de caudales mínimos medioambientales para el tramo inferior del río Ebro anteriormente prevista en nuestros estudios:

¹ Los planes hidrológicos de cuenca tienen por objetivo seguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas, la satisfacción de las demandas de agua, el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales. Según el Real Decreto 907/2007, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica, deben someterse determinados documentos del proceso de elaboración del Plan Hidrológico a consulta pública por un periodo de seis meses. El Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro 2015-2021 comenzó su andadura el 25 de mayo de 2013 con la publicación del anuncio de la consulta pública de los documentos iniciales, la cual finalizó el 25 de noviembre de 2013. El Esquema de Temas Importantes (ETI) tuvo su consulta pública del 30 de diciembre de 2013 al 30 de junio de 2014. Fue informado favorablemente por el Consejo del Agua de la demarcación del Ebro de 8 de octubre de 2014 y aprobado por el Consejo Nacional del Agua el 30 de septiembre de 2015, al tratarse de un plan intercomunitario. Actualmente continúa su tramitación y aplicación.

² Hay que tener en cuenta la fecha de redactado y depósito del presente Artículo, en el año 2015.

Tabla 1. Caudales mensuales según Franquet (2009).

**TABLA DE CAUDALES MÍNIMOS
MENSUALES POR SUBTRAMOS (m³/s)**

Ítem	Mes	Subtramo III	Subtramo II	Subtramo I	Media
1	Septiembre	103	109	162	124.67
2	Octubre	160	166	219	181.67
3	Noviembre	264	270	323	285.67
4	Diciembre	327	333	386	348.67
5	Enero	345	351	404	366.67
6	Febrero	392	398	451	413.67
7	Marzo	410	416	469	431.67
8	Abril	357	363	416	378.67
9	Mayo	331	337	390	352.67
10	Junio	285	291	344	306.67
11	Julio	131	137	190	152.67
12	Agosto*	100	100	153	117.67
	Media (m³/s.)	267.08	272.58	325.58	288.42
	Media (hm³/año)	8 423	8 596	10 268	9 096

*NOTA: En el mes de Agosto corresponde un caudal mínimo de 75 m³/s para el subtramo III y 81 m³/s para el subtramo II que, en cualquier caso, se han elevado al mínimo de 100 m³/s.

Por otra parte, los gráficos resultantes de los caudales mensuales mínimos para los diferentes subtramos en que se dividió el tramo inferior del río Ebro, desde la presa de Flix hasta la desembocadura, serían los siguientes (Franquet, 2009):

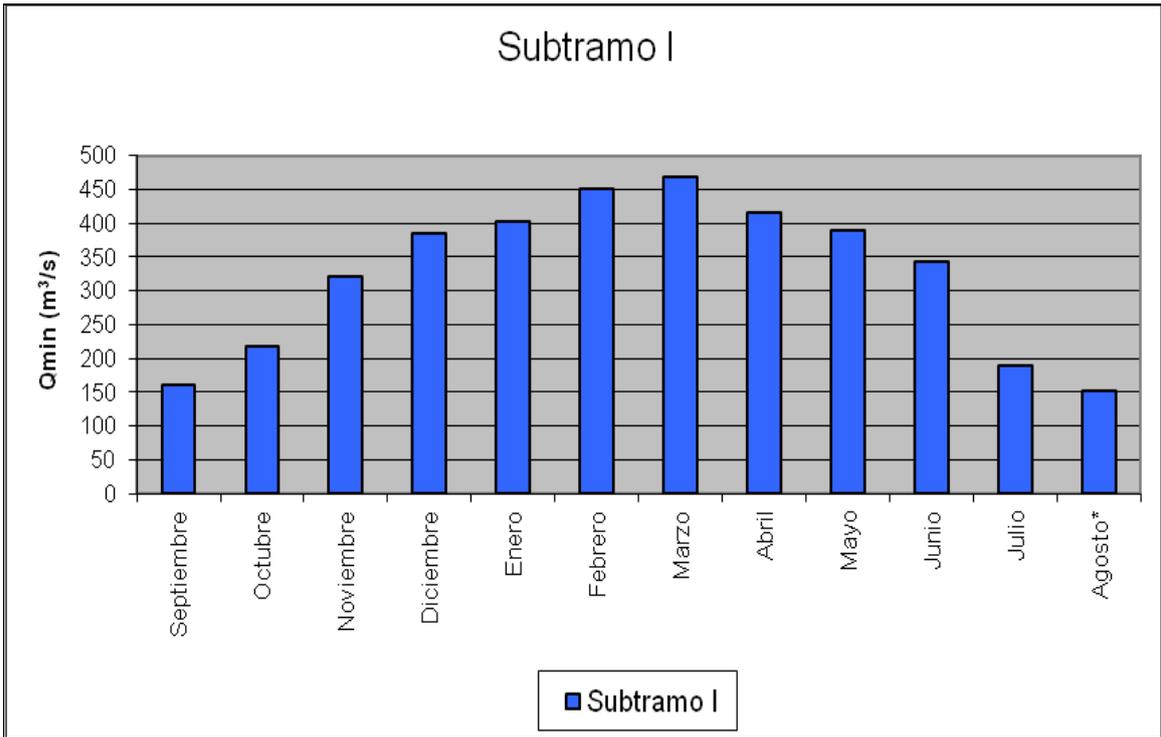


Fig. 2. Caudales mínimos mensuales en Subtramo I.

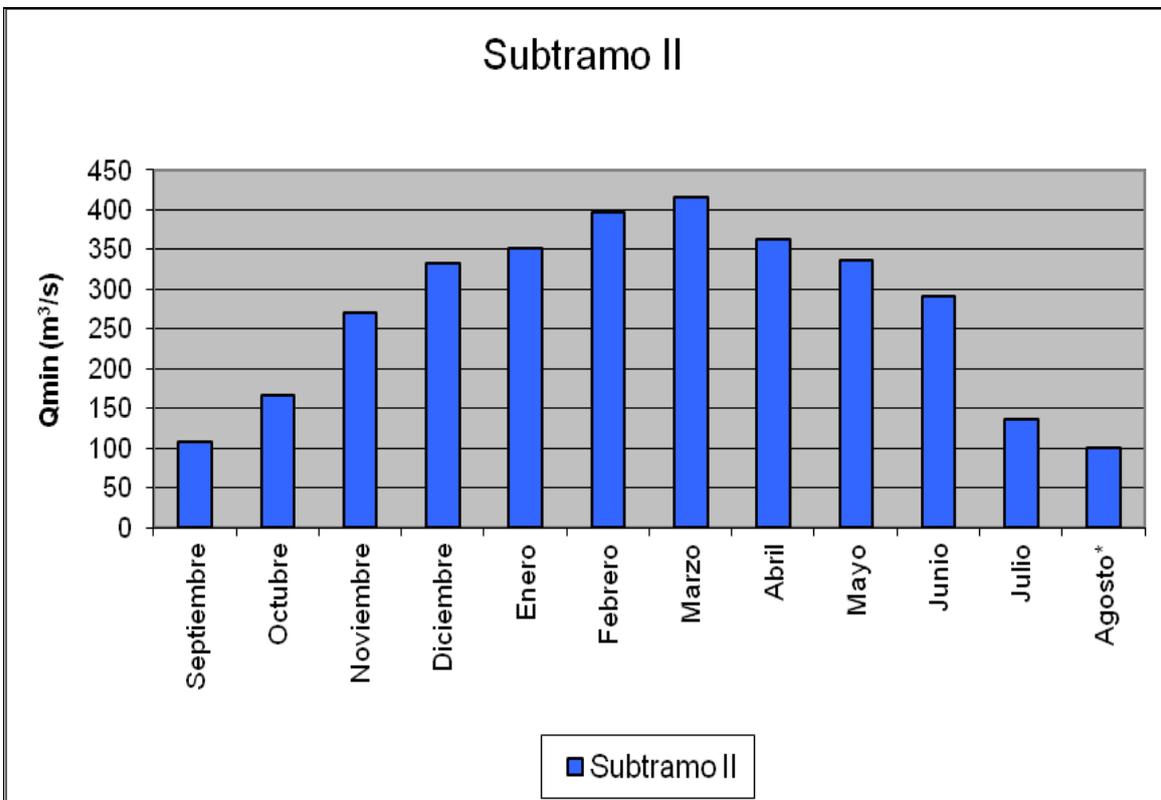


Fig. 3. Caudales mínimos mensuales en Subtramo II.

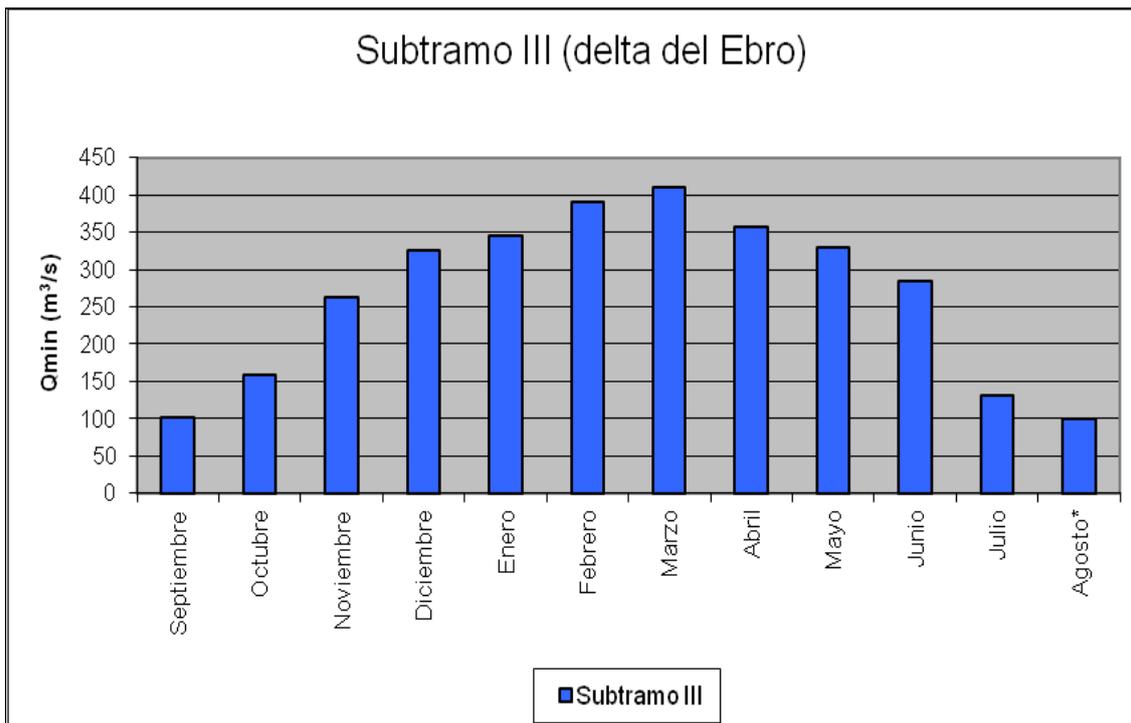


Fig. 4. Caudales mínimos mensuales en Subtramo III.

También se adjunta la tabla 2 comparativa entre los caudales mínimos medioambientales mensuales propuestos por el IRTA (2007) y los que resultan de las determinaciones expuestas de Franquet (2009), que se acompaña del gráfico donde se aprecian las diferencias existentes entre ambos estudios que, en cualquier caso, concluyen en unas aportaciones anuales medias muy parecidas. Aquellos trabajos fueron realizados en el año 2007 para la Comisión de Sostenibilidad de las Tierras del Ebro (CSTE) por encargo de la Agencia Catalana del Agua (ACA) y del Consorcio para la Protección Integral del Delta del Ebro (PIPDE), realizándose una estimación del caudal mínimo necesario en el delta del Ebro a partir de la aplicación del método RVANGRPG (*Range of Variability Approach*, con el criterio de rango de percentil 10 del *Northern Great Resource Plains Program*). Posteriormente, fueron modificados y adaptados en el año 2015 a las nuevas normativas así como a la nueva estimación de la aportación media en régimen natural de la cuenca del Ebro. La misma adaptación temporal del trabajo relacionado de Franquet puede observarse en el epígrafe siguiente de nuestro estudio.

La mencionada propuesta del IRTA-2007 tiene en cuenta que el año sea seco, medio o húmedo, suponiendo para cada uno de ellos una reserva respectiva de aportaciones anuales de 7149, 9482 y 12717 hm³. Dicha propuesta resultó aprobada por la totalidad de los miembros de la CSTE el día 3 de marzo de 2007, siendo recogida también por la Plataforma en Defensa del Ebro (PDE) que inició una serie de acciones informativas y reivindicativas para promover su desarrollo, entre las que cabe destacar el apoyo logrado por parte de diversos municipios de las Tierras del Ebro, a saber: Benissanet, Camarles, Deltebre, Flix, Alcanar, Sant Carles de la Ràpita, Mora la Nova, La Sénia, l'Aldea, Santa Bàrbara, Tortosa y los Consejos Comarcales del Baix Ebre y del Montsià.

Veámoslo a continuación:

Tabla 2. Comparativa IRTA-Franquet (m³/s).

ÍTEM	MES	IRTA AÑO SECO	IRTA AÑO MEDIO	IRTA AÑO HÚMEDO	PROPUESTA FRANQUET
1	Septiembre	102.70 120.00	135.00 151.00	210.30 178.00	124.67
2	Octubre	87.20 84.00	119.30 124.00	207.40 192.00	181.67
3	Noviembre	135.50 153.00	202.40 219.00	317.20 326.00	285.67
4	Diciembre	247.60 204.00	359.40 249.00	448.70 396.00	348.67
5	Enero	284.60 143.00	387.60 219.00	467.70 321.00	366.67
6	Febrero	326.90 166.00	436.50 260.00	511.40 316.00	413.67
7	Marzo	275.60 212.00	360.40 283.00	525.60 410.00	431.67
8	Abril	336.40 329.00*	427.60 410.00	568.60 475.00	378.67
9	Mayo	395.60 303.00	500.00 410.00	622.70 413.00	352.67
10	Junio	251.80 268.00	342.30 310.00	453.00 368.00	306.67
11	Julio	167.40 147.00	198.00 180.00	253.70 212.00	152.67
12	Agosto	116.20 107.00	149.80 132.00	186.60 166.00	117.67
	Media (m³/s)	227.00 186.17	301.00 245.18	397.00 314.15	288.42
	Media (hm³/año)	7149 5871	9482 7732	12517 9907	9096

Fuente: elaboración propia.

NOTAS:

- 1) La cifra superior de las casillas de IRTA se refiere a la determinación del año 2007 y la inferior a la del 2015.
- 2) Las cifras de la propuesta de Franquet corresponden al año 2009.

* En el mes de abril de un año seco debería garantizarse que, como mínimo y durante 15 días, se superase un caudal de 410 m³/s.

De la comparativa expuesta en la tabla anterior se deducen las siguientes figuras 5, 6 y 7.

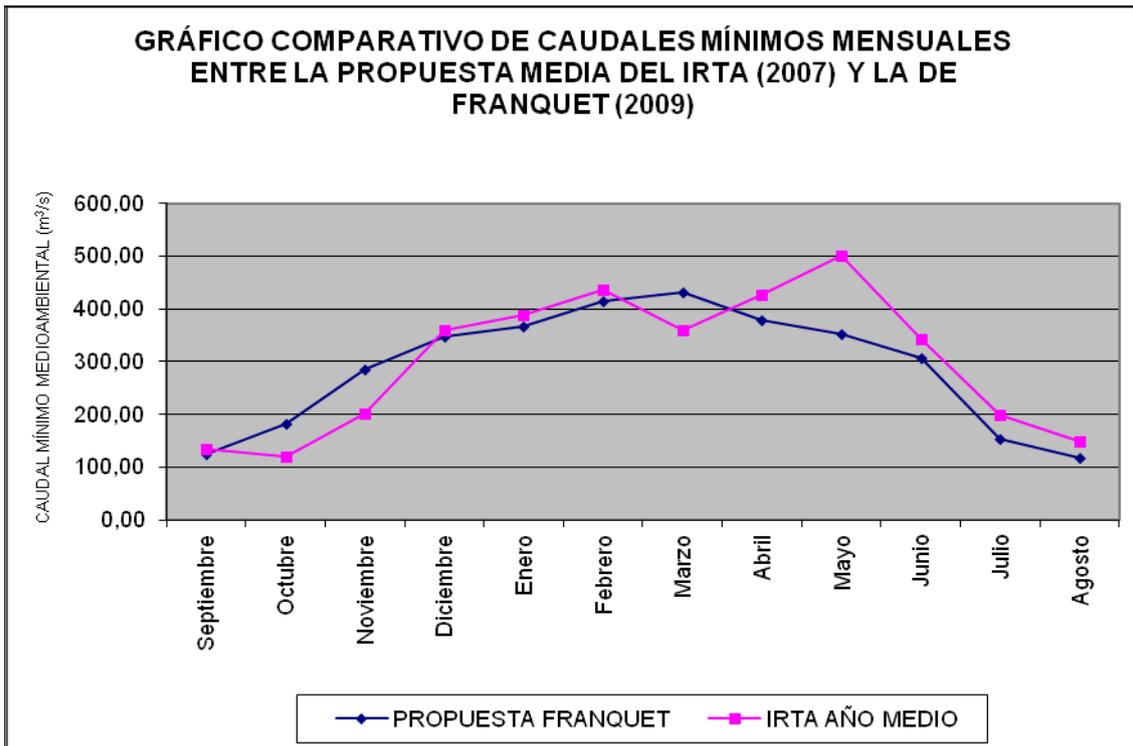


Fig. 5. Gráfico comparativo IRTA-Franquet.

A continuación, pueden verse reflejadas las líneas polinomiales de tendencia obtenidas por regresión minimocuadrática no lineal correspondientes a ambas propuestas.

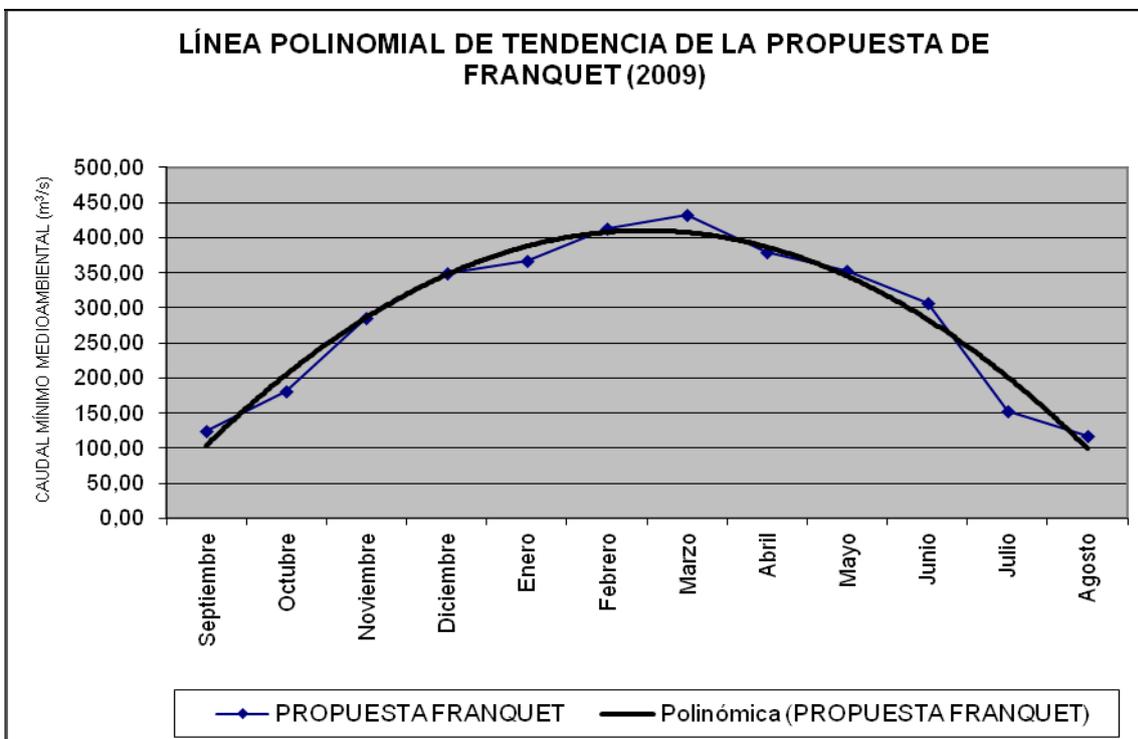


Fig. 6. Tendencia polinomial de la propuesta de Franquet (2009).

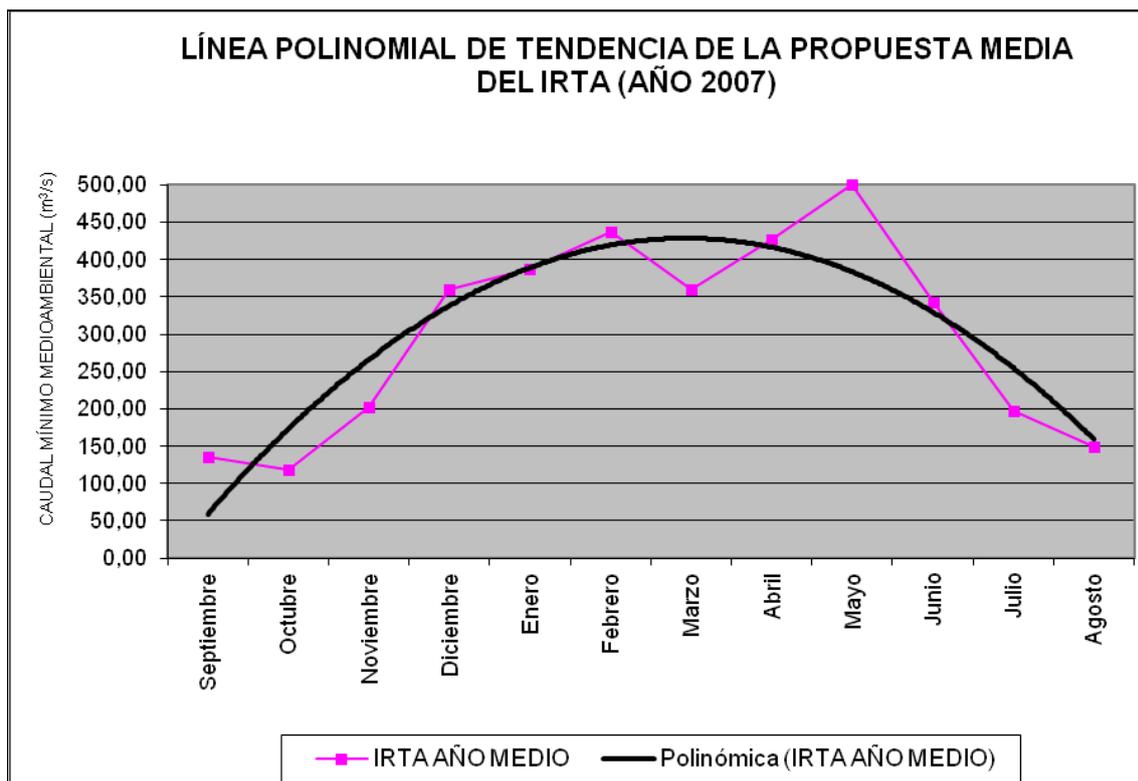


Fig. 7. Tendencia polinomial de la propuesta del IRTA (2007).

2. JUSTIFICACIÓN DE LA REVISIÓN EFECTUADA

Habiendo ya transcurrido cierto tiempo desde la anterior determinación, veamos que en el actual PHCE 2010/15 se considera que procede realizar una disminución en la previsión de las escorrentías de la cuenca del Ebro en base a las modificaciones inducidas por el cambio climático y debido a una supuesta disminución de las precipitaciones acuosas.

Es de destacar, al respecto de esta supuesta disminución de las precipitaciones, el trabajo titulado: “Evolución de las precipitaciones en la cuenca del Ebro: caracterización espacial y análisis de tendencias”, presentado a la VII Reunión Nacional de Climatología (AA. VV., 2002) por sus autores: Miguel Ángel García Vera, Jesús Abaurrea, Jesús Asín Lafuente y Alberto Centelles Nogués, de la propia Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Ebro y del Departamento de Métodos Estadísticos de la Universidad de Zaragoza, en el que se cuestiona dicho descenso de precipitaciones en la cuenca del Ebro. En las conclusiones de dicho estudio, se afirmaba textualmente que:

El análisis temporal ha identificado los periodos secos y húmedos en cada región y cuantificado las tasas de incremento/decremento de la lluvia en las fases identificadas. Como resultado de este estudio se desprende que, si se analiza un amplio intervalo temporal, 1916-2000 en este caso, no hay evidencia para

afirmar la existencia de una tendencia general decreciente en la precipitación de la cuenca del Ebro provocada por un cambio climático. La lluvia sufre oscilaciones dentro de un régimen que cabe calificar de estable. Sólo en la región C se observa un efecto decreciente que se mantiene desde finales de los años 30. En la época más reciente se ha observado en buena parte de la cuenca un descenso (significativo estadísticamente) del nivel medio de lluvia en el periodo que, grosso modo, dura desde mediados de los 60 a finales de los 80. Sin duda, este descenso de la precipitación ha tenido repercusión en los caudales del Ebro; ahora bien, el estudio indica que durante la última fase estudiada, los años 90, esa tendencia decreciente se ha detenido. En la actualidad estamos asistiendo a una recuperación en los niveles medios de lluvia, con fases crecientes en algunas zonas (Pirineo Oscense, Somontano, Navarra media, Rioja) o una disminución de la tasa de decrecimiento en las regiones donde no se observa un cambio de signo en la tendencia (Pirineo de Lérida, cabecera del Ebro, región Ibérica central).

En cualquier caso, pues, el estudio relacionado establece serias y razonables dudas sobre el hecho de que se venga produciendo un cambio generalizado en la cuenca del Ebro de la susodicha tendencia de las precipitaciones. No obstante, se ha considerado conveniente efectuar un reajuste de los cálculos iniciales para adaptarnos a la que estimamos va a ser la nueva situación, lo que se desarrolla a continuación.

3. DETERMINACIÓN DE LA APORTACIÓN MEDIA EN RÉGIMEN NATURAL

En nuestros cálculos anteriores (Franquet, 2005-2009) se consideraba una precipitación media de la cuenca del orden de 656 mm, cuando ahora (periodo 1980/2005/06) es de 622 mm (o sea, aproximadamente el 5% menos de aportaciones naturales) según el P.H.C.E. 2010/15. De hecho, se habría pasado de los 17265 hm³/año (plan PHN-2001) a los actuales 14623 hm³/año (PHCE, 2010/15), combinando otros factores que intervienen en la conocida fórmula de Becerril (ver también su aplicación en el Artículo 10 de este mismo libro con motivo de la determinación del caudal ecológico del río Siurana). Ello sucedería aproximadamente aplicando la expresada fórmula de Becerril (1941) con los siguientes parámetros: $\beta = 0.011$ y $F = 85534.20 \text{ km}^2$, esto es:

$$A_n = \beta \cdot N^{1.5} \cdot F, \text{ en la que:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A_n = \text{Aportación media anual de la cuenca (en dam}^3\text{)}. \\ \beta = \text{Coeficiente de escorrentía tabulado en el libro citado.} \\ N = \text{Precipitación media de la cuenca (en mm = l/m}^2\text{)}. \\ F = \text{Superficie de la cuenca aportadora (en km}^2\text{)}. \end{array} \right.$$

$$A_n = 0.011 \times 622^{1.5} \times 85534.20 = 14596 \text{ hm}^3/\text{año},$$

considerando la superficie aportadora total de la cuenca del Ebro, y nos daría la escorrentía total que, por lo visto, se está considerando en estos momentos por el correspondiente Organismo de Cuenca.

Tal como reconocía en su día el propio Ministerio de Fomento, la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca en régimen natural constituye una tarea de la mayor importancia para la planificación hidrológica, pero en nuestros días todavía hállase sujeta a incertidumbres importantes. Debe apoyarse en los datos registrados en las estaciones de aforo o foronómicas que, en la mayoría de las ocasiones, miden regímenes alterados.

La restitución a régimen natural de esos datos, aunque técnicamente resulta sencilla, en la práctica presenta notorias dificultades, pues no es habitual disponer de suficiente información sobre la evolución temporal de los caudales decaídos a los ríos, de las alteraciones introducidos por el hombre en el ciclo hidrológico como los bombeos en los acuíferos, los retornos de riegos o abastecimientos urbanos e industriales o de la gestión de la infraestructura hidráulica. Además, la red no cubre la totalidad del territorio y, en ciertos casos, no se pueden evaluar las condiciones en que fueron tomados los datos, fundamentalmente en aquellos registros que se remontan muchos años atrás y de los cuales no se posee una información lo suficientemente fidedigna. Estos factores hacen que se deba recurrir a la simulación matemática del ciclo hidrológico y reconstruir el régimen hidrológico natural en cualquier punto del territorio analizado a partir de datos meteorológicos, de las características físicas de las cuencas hidrográficas y de los datos registrados en las estaciones de aforo. Al simular el ciclo hidrológico, estos modelos proporcionan también información sobre recargas al acuífero, separación de la aportación total en superficial y subterránea, salidas subterráneas al mar, etc.

Si bien en el pasado ha sido habitual la utilización de modelos agregados, como el STANFORD IV o el SACRAMENTO, hoy en día se tiende a desarrollar modelos distribuidos que permitan considerar la variabilidad espacial, tanto de las variables como de los parámetros hidrológicos. Si estos modelos se plantean bajo bases teóricas (un ejemplo de ellos es el modelo MIKE-SHE), es decir, formulando las ecuaciones infinitesimales (diferenciales, integrales e integro-diferenciales) que rigen los distintos procesos hidrológicos, no suelen ser operacionales para el tratamiento de grandes cuencas a escala de la planificación hidrológica, como podría ser la del río Ebro. Una solución eficiente, no obstante, consiste en plantear modelos distribuidos con formulaciones de balance que permitan ofrecer las susodichas estimaciones.

4. METODOLOGÍA APLICADA PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS Y MEDIOAMBIENTALES MÍNIMOS

Una vez expuestos estos conceptos fundamentales e introductorios, vamos a pasar a realizar una descripción más exhaustiva del método que aquí se ha seguido para evaluar el caudal mínimo medioambiental necesario para el tramo inferior del río Ebro, considerando como tal el comprendido entre la presa de

Flix y la desembocadura deltaica en el mar Mediterráneo, y dividido, a su vez, en tres subtramos.

En diferentes apartados de nuestros trabajos ya se ha ido apuntando la diversidad de metodologías existentes para la estimación de los caudales ecológicos mínimos de los cauces naturales. La metodología que aquí se desarrolla no pretende, ni mucho menos, ni ser la única o exclusiva ni la mejor de todas ellas: constituye sólo una propuesta más que creemos digna de ser comparada con las otras y posteriormente, del conjunto de ellas -cuantas más mejor- poder extraer unas conclusiones suficientemente válidas y aceptables, que deberán pasar también por el complicado tamiz del consenso social y político de los territorios afectados (fundamentalmente, la propia cuenca hidrográfica). Y ello es así porque, con frecuencia, la simple cuantificación o variabilidad de los coeficientes empleados en las diversas formulaciones o modelos nos pueden alterar substancialmente los resultados a obtener.

Establecidos ya en nuestros estudios anteriores los principios o definiciones previas referentes al caudal mínimo medioambiental, conviene fijar su cuantía media anual y distribuirla posteriormente según el hidrograma del año hidráulico que viene observándose, a lo largo de una extensa serie histórica o cronológica, en el tramo inferior del río Ebro, concretamente en la estación de aforos número 027 de la CHE en Tortosa.

Cuando se verifica una precipitación, al aproximarse el agua al suelo, una parte de ella se evapora; del resto, una fracción se infiltra y percola en el terreno y otra discurre por la superficie del mismo. La parte que se infiltra alimenta los acuíferos y mantiene los niveles piezométricos, con lo que, bajo nuestro punto de vista, sólo tiene interés en lo que afecta a la regulación de las aguas subterráneas cuando se trata de aplicar el sistema de infiltración-percolación. La fracción que discurre por la superficie del suelo está ligada a la escorrentía, definiéndose (García, 1941) el coeficiente de escorrentía E para una cuenca a intervalo determinado, como la relación existente entre el caudal total desaguado en aquel intervalo y el volumen de precipitaciones caídas en la cuenca durante el mismo.

De este modo, el caudal ecológico mínimo propugnado por la fórmula de ISZKOWSKI (Franquet, 2009) quedaría establecido a la altura de la entidad municipal descentralizada de Campredó perteneciente al término municipal de Tortosa (comienzo del subtramo III) en:

$$Q_e = 0.0063 \times 1.50 \times 0.30 \times 0.622 \times 85000 = 150 \text{ m}^3/\text{s},$$

puesto que para el coeficiente de escorrentía medio anual de la cuenca se han considerado los valores medios de la fórmula de Kéller, a saber, en este nuevo caso:

$$E = 0.942 - \frac{405}{622} = 0.291 \cong 0.30,$$

cifra ésta que resulta coherente con otras determinaciones de dicho coeficiente sobre datos del período 1943/44 – 1968/69 (Franquet, 2009).

Si lo que se pretende, no obstante, es ajustarse a los nuevos datos (PHCE – 2010/15), con $A_n = 14623 \text{ hm}^3/\text{año}$, se deduce una escorrentía media, en toda la cuenca, de:

$$L_n = \frac{1000 \times A_n}{F} = \frac{1000 \times 14623}{85534.20} = 171 \text{ mm},$$

lo que significa un coeficiente de escorrentía anual, en base a las definiciones anteriores, de:

$$E = \frac{L_n}{N} = \frac{171}{622} = 0.28,$$

ligeramente menor que la obtenida en nuestros anteriores trabajos, por lo que puede considerarse como suficientemente aproximada la determinación anterior efectuada de $E = 0'30$.

Ello supondría un déficit anual de escorrentía de:

$$D = N - L_n = 622 - 171 = 451 \text{ mm}.$$

Así pues, dicho caudal ecológico para el tramo final debería quedar establecido, en el peor de los casos (aplicando el principio de prudencia, puesto que otros estudios ofrecen escorrentías del orden de $E = 34\%$ e incluso mayores) en: $150 \times 31.536 = 4730 \text{ hm}^3/\text{año}$, repartidos en base al hidrograma natural de la distribución anual de los caudales. De esta suerte, quedarían unos $10000 \text{ hm}^3/\text{año}$ a repartir entre los regadíos de toda la cuenca con concesión administrativa vigente o en trámite (incluidos los del tramo inferior) más los restantes usos consuntivos de la misma que autoriza la vigente legislación de aguas.

En el caso de considerarse estrictamente una disminución de las aportaciones en régimen natural del orden del 5% en relación a las tenidas en cuenta en planes anteriores, éstas quedarían establecidas en:

$$17265 \times 0.95 = 16402 \text{ hm}^3/\text{año}, \text{ con lo que:}$$

$L_n = \frac{1000 \times A_n}{F} = \frac{1000 \times 16402}{85534.20} = 192 \text{ mm}$, lo que significa un coeficiente de escorrentía anual medio, en base a las definiciones anteriores, de:

$E = \frac{L_n}{N} = \frac{192}{622} = 0.31$, siempre oscilando alrededor del 30%, y la cifra anterior a repartir por el resto de la cuenca del Ebro, salvando los caudales ecológicos necesarios para su tramo final, se vería aumentada hasta los $11500 - 12000 \text{ hm}^3/\text{año}$.

En este sentido, y por lo que se refiere al tramo final del río Ebro (comprendido entre Flix y la desembocadura) resultaría necesario, para la obtención del caudal mínimo medioambiental de dicho tramo, agregar al caudal ecológico los siguientes usos consuntivos:

Tabla 3. Caudales consuntivos del tramo inferior del río Ebro.

- Canales del Delta: (19 + 26)	=	45.00 m ³ /s
- " Xerta-Sènia:	=	8.00 "
- " Aldea-Camarles:	=	2.00 "
- Concesión del CAT:	=	4.00 "
- Otros usos y concesiones:	=	1.00 "
<hr/>		
TOTAL Q _c	=	60.00 m ³ /s

con lo que el caudal mínimo medioambiental, aguas arriba de l'assut de Xerta-Tivenys (final del subtramo I) sería del orden de:

$$Q_{\text{mín.}} = Q_e + Q_c = 150 + 60 = 210 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (6623 hm}^3/\text{año)},$$

variable según las diferentes épocas del año, y teniendo en cuenta un mínimo de 100 m³/s para garantizar la navegabilidad en todo el tramo inferior, así como la necesaria refrigeración de los dos grupos reactores de la central termonuclear de Ascó.

En la tabla 4 y figura 8 siguientes se presenta la gestión de caudales prevista en nuestros estudios anteriores (Franquet, 2009) para el tramo inferior del río Ebro. Así:

Ítem	mes	Yi	Yi/Y	(Yi/y)*Qmin	Qmax	Qmin PHN	Qmin Gen	Qinun
1	septiembre	198	0.399	107	289	100	135	2700
2	octubre	302	0.609	164	440	100	135	2700
3	noviembre	494	0.996	268	720	100	135	2700
4	diciembre	610	1.230	331	889	100	135	2700
5	enero	643	1.296	349	937	100	135	2700
6	febrero	730	1.472	396	1064	100	135	2700
7	marzo	764	1.540	414	1114	100	135	2700
8	abril	665	1.341	361	969	100	135	2700
9	mayo	618	1.246	335	901	100	135	2700
10	junio	533	1.075	289	777	100	135	2700
11	julio	249	0.502	135	363	100	135	2700
12	agosto	145	0.292	79	211	100	135	2700
6.5	Medias	496	1.000	269	723	100	135	2700

Tabla 4. Gestión de caudales (m³/s) en el tramo inferior (2009).

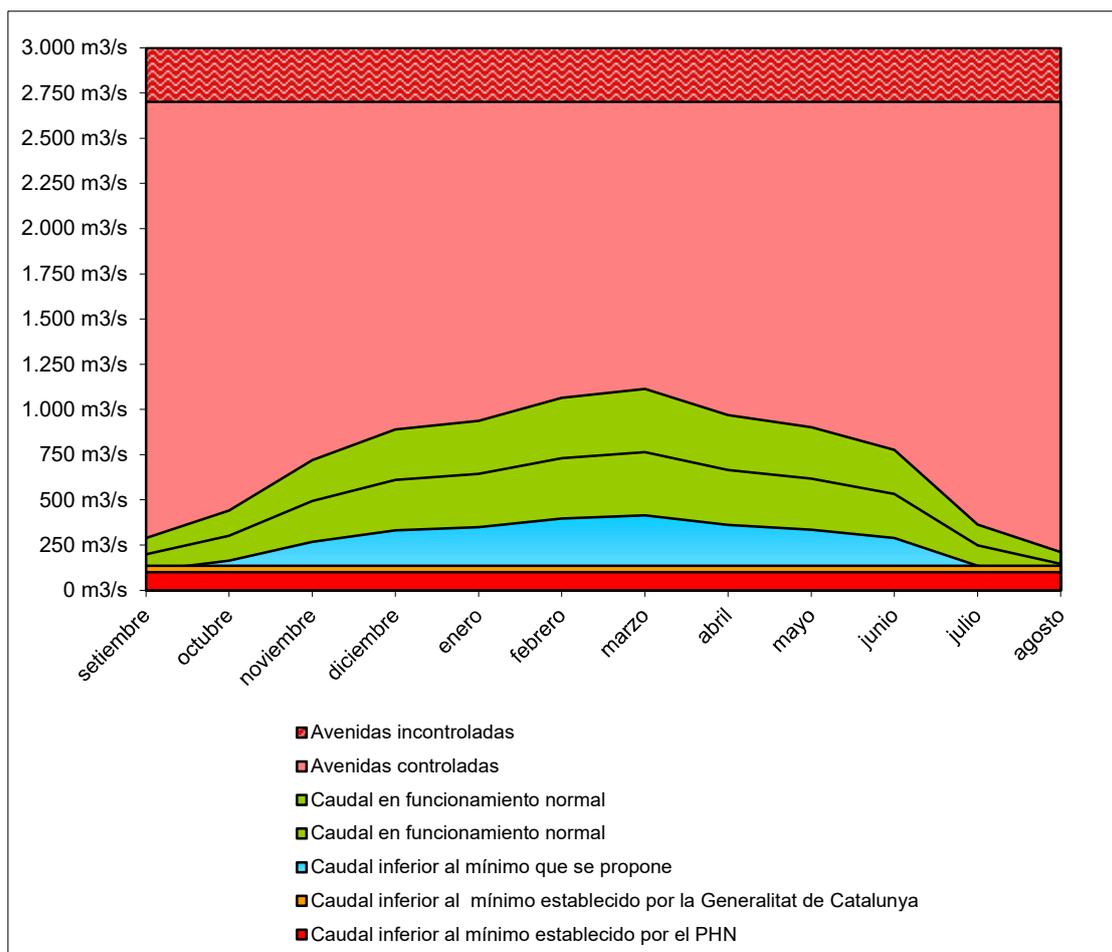


Fig. 8. Visualización de la tabla anterior (2009).

La clasificación de los caudales diarios se realizó con el fin de obtener una idea más precisa del promedio de tiempo durante el cual se aseguraba un caudal mínimo determinado. Para ello, se utilizaron los caudales diarios registrados en la estación foronómica nº 027 ("Ebro en Tortosa") desde 1966 a 1985 que, posteriormente, fueron ordenados en orden creciente y agrupados en "clases" o "grupos" en los que el número total de los caudales disponibles representaba un cierto porcentaje del total de los caudales disponibles (7300). Cuanto menor era el porcentaje de cada "clase" con relación al total, tanto mayor sería la precisión de la clasificación. No se consideraron coeficientes correctores puesto que la serie estudiada (20 años) y la implantación de la estación foronómica no lo precisaban.

Por último, veamos la tabla 5 resultante de los caudales mínimos medioambientales mensuales del tramo inferior del río Ebro. Las cifras así obtenidas pueden ser ligeramente modificadas en base a la temporalización prevista de los consumos de agua según las épocas del año (las dotaciones de agua para riego en primavera y en verano son superiores a las de otoño e invierno, así como también el consumo de agua para usos domésticos).

A "grosso modo", así pues, y sin tener en cuenta tampoco la variabilidad antedicha del caudal consuntivo, en base al hidrograma natural del río calculado en nuestros estudios (Franquet, 2009), la gestión de caudales en el

tramo inferior, del que se deduce que el año hidráulico del mismo estaría comprendido entre los meses de Septiembre-Agosto frente a la creencia clásica que lo sitúa en el período Octubre-Septiembre, quedaría establecida así para el PHCE 2016/2021:

Tabla 5. Caudales mensuales corregidos según Franquet.

Item	Mes	K	Q _e (m ³ /s)	Q _c (m ³ /s)	Q _{mín.} (m ³ /s)	Volumen (hm ³)
1	S	0.399	60	60	120	315
2	O	0.609	91	60	151	397
3	N	0.996	149	60	209	549
4	D	1.230	185	60	245	644
5	E	1.296	194	60	254	669
6	F	1.472	221	60	281	738
7	M	1.540	231	60	291	766
8	A	1.341	201	60	261	685
9	M	1.246	187	60	247	650
10	J	1.075	161	60	221	580
11	J	0.502	75	60	135	356
12	A	0.292	44	60	104	274
\bar{X}	Medias	1.000	150	60	210	$\sum_{i=1}^{12} = 6623$

De la tabla anterior se deriva, en fin, el siguiente gráfico:

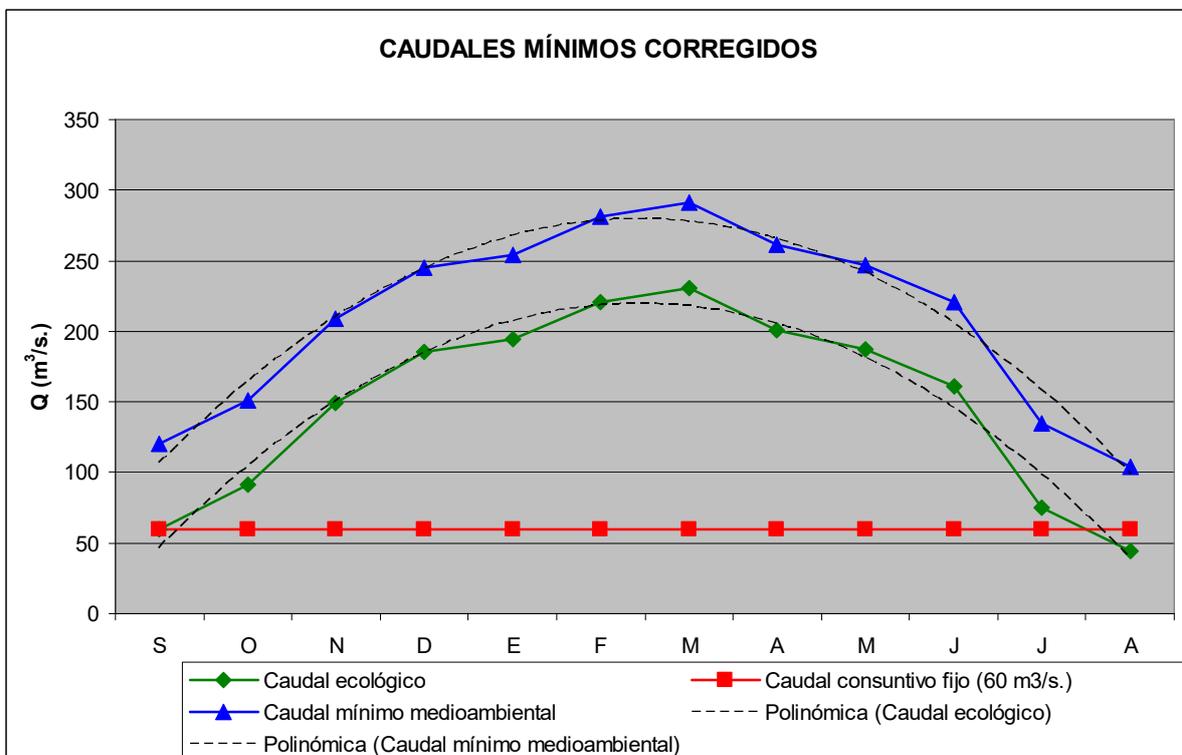


Fig. 9. Caudales mínimos corregidos.

En cualquier caso, la anterior tabla de gestión de caudales debería ser ajustada de tal modo que, en cualquier subtramo, se garantizaran, tal como se ha dicho, tanto la navegabilidad del río como la refrigeración de la Central Nuclear de Ascó. **Ello podría aconsejar incrementar ligeramente los volúmenes anuales de 6623 hm³ hasta alcanzar los 7000 hm³ (222 m³/s en caudal ficticio continuo), con lo que puede estimarse, en definitiva, un margen de variabilidad de $\pm 10\%$ comprendido entre 6300 y 7700 hm³/año de aportación para los caudales mínimos medioambientales precisos del río Ebro en su tramo final.**

Con las propias palabras de Palau (1994) digamos que “teniendo *in mente* la tan extendida referencia del 10%, el rango de resultados obtenidos por aplicación de la presente propuesta puede parecer excesivamente conservacionista para unos y quizás aún demasiado limitado para otros. Si tal hecho se diese sería un síntoma de que la propuesta puede estar en el camino del equilibrio entre el uso y la conservación del recurso agua.

En cualquier caso, sea ésta o no una buena propuesta, no es recomendable dejar aparcado el tema de la conservación de los ambientes fluviales, empezando por desmitificar la tan controvertida oposición entre el uso (supuestamente malo) y la conservación (supuestamente buena) de los recursos naturales (entre ellos el agua), continuando por el convencimiento de que nadie está libre de responsabilidad en el tema, ni siquiera los que creen estarlo, y que su solución, aparte de la necesaria inquietud y presión social, requiere *ecodinero*, es decir, dinero suficiente para suplir la repercusión económica de la demanda social de sistemas fluviales racionalmente gestionados”.

5. CONCLUSIONES

- Habiendo ya transcurrido cierto tiempo desde nuestra anterior determinación (2005-2009) acerca de los caudales mínimos medioambientales necesarios en los tres subtramos en los que se consideraba dividido el río Ebro en su recorrido final hasta la desembocadura, veamos que en el actual PHCE 2010/15 se considera que procede realizar una disminución en la previsión de las escorrentías de la cuenca del Ebro en base a las modificaciones inducidas por el cambio climático, debido a una supuesta minoración y mayor torrencialidad de las precipitaciones acuosas.
- En el presente trabajo se expone el método seguido para evaluar el caudal mínimo medioambiental corregido en relación a nuestros estudios anteriores y que resulta necesario para el tramo inferior del río Ebro, considerando como tal el comprendido entre la presa de Flix y la desembocadura deltaica en el mar Mediterráneo.
- Con ello, el caudal mínimo medioambiental, aguas arriba de l'*assut* de Xerta-Tivenys (final del subtramo I) sería del orden de 210 m³/s (6623 hm³/año), variable según las diferentes épocas del año, y teniendo en cuenta un mínimo preciso de 100 m³/s para garantizar la navegabilidad

en todo el tramo inferior, así como la refrigeración de la central termonuclear de Ascó. Ello podría incrementar ligeramente los volúmenes anuales hasta alcanzar los 7000 hm³, con lo que puede estimarse, en definitiva, un margen de variabilidad de $\pm 10\%$ comprendido entre 6300 y 7700 hm³/año para los caudales mínimos medioambientales precisos del río Ebro en su tramo final, como resultado de la adición de los caudales ecológicos y los consuntivos distribuidos, obviamente, siempre de acuerdo al hidrograma natural de caudales.

- Siguiendo la recomendación expresada en su día por el *Parlament de Catalunya*, esta propuesta de caudales medioambientales debería garantizar los niveles de conservación de los hábitats naturales de interés comunitario, las especies típicas y las aportaciones de sedimentos para evitar la subsidencia del Delta y el avance de la cuña salina por el lecho fluvial, así como la realización de un seguimiento del buen estado de las masas de agua y el cumplimiento de las directivas comunitarias afectadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y FONDOS DOCUMENTALES

- 1) AA. VV. Actas de la VII Reunión Nacional de Climatología. Albarracín (Teruel), 2002.
- 2) BECERRIL, E. *Apuntes de Hidráulica*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1941. 292 p.
- 3) FRANQUET, J.M. *Cálculo hidráulico de las conducciones libres y forzadas (Una aproximación de los métodos estadísticos)*. Ed. Bibliográfica Internacional, S.L. – Universitat Internacional de Catalunya (UIC). Tortosa, 2005. 590 p.
- 4) FRANQUET, J.M. *El caudal mínimo medioambiental del tramo inferior del río Ebro*. Ed.: Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Tortosa, 2009. 344 p.
- 5) GARCÍA, J. M. *Teoría matemática de la corrección de torrentes*. Ed. I.F.I.E.C. Madrid, 1941. 41 p.
- 6) PALAU, A. “Los mal llamados caudales ecológicos. Bases para una propuesta de cálculo”. *OP. Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, 28. Año 1994.
- 7) PLAN HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL EBRO (2010-2015). Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza.



RELACIÓN DE FIGURAS

- Fig. 1. El tramo inferior del río Ebro en estudio.
- Fig. 2. Caudales mínimos en Subtramo I.
- Fig. 3. Caudales mínimos en Subtramo II.
- Fig. 4. Caudales mínimos en Subtramo III.
- Fig. 5. Gráfico comparativo IRTA-Franquet.
- Fig. 6. Tendencia polinomial de la propuesta de Franquet (2009).
- Fig. 7. Tendencia polinomial de la propuesta del IRTA (2007).
- Fig. 8. Visualización de la tabla anterior.
- Fig. 9. Caudales mínimos corregidos.

RELACIÓN DE TABLAS

- Tabla 1. Caudales mensuales según Franquet (2009).
- Tabla 2. Comparativa IRTA-Franquet (m³/s).
- Tabla 3. Caudales consuntivos del tramo inferior del río Ebro.
- Tabla 4. Gestión de caudales (m³/s) en el tramo inferior (2009).
- Tabla 5. Caudales mensuales corregidos según Franquet.