

# EL EBRO EN EL DELTA

José Dolz Ripollés.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPC.*

Manuel Gómez Valentín.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPC.*

Justo Nieto Romeral.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

*Comissió de Ports de Catalunya.*

## RESUMEN

*Los últimos 30 km. del río Ebro discurren por la llanura deltaica presentando unas características notablemente diferentes a las que tiene aguas arriba. Estas características han sido modificadas de forma importante en el presente siglo debido, fundamentalmente, a la puesta en servicio de numerosos embalses en toda la cuenca, en particular los de Mequinenza y Riba-roja.*

*El régimen de caudales se ha modificado y el transporte sólido ha decrecido de forma sustancial, lo que incide en la estabilidad del cauce y en la dinámica costera del Delta. El régimen de caudales condiciona en gran medida la dinámica de la cuña salina presente en el cauce del río.*

*La navegación fluvial ha estado presente desde muy antiguo en el tramo final del Ebro, siendo actualmente promovida como elemento de atracción turística.*

## ABSTRACT

*The last 30 km of the Ebro flowing through the Delta, totally different from the upper reaches of the river, have been modified in this century by the numerous dams constructed upstream, particularly those of Mequinenza and Riba-roja.*

*Changes have come about in the discharge regime, with considerably less transport of solids, affecting the stability of the river bed and the coastal dynamics in the delta. River discharges are one of the main factors affecting the development of the saline wedge in the river bed.*

*River shipping has been historically active in the Ebro river since a long time, and nowadays it's promoted as a tourist attraction in the area.*

## ASPECTOS GENERALES

Según la Propuesta de Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro, Confederación Hidrográfica del Ebro (1996), la cuenca del Ebro tiene una superficie de 85.001 km<sup>2</sup>, estando en territorio español 84.051 km<sup>2</sup>. El cauce principal tiene una longitud de 910,5 km. Aproximadamente los últimos 30 km. de río discurren por la llanura deltaica. Según Verdaguer et al. (1985) las características deltaicas del río se inician 11 km. aguas abajo de Tortosa. Entre Amposta y la desembocadura, Ibáñez (1993), habitualmente el río tiene un ancho medio de 237 m. con una desviación típica de 58 m. (ancho máximo 387 m. y mínimo 125 m.); el valor de la profundidad máxima en una sección es de 6,77 m. con una desviación típica de 1,8 m. (profundidad máxima de 13,5 m. y mínima de 3,8 m.); el área media de la sección es de 1.051 m<sup>2</sup> con una desviación típica de 184 m<sup>2</sup> (área máxima de 1.624 m<sup>2</sup> y mínima 604 m<sup>2</sup>).

El cauce del Ebro presenta en diferentes puntos un incremento brusco de profundidad que reciben el nombre de "peceras" (peixeres en catalán) y que suelen relacionarse con surgencias de agua dulce. Como una de las más significativas puede citarse la peixera del Molí de Soldevila situada entre Tortosa y Amposta a la altura de Camp-redó. Esta pecera presenta una depresión del cauce de la cota -5 a la cota -20 y afecta a una longitud de río de unos 400 m. La longitud de la parte más profunda (cota -20) es de unos 50 m., Alonso (1997).

Según Carreras Candi (1940, p.19) el desnivel del Ebro entre Tortosa y Amposta (14 km.) es de 0,87 m. y entre Amposta y el mar (26 km.) 0,12 m. Cabe suponer que el anterior desnivel se refiere a la superficie del agua para caudales medios.

Las velocidades medias en una sección al inicio del Delta (proximidades de Amposta) se sitúan sobre los 0,4-0,5 m/s para un caudal de 470 m<sup>3</sup>/s, mientras que para 800 m<sup>3</sup>/s son 0,7-0,8 m/s, Dolz y Gómez (1992). Para un caudal 450 m<sup>3</sup>/s la velocidad puntual máxima en una sección también situada en esta zona es del orden de 1 m/s, Dolz (1993).

A lo largo de su recorrido por el Delta el río gana caudal procedente de las formaciones acuíferas conectadas a su cauce.

En el Mediterráneo la marea tiene escasa entidad siendo, por tanto, pequeña su influencia en el comportamiento hidráulico del tramo final del Ebro. No obstante, dada la práctica ausencia de pendiente, la oscilación de niveles se propaga hacia aguas arriba siendo observable en Tortosa. Administrativamente se sitúa el límite de la zona marítimo terrestre en esta ciudad.

## APORTACIONES Y CAUDALES

Según la Confederación Hidrográfica del Ebro (1996), la precipitación media anual en la cuenca (período 1940-86), es de 660 mm. con una distribución geográfica muy variable: estaciones que superan los 2.500 mm. y otras con 300 mm. La aportación natural media anual de la cuenca en el mismo período es de

18.212 hm<sup>3</sup>, mientras que la aportación media anual en la estación de aforos de Tortosa es de 13.408 hm<sup>3</sup> (período 1960-1993), siendo el máximo 22.540 hm<sup>3</sup> y el mínimo 4.283 hm<sup>3</sup>. Esta aportación tiene la siguiente distribución mensual: 1.580 hm<sup>3</sup> en enero; 1.580 hm<sup>3</sup> también en febrero; 1.609 hm<sup>3</sup> en marzo; 1.513 hm<sup>3</sup> en abril; 1.244 hm<sup>3</sup> en mayo; 1.101 hm<sup>3</sup> en junio; 552 hm<sup>3</sup> en julio; 369 hm<sup>3</sup> en agosto; 483 hm<sup>3</sup> en septiembre; 802 hm<sup>3</sup> en octubre; 1.193 hm<sup>3</sup> en noviembre y 1.382 hm<sup>3</sup> en diciembre. Las aportaciones máxima y mínima mensual de este período son 5.311 hm<sup>3</sup> y 83 hm<sup>3</sup>. La propuesta de Plan Hidrológico establece que actualmente el volumen anual medio vertido al mar, una vez satisfechas todas las demandas, es de 9.281 hm<sup>3</sup>, más 3.153 hm<sup>3</sup> que corresponden al caudal mínimo de 100 m<sup>3</sup>/s propuesto de forma provisional para el Ebro en el Delta. La distribución mensual de este caudal vertido es muy irregular, de forma que al simular el período 1940-1986, un total de 155 meses presentan vertido nulo (entre ellos 39 meses de julio, 44 meses de agosto y 36 meses de septiembre).

La existencia de 138 embalses en la cuenca del Ebro con una capacidad total de 6.837 hm<sup>3</sup> (el 37,5% de la aportación natural media anual) suaviza la distribución anual de caudales. En particular, los embalses de Mequinenza (1.528 hm<sup>3</sup>) y Riba-roja (210 hm<sup>3</sup>) situados en el propio Ebro, tienen un notable efecto regulador de caudales en el Delta.

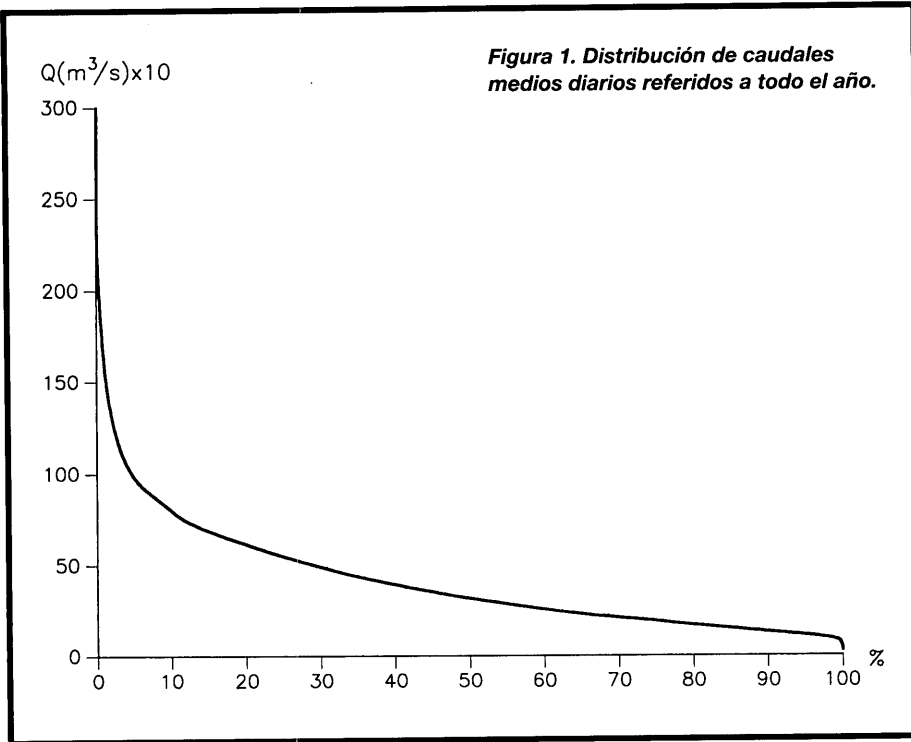
Según Maldonado (1977) la aportación media anual en Tortosa ha descendido un 14,8% debido a los embalses y regadíos puestos en servicio. Esta tendencia hacia aportaciones decrecientes también es analizada por Ibáñez (1993).

En la actualidad el mínimo caudal circulante aguas abajo de Flix está fijado por las necesidades de refrigeración de la C.N. Ascó (77,3 m<sup>3</sup>/s de concesión) y de alimentación de los dos canales de riego en Xerta (50 m<sup>3</sup>/s de capacidad total y que están en funcionamiento entre marzo y diciembre). Cabe señalar que con anterioridad a la puesta en servicio de los embalses de Mequinenza y Riba-roja, en Tortosa se registraron caudales medios diarios de 12 m<sup>3</sup>/s en julio de 1964, agosto y septiembre de 1962, MOPU (1979).

En la figura 1 se muestra la distribución de caudales medios diarios referidos a todo el año en la estación de aforos de Flix, según datos correspondientes al período 1968-1989 facilitados por FECSA. En la figura 2 se presenta la distribución de caudales medios diarios referidos al verano (1 de junio a 30 de septiembre). Observamos, por ejemplo, que existe una probabilidad del 50% de que el caudal medio diario en un día cualquiera del año sea igual o superior a 320 m<sup>3</sup>/s, mientras que si solo se consideran los días de verano el caudal correspondiente a dicha probabilidad del 50% es 250 m<sup>3</sup>/s.

Los máximos caudales registrados en Tortosa a lo largo del presente siglo son: 12.000 m<sup>3</sup>/s el 24 de octubre de 1907, 5.500 m<sup>3</sup>/s el 22 de mayo de 1921, 10.000 m<sup>3</sup>/s el 29 de octubre de 1937, 4.000 m<sup>3</sup>/s el 29 de enero de 1960 y 4.400 m<sup>3</sup>/s el 5 de enero de 1961. Después de haber sido construidos los embalses de Mequinenza y Riba-roja, los máximos caudales registrados

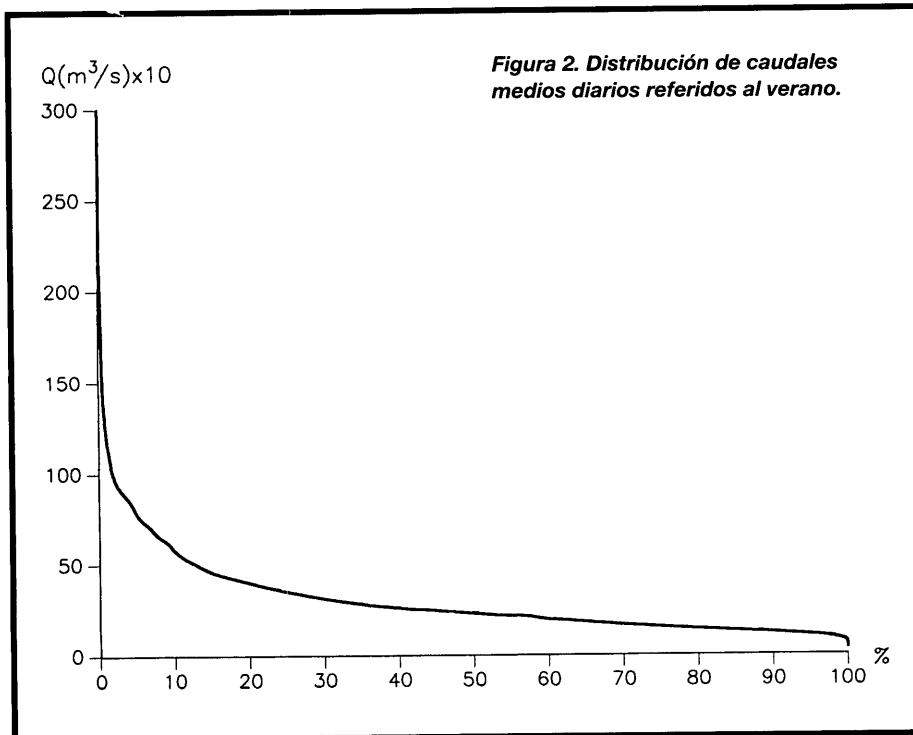
**Figura 1. Distribución de caudales medios diarios referidos a todo el año.**



fueron de 3.200 m<sup>3</sup>/s el 9 de noviembre de 1982 y de 2.600 m<sup>3</sup>/s el 24 de enero de 1997. Cabe indicar que la capacidad del encauzamiento existente en Tortosa es del orden de 2.800 m<sup>3</sup>/s.

Debido a la explotación de los aprovechamientos hidroeléctricos de Mequinenza, Riba-roja y Flix, existe una fuerte variación

**Figura 2. Distribución de caudales medios diarios referidos al verano.**



tamaño y concentración de las partículas sólidas varía en los diferentes puntos de la sección ya que también varían las características del flujo, características que a su vez dependen del caudal circulante. Al aumentar el caudal también aumenta la capacidad de transporte en suspensión.

El transporte por arrastre afecta al sedimento de mayor tamaño, que viaja sobre el fondo del cauce por la acción de la corriente. También en este caso, al aumentar el caudal se incrementa la capacidad de transporte sólido.

Según Guillén (1992) y Jiménez (1996), en el tramo deltaico del Ebro, el caudal mínimo preciso para iniciar el movimiento de partículas de tamaño  $D_{50} \geq 125 \mu\text{m}$  situadas en el lecho se ha estimado en unos 400 m<sup>3</sup>/s. Estas partículas, que posteriormente serán transportadas en suspensión y/o por arrastre de fondo, tienen la dimensión mínima precisa para participar en la dinámica costera interna del Delta; es decir, juegan un papel importante en su avance o en su regresión. El mencionado caudal ha sido igualado o superado aproximadamente en el 40% de los días en el período 1968-1989, ya posterior a la construcción de los embalses de Mequinenza y Riba-roja y por tanto, con una mayor regularidad de caudales en el Delta, Dolz y Puertas (1990).

horaria y diaria de caudales. Así, normalmente, los caudales durante el sábado y domingo son muy inferiores a los del resto de la semana. En la figura 3 se pone de manifiesto la irregularidad horaria de caudales durante los meses de verano de 1974. La aportación de este año fue muy semejante a la aportación media anual del período 1968-1989. Observamos que a lo largo de un día el caudal máximo horario puede ser del orden de 8 veces el caudal mínimo horario. Un análisis más detallado de los caudales circulantes en el tramo final del Ebro puede verse en Dolz y Puertas (1990).

## TRANSPORTE SÓLIDO

Guillén y Palanques (1992), a partir de medidas directas en el río realizadas entre mayo de 1988 y febrero de 1990, estimaron que el transporte sólido en suspensión se sitúa entre 100.000 y 150.000 T/año en el tramo deltaico del río. Ello supone menos del 1% de la aportación sólida en suspensión existente a finales de siglo pasado y principios del presente. Teniendo en cuenta que en el período 1988-1990 los caudales fueron inferiores a los habituales, los mencionados autores indican que actualmente la aportación media anual de material sólido en suspensión no llega al 5% de la que existía a principios de siglo, que ha sido estimada en base a datos aportados por Gorria (1880), Carreras Candi (1911) y Bayerri (1934-1935). Esta importante disminución se justifica en gran medida por los numerosos embalses construidos en la cuenca del Ebro en el último medio siglo, en particular los de Mequinenza y Riba-roja situados en el propio Ebro y con una gran incidencia en la regulación de caudales (notable disminución de las avenidas de tipo medio que presentan una elevada capacidad de transporte sólido) y en la retención de sólidos transportados por el río. También la disminución del caudal medio debido a un incremento del consumo de agua en la cuenca (fundamentalmente riego) es causa de una menor capacidad de transporte sólido. Se ha estimado que Mequinenza y Riba-roja retienen el 75% del transporte en suspensión que llega a sus embalses, Palanques et al. (1990). En el Delta, los sólidos en suspensión transportados por el Ebro son los no retenidos por los embalses, los procedentes del propio cauce y los aportados por la pequeña cuenca tributaria del Ebro aguas abajo de los embalses de Mequinenza y Riba-roja.

La morfología del cauce del Ebro es fruto de un equilibrio en que intervienen muchos factores, siendo uno de los principales la

aportación de sólidos del propio río. Cabe recordar que en el Delta el cauce forma parte de un territorio creado por las aportaciones sólidas del río, principalmente limos. Una consecuencia de la importante disminución en la concentración de sólidos en suspensión es el elevado poder de "lavado" que presenta el agua y que provoca la inestabilidad de las márgenes. Esta inestabilidad también se hizo patente después de la puesta en servicio de los embalses de Mequinenza y Riba-roja en los canales de la margen derecha e izquierda, lo que aconsejó su revestimiento. Un primer análisis de la estabilidad de las márgenes del Ebro entre Tortosa y Amposta, puede verse en Alonso (1992).

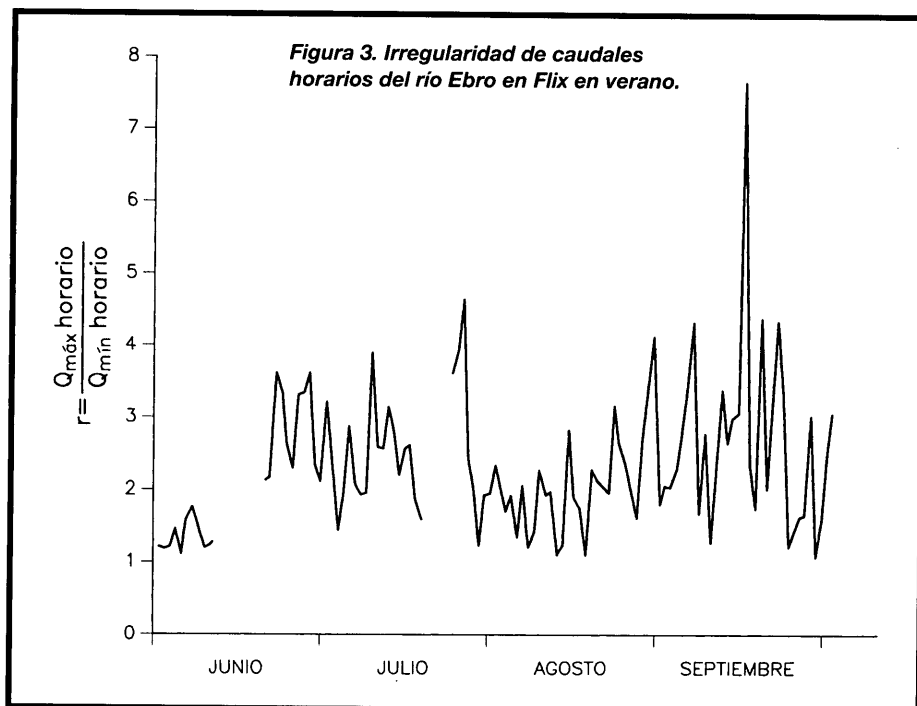
El transporte por arrastre de fondo es totalmente retenido en los embalses y según Guillén y Palanques (1992), en el Delta dicho transporte de fondo era prácticamente nulo durante el período 1988-1990.

## LA CUÑA SALINA

El agua de mar (más densa que el agua dulce) penetra en el cauce del río formando una cuña de agua salada situada en el fondo y sobre la que circula el agua dulce aportada por el río. La geometría de esta cuña (espesor y longitud) depende de la morfología y pendiente del cauce, del caudal circulante y de la marea. La forma del cauce puede favorecer o limitar el avance de la cuña hacia aguas arriba. Por otra parte, a mayor caudal circulante menor será la longitud de río afectada por la cuña. La práctica ausencia de marea en el mediterráneo favorece la estabilidad de la cuña. Otro factor que propicia su formación son los vientos del E ó SE que dificultan el desagüe del río y favorecen la entrada del agua de mar en el cauce.

Una cuña salina puede caracterizarse hidráulicamente como un flujo bicapa. El agua dulce (capa superior) fluye hacia el mar y por la parte inferior de la capa profunda (agua salada) se introduce agua del mar hacia el río. El contacto entre ambas capas se produce a través de una tercera capa de pequeño espesor con elevados gradientes de densidad y salinidad. En su movimiento hacia el mar, la capa superior arrastra agua salada de la capa inferior. Esta pérdida de agua salada que sufre la cuña, es compensada por la entrada de agua de mar que tiene lugar por su parte inferior junto al lecho del cauce.

En el Ebro, la cuña salina puede alcanzar en verano longitudes de aproximadamente 30 km., mientras que en invierno (mayores caudales) suele ser del orden de 10 km. Con anterioridad a la puesta en servicio de los embalses de Mequinenza y Riba-roja, los estiajes eran más severos, y la cuña salina llegaba hasta Tortosa, Aragón (1943).



Además del caudal, otro factor que condiciona en gran medida la posición de la cuña salina son las singularidades (zonas de pequeño calado) del fondo del cauce que pueden crear un efecto barrera en su avance hacia aguas arriba y controlar su retroceso, siendo por tanto límites estables de la cuña para un cierto rango de caudales. Según Ibáñez (1993) estas zonas son: la barra de la desembocadura, proximidades de la isla de Gracia, isla de Sapinya y confluencia con el Barranco de la Galera. Esta última está situada a 32 km. de la desembocadura, y 4 km. aguas arriba de Amposta, coincidiendo prácticamente con el inicio del tramo deltaico del río Ebro. Para que la cuña salina alcance esta sección, los caudales deben de ser inferiores a los 80 m<sup>3</sup>/s, cosa que rara vez ocurre actualmente. Entre 300 y 100 m<sup>3</sup>/s el límite de la cuña se sitúa en la isla de Gracia a 18 km. de la desembocadura, mientras que se sitúa en la isla de Sapinya (a 20 km.) entre los 100 y 80 m<sup>3</sup>/s. La presencia de la cuña en los últimos 5 km. requiere caudales inferiores a los 400 m<sup>3</sup>/s. Entre 1983 y 1993 ha existido cuña en un promedio de 7,5 meses al año, de los cuales ha alcanzado la isla de Gracia 5,5 meses y la ha superado 2 meses. Los anteriores datos relativos a la posición de la cuña en función del caudal concuerdan en gran medida con los expuestos en Geoconsulting (1992), donde también se analizan las propuestas de caudal mínimo realizadas por diferentes autores para limitar la extensión de la cuña salina.

La elevada variabilidad de caudales provocada por la explotación de los aprovechamientos hidroeléctricos incide notablemente en las características de la cuña.

La cuña salina modifica la capacidad de transporte de sólidos en las proximidades del fondo del cauce, propiciando la sedimentación y la formación de barras. Asimismo, la cuña salina presenta un fuerte gradiente vertical en los parámetros físico, químicos y biológicos, Muñoz (1990), Ibáñez (1993).

Debido a la presencia de la cuña salina, el espesor de la capa de agua dulce, decreciente en dirección hacia el mar, puede ser tan reducido que haga muy difícil su aprovechamiento para el riego de las explotaciones agrícolas del Delta. Por este motivo se ha contemplado la posibilidad de construir un azud sumergido en el cauce del río, lo que limitaría la presencia de la cuña al tramo situado aguas abajo del mismo, Dolz (1993).

## LA SALIDA AL MAR

Como parte integrante del Delta, la desembocadura del Ebro evoluciona constantemente debido a la interacción entre la dinámica fluvial y marina. La primera tiende a prolongar el cauce mar adentro debido a las aportaciones sólidas del río y la segunda provoca un efecto contrario mediante la acción de las corrientes marinas que distribuyen el sedimento de origen fluvial a lo largo de la costa. Por tanto, dicha morfología es condicionada en gran medida por el régimen de caudales líquidos y sólidos del río, y por la hidrodinámica marina.

La avenida de octubre de 1937 provocó que la desembocadura se desplazara hacia el norte, iniciándose la apertura de la

actual Gola Nord. A partir de ese momento se fue potenciando esa nueva salida, de manera que a finales de la década de los cincuenta, solo ella era activa, permaneciendo así hasta la actualidad. Un análisis más detallado de la evolución histórica de la desembocadura del Ebro puede consultarse en Maldonado (1986).

El desplazamiento de la salida al mar del Ebro en los últimos años, está acompañado por un retroceso en la posición de dicha salida. Este retroceso, que se enmarca en el proceso regresivo del frente deltaico, ha sido evaluado por Jiménez y Sánchez-Arcilla (1993) en: aproximadamente 60 m/año en el período 1957-1973 y unos 25 m/año entre 1973 y 1992. Según Carreras Candi (1940), a principios de siglo se estimaba en 7 u 8 metros por año el avance del cauce del Ebro mar adentro. El actual retroceso es atribuible tanto al proceso general de regresión del Delta, como a la remodelación de la línea de costa próxima a la anterior desembocadura.

El calado medio del río en la desembocadura es de 2 a 3 metros, suficiente para permitir la navegación de las embarcaciones de pesca y recreo propias de la zona. En épocas de estiaje, junto a la desembocadura se deposita sedimento procedente del transporte litoral disminuyendo el calado por debajo de los 1,5 m lo que imposibilita la mencionada navegación.

En el entorno del Delta existe una circulación marina litoral en dirección Norte que tiende a depositar sedimentos en la desembocadura. Cuando los caudales del río son suficientemente elevados, la corriente fluvial es capaz de alejar hacia el interior del mar dicha circulación marina, evitando su depósito junto a la salida del río que, según Delft Hydraulics (1991), es el causante de los bajos calados existentes en la desembocadura en estiaje. El anterior estudio evalúa en unos 135.000 m<sup>3</sup>/año el volumen de sedimentos que procedentes del Sur aporta la corriente marina litoral en las proximidades de la desembocadura. Asimismo, se estima en 900 m<sup>3</sup>/s el caudal preciso en el Ebro para evitar la sedimentación de procedencia litoral, caudal que en el período 1980-1991 se ha dado con una frecuencia inferior a una vez cada dos años.

En 1994 Delft Hydraulics realizó un estudio para consolidar la desembocadura del Ebro proponiendo la construcción de un espigón de 420 m de longitud adosado al margen derecho de la actual desembocadura y con orientación NNE. Este espigón interceptaría el transporte litoral y de este modo se evitaría la sedimentación en la zona de la desembocadura. Pero esta interceptación del transporte litoral puede dar lugar a un efecto no deseado como es favorecer la regresión del litoral deltaico situado al norte del espigón. Por este motivo, esta infraestructura debe de ser contemplada en el contexto de las actuaciones que pudieran realizarse para proteger la costa del Delta.

## LA NAVEGACIÓN FLUVIAL

La navegación fluvial ha estado presente desde muy antiguo en el tramo final del Ebro. Plinio describe al Ebro como navega-

ble hasta cerca de Logroño. Según cita Carreras Candi (1940, p.7), el municipio romano de Hibera Julia Ilercavonia, probablemente la actual Amposta, acuñó moneda a principios de nuestra era. Estas monedas muestran en el anverso y reverso dos tipos de barcas, una destinada a la navegación marítima, y otra a la fluvial. Esta última con vela cuadrada semejante a la utilizada hasta la desaparición de la navegación en el presente siglo. Según el numismático Heiss, lo anterior está relacionado con el transbordo desde los navíos marítimos que ascendían por el Ebro a las barcas fluviales.

En la canción de Roldán (siglo XII) se hace mención a una escuadra musulmana formada por cuatro mil embarcaciones que remontan el Ebro hasta Zaragoza. Posteriormente, en el siglo XIII el "Libre dels Costums" de Tortosa regulaba los fletes y establecía las normas para el buen funcionamiento de la navegación fluvial. En 1677 las Cortes de Aragón trataron de la unión de Zaragoza con el mar a través del Ebro, proyecto del que ya se habían ocupado dichas Cortes en 1441. También se contemplaba la elección de un puerto en el Mediterráneo para el comercio exterior del Reino de Aragón, Carreras Candi (1940, p.176).

En el año 1585 Felipe II viajó con su séquito de Zaragoza a Tortosa por el río. En la segunda mitad del siglo XVIII se construyó un canal de navegación entre Amposta y la Ràpita a fin de comunicar el Ebro con el mar, evitando los problemas que suponía para la navegación la presencia de la barra de arena que se forma en la desembocadura. La construcción de este canal, conocido como canal de Carlos III, dio lugar al surgimiento de una nueva ciudad, la actual Sant Carles de la Ràpita ubicada en la salida del canal al mar. La solera del canal de Carlos III estaba situada a la misma cota que el cauce del río, lo que facilitaba la entrada del abundante material sólido transportado en aquella época por el Ebro y su posterior sedimentación en el canal. Esto exigía unos elevados costes de mantenimiento que provocaron su rápido abandono.

En virtud de la Ley de 26 de noviembre de 1851 y del Real Decreto de 29 de diciembre de 1852, el ciudadano francés Isidoro Pourcet promovió la Real Compañía de Canalización del Ebro, cuyo objetivo principal era comunicar Zaragoza con el mar utilizando el Ebro. A continuación se describe brevemente el desarrollo de este proyecto, sin duda la iniciativa más ambiciosa y sería de las que se han promovido para hacer navegable el tramo final del Ebro. Lo que seguidamente se expone ha sido extraído fundamentalmente de Carreras Candi (1940) y Lesguiller (1862).

La Compañía se constituyó con un capital de 126.000.000 reales, desembolsado en su mayoría por inversores franceses y británicos. Al otorgar la concesión el Gobierno español garantizaba un interés del 6% durante treinta años para el capital invertido en las obras, aumentado en un 25%. Esta garantía no llegó a hacerse efectiva.

Parece ser que el grupo bancario radicado en París responsable de la parte financiera, primó la especulación en las emisiones, aunque no confiara en el éxito de la empresa. En aquel momento la navegación por el Ebro y por tanto la Real Compañía,

eran favorecidas en los mercados financieros internacionales por la expectación debida al proyecto del Canal de Suez. Durante los años 1857 y 1858 las obras fueron dirigidas por el ingeniero francés de Ponts et Chaussées J.Carvalho, quien, según parece, había informado negativamente sobre la viabilidad económica de la empresa.

El tramo de río comprendido entre Escatrón y Amposta tiene una longitud de 245 km. y en él se llevaron a cabo numerosas obras de encauzamiento, dragado y protección de márgenes. Se construyeron seis esclusas: Baños, Chiprana, Magdalena, Mequinenza, Flix y Xerta. Estas esclusas permitían el paso de barcos de vapor con paletas, de 10 m. de manga y 50 m. de eslora. Además de las seis esclusas construidas, estaban previstas otras 17 en los 112 km. comprendidos entre Zaragoza y Escatrón. En este último tramo sólo se iniciaron obras en los 18 km. comprendidos entre Sástago y Escatrón.

Dentro del Delta cabe destacar la construcción del Canal de Navegación entre Amposta y Sant Carles de la Ràpita. Este canal era necesario debido a las dificultades que ofrecía a la navegación fluvial la barra de arena que se forma en la desembocadura del Ebro. Para evitar los problemas de sedimentación que un siglo antes provocaron el abandono del Canal de Carlos III, el Canal de Navegación se situó a una cota superior a la del cauce del Ebro y del nivel del mar. Ello hizo necesaria la existencia de esclusas para acceder al canal desde el río y desde el mar. Para alimentar de agua al canal se construyó a partir del azud de Xerta, que fue recrecido, otro canal situado en la margen derecha del río.

El Canal de Navegación tenía una longitud de 10,3 km., era de sección trapezoidal revestida de mampostería con talud de 45° y 2,7 m. de altura. El calado era 1,5 m. y el ancho de lámina de agua era de 23 m. En ambos laterales del canal había un camino de sirga de 4 m. de anchura. El primer tramo, de 4995 m., situaba la solera a 2,3 m. sobre el nivel del mar, comunicándose con el segundo tramo (de 5379 m. y situado a 0,7 m. sobre el nivel del mar) mediante una esclusa de 1,5 m. Como ya se ha comentado, también existían esclusas en Amposta para acceder desde el río al canal (altura de 3,7 m.) y en Sant Carles de la Ràpita para acceder desde el mar (altura de 2,2 m.).

El canal de alimentación transportaba un caudal máximo de 13,5 m<sup>3</sup>/s, consumiéndose 5 m<sup>3</sup>/s para poder mantener la navegación y el resto se destinaban al riego de 11.000 hectáreas.

Las inversiones realizadas para hacer navegable el Ebro entre Escatrón y el mar ascendieron a 15,8 millones de francos, de los que 1,7 se destinaron a obras en el cauce, 5,8 al canal de alimentación, 3,7 al Canal de Navegación y 4,6 a la construcción de esclusas.

Las obras entre Escatrón y el mar fueron concluidas en 1858. En vista de las dificultades que presentaba el tramo comprendido entre Zaragoza y Escatrón, la Real Compañía fue eximida en julio de 1867 de su compromiso de hacerlo navegable.

Inicialmente los vapores Cinca (53 metros de eslora y 5 de manga) y Ebro, y luego el Zaragoza y el Gállego, fueron dedica-



*Figura 4. Obras de dragado en el Ebro aguas abajo de Tortosa.*

dos al transporte fluvial. Los dos primeros empezaron a prestar su servicio a finales de 1856 y principio de 1857, antes de concluir las obras.

La navegación por el Ebro no fue acorde a las expectativas que había suscitado. Así, en enero de 1868, un informe interno de la Real Compañía muestra una situación preocupante para el futuro de la empresa, debido fundamentalmente a la competencia surgida por la construcción de las nuevas líneas de ferrocarril. En 1872 la mala situación económica obligó a la Real Compañía a enajenar diferentes bienes e hipotecar las cuatro embarcaciones, siendo desguazado al año siguiente el vapor Ebro. Una vez fracasada la navegación fluvial, la Real Compañía orientó sus esfuerzos hacia el regadío, primero en la margen derecha del Delta aprovechando los caudales transportados por el canal de alimentación procedente del azud de Xerta y luego en la margen izquierda una vez construido en nuevo canal con origen en el mismo azud, que se inauguró el 5 de mayo de 1912 por el rey Alfonso XIII. Para llevar a cabo esta nueva actividad, se creó la Real Compañía de Canalización y Regadíos del Ebro, desapareciendo la Real Compañía de Canalización del Ebro.

Ya en el siglo XX hubo nuevos intentos de potenciar el Ebro como río navegable. Así, una comisión de la Marina informó favorablemente sobre la ubicación de una base naval en Tortosa para flota ligera y refugio de submarinos. A fin de conocer las dificultades que ello comportaba, fueron enviados dos torpederos a remontar el Ebro. Solo uno de ellos pudo atravesar, con grandes dificultades, la barra de arena existente en la desembocadura, llegando a Tortosa el 30 de marzo de 1915.

En 1920, Lorenzo Pardo pronuncia dos conferencias (en la Academia de Ciencias de Zaragoza y en el Ateneo de Tortosa) donde defiende la navegación en el Ebro aguas abajo de Caspe.

Esta navegación sería facilitada por la construcción de embalses, principalmente el embalse del Ebro, que permitieran asegurar unos caudales mínimos en estiaje, Marcuello (1990, p.144-145).

A lo largo del primer tercio del siglo XX hubo diferentes intentos de consolidar un servicio regular de vapores entre Tortosa y Barcelona. En este sentido cabe citar al vapor Anita que prestó servicio a lo largo de los años veinte. Cuando era posible remontaba el Ebro aguas arriba de Tortosa, aunque difícilmente podía pasar de Miravet. En cuatro ocasiones llegó a Mora d'Ebre.

La navegación tradicional en el Ebro ha sido realizada mediante los "llauts", embarcación de aproximadamente veinte metros de eslora y unos dos de manga. Esta embarcación estaba dedicada principalmente al transporte de mercancías siendo su máxima carga 30 toneladas. En la bajada por el río solía utilizar los remos, mientras que a la subida podía utilizar la vela si el viento era favorable, así como el remo, la pértiga o la sirga. Este transporte fue disminuyendo en importancia debido a la competencia del ferrocarril y del camión, desapareciendo en los años sesenta con la construcción de las presas de Mequinenza y Riba-roja.

En el Delta el transporte de arroz también solía realizarse remontando el río hasta Tortosa o Amposta. El ferrocarril Tortosa-La Cava construido al final de los años veinte sustituyó a este transporte fluvial.

A partir de 1983 la Generalitat de Cataluña y la Diputación de Tarragona han promovido estudios y realizado obras para hacer navegable el Ebro en sus últimos 118 km. desde el mar hasta Riba-roja en el límite de Aragón. Esta navegación está orientada

hacia el turismo y permitirá disfrutar de entornos de gran interés natural como el Parque Natural del Delta del Ebro y el paso de Barrufemes.

El 29 de julio de 1994 fueron inauguradas las obras de dragado, señalización y atraque que hacen navegable el Ebro en los 31 km. comprendidos desde Tortosa hasta la desembocadura (figura 3). La profundidad mínima es de 2 metros, lo que permite navegar en horas diurnas a embarcaciones turísticas de hasta 1,5 m. de calado a una velocidad máxima de 10 km./h, siempre que el río transporte caudales comprendidos entre 60 y 800 m<sup>3</sup>/s.

Actualmente se están llevando a cabo las obras para hacer navegable el río hasta Mora d'Ebre, que incluyen la rehabilitación de la esclusa de Xerta. En este tramo el calado máximo posible de las embarcaciones será de 1 m.

## AGRADECIMIENTOS

Este artículo se enmarca en las actividades realizadas dentro del proyecto de investigación HID96-1374-C02-01 financiado por el Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (Programa Nacional de Recursos Hídricos).

También queremos agradecer la colaboración prestada en la búsqueda de información por parte de la Direcció General de Ports i Costes, la Junta d'Aigües, ENHER y FECSA.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alonso A.** (1997). Batimetrías de precisión empleando GPS cinemático en tiempo real y ecosonda digital en el seno de estudios hidrográficos en el río Ebro. Trabajo final de carrera de I.T.Topográfica. UPC.
- Alonso E.** (1992). Estudio de la estabilidad de las márgenes del río Ebro entre Tortosa y Amposta. Direcció General de Ports i Costes de la Generalitat de Catalunya.
- Aragón J.** (1943). Informe sobre la salinidad del agua del Ebro. Instituto Nacional de Colonización.
- Bayerrí E.** (1934-35). Historia de Tortosa y su comarca. Imprenta Moderna del Alguerri. Tortosa.
- Carreras Candi F.** (1911). Geografía general de Catalunya. Ediciones Catalanas.
- Carreras Candi F.** (1940). La navegación en el río Ebro. Notas históricas. La Hormiga de Oro, SA. Barcelona.
- Conf. Hidrográfica del Ebro** (1996). Propuesta del plan hidrológico de la cuenca del Ebro.
- Delft Hydraulics** (1991). Estabilització de l'entrada a la desembocadura del riu Ebre per la Gola Nord. Direcció General de Ports i Costes de la Generalitat de Catalunya.
- Delft Hydraulics** (1994). Sortides alternatives del riu Ebre. Direcció General de Ports i Costes de la Generalitat de Catalunya.

- Dolz J.** (1993). Estudio previo para la construcción de un azud sumergido en la parte final del río Ebro a fin de limitar la presencia del agua de mar. Fundació Agrícola Catalana.
- Dolz J., Gómez M.** (1992). Estudio hidráulico de la navegabilidad del río Ebro en el tramo Tortosa-Amposta. Direcció General de Ports i Costes de la Generalitat de Catalunya.
- Dolz J., Puertas J.** (1990). Análisis de los caudales circulantes aguas abajo de Flix. Direcció General de Ports i Costes de la Generalitat de Catalunya.
- Geoconsulting** (1992). Recopilació de dades al Delta de l'Ebre. Direcció General d'Obres Hidràuliques de la Generalitat de Catalunya.
- Gorria J.** (1880). Navegación y riegos en la región inferior del Ebro. Imprenta La Guirnalda. Madrid.
- Guillén J.** (1992). Dinámica y balance sedimentario en los ambientes fluvial y litoral del Delta del Ebro. Tesis doctoral. UPC.
- Guillén J., Palanques A.** (1992). Sediment dynamics and hydrodynamics in the lower course of a river highly regulated by dams: the Ebro river. *Sedimentology* 39, 567-579.
- Ibáñez C.** (1993). Dinàmica hidrològica i funcionament ecològic del tram estuari del riu Ebre. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona.
- Jiménez J.A.** (1996). Evolución costera en el Delta del Ebro. Un proceso a diferentes escalas de tiempo y espacio. Tesis doctoral. UPC.
- Jiménez J.A., Sánchez-Arcilla A.** (1993). Medium-term coastal response at the Ebro delta: Spain. *Marine Geology*, 114, 105-118.
- Lesguiller M.** (1862). Notice sur les travaux de canalisation de l'Ebre. *Annales des Ponts et Chaussées*. 1er. Semestre.
- Maldonado A.** (1977). Introducción geológica al Delta del Ebro. Publicado en "Els sistemes naturals del Delta de l'Ebre". Institució Catalana d'història natural.
- Maldonado A.** (1986). Dinámica sedimentaria y evolución litoral reciente del Delta del Ebro. En: "Sistema integrado del Ebro". Hermes. Madrid.
- Marcuello J.R.** (1990). Manuel Lorenzo Pardo. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- MOPU** (1979). Aforos. Cuenca del Ebro. mopu
- Muñoz I.** (1990). Limnologia de la part baixa del riu Ebre i els canals de reg: els factors físico-químics, el fitoplancton i els macroinvertebrats bentònics. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona.
- Palanques A., Plana F., Maldonado A.** (1990). Recent influence of man on the Ebro margin sedimentation system. Northwestern Mediterranean sea. Publicado en "Marine geology of the Ebro continental margin". Editado por C.H.Nelson y A.Maldonado. *Mar.Geol.* 95, 247-263.
- Verdaguer A., Serra J., Canals M.** (1985). L'interaction fluviale et marine dans le cours inferieur de l'Ebre: Consèquences sedimentologiques. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 29(2). ●