

Recopilación y análisis de la información existente sobre el Delta del Ebro

JOSÉ SANTOS LÓPEZ GUTIÉRREZ (*)

RESUMEN En este artículo se realiza una revisión de los resultados más interesantes encontrados en el análisis de la bibliografía recopilada concerniente al Delta del Ebro. Se ha prestado mayor interés a la formación y evolución a lo largo del tiempo del Delta, y a los trabajos sobre la dinámica litoral y los factores que influyen en la misma. El objetivo era conocer el estado del arte en estos temas para poder desarrollar nuevos estudios que profundicen en el conocimiento del comportamiento del Delta del Ebro en el futuro.

COMPILATION AND ANALYSIS OF LITERATURE ABOUT THE EBRO DELTA

ABSTRACT In this paper a brief review is undertaken of the most interesting results found in the analysis of compiled literature about the Ebro Delta. More attention is paid to the formation and time evolution of the Delta, and to collected reports concerning littoral dynamics and the driving agents. The purpose is to get a state-of-the-art knowledge of these topics in order to perform new works that allow to predict the future Ebro Delta behaviour.

Palabras clave: Análisis; Recopilación; Delta Ebro; Dinámica litoral.

1. ANTECEDENTES

Este artículo es un resumen del informe titulado "Estudio de la dinámica litoral del Delta del Ebro y pronóstico de su evolución: Recopilación y análisis de los trabajos sobre el Delta del Ebro", que está recogido en la bibliografía al final del artículo. Este informe se realizó bajo la dirección de Dr. Antonio Lechuga Alvaro, Jefe del Sector de Costas del Centro de Estudios de Puertos y Costas - CEDEX.

La realización de estos estudios es consecuencia del interés mostrado por la Dirección General de Costas del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente en el conocimiento del estado en que se encuentra el Delta del Ebro y en su futura evolución a medio y largo plazo. Como consecuencia de ello se encargó al Centro de Estudios de Puertos y Costas-CEDEX la realización de los diagnósticos pertinentes para determinar dicha evolución con año horizonte en el 2020.

Para marcar el inicio de estos trabajos se ha comenzado con una recopilación de la información existente y el análisis de la misma para poder conocer todo lo realizado hasta ese momento y con ello tener una visión más clara de los trabajos a emprender en un futuro.

De la extensa lista de bibliografía consultada, hay que destacar por su interés la siguiente:

- **Maldonado, A.** (1972), *El Delta del Ebro. Estudio sedimentológico y estratigráfico*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Barcelona.

- **Mariño, M.** (1986), *El sistema integrado del Delta del Ebro. Estudio interdisciplinar*. Madrid.
- **Centro de Estudios de Puertos y Costas - CEDEX.** (1988), *Estudio sobre la regeneración de la Playa del Trabucador*. Madrid.
- **IBERINSA, S.A.** (1992), *Estudio de la regresión del Delta del Ebro y propuesta de alternativas de actuación*. Madrid.
- **Laboratorio de Ingeniería Marítima.** (1984-1993), *Análisis y propuesta de soluciones para estabilizar el Delta del Ebro*, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

Al realizar la recopilación de los trabajos a consultar, éstos se han ido clasificando en función del tema que abordaban, por lo que se optó por organizarlos según los siguientes grupos temáticos:

- Caracterización geográfica y morfológica.
- Génesis y evolución geológica.
- Evolución reciente.
- Dinámica litoral e hidrodinámica de las aguas costeras.
- Hidrología y aportes sedimentarios del río Ebro.
- Trabajos de campo y mediciones realizadas en el Delta del Ebro.
- Otros estudios sobre el Delta del Ebro.

En los siguientes apartados se irán exponiendo los datos más relevantes que se encontraron en la revisión y análisis efectuados y que están desarrollados en el informe que sirve de base al presente artículo.

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Fundación Agustín de Bethencourt.

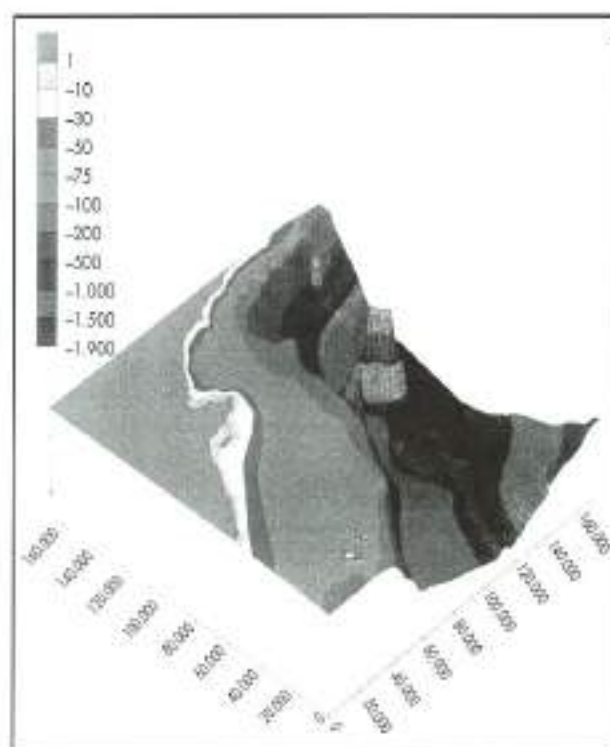


FIGURA 1. Representación 3D de la batimetría digitalizada del entorno del Delta del Ebro.

2. CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y MORFOLÓGICA DEL DELTA DEL EBRO

El Delta del Ebro tiene una superficie total de 2.170 km², de los cuales el 15% (325 km²) corresponden al delta emergido o llanura deltaica. El volumen de sedimentos almacenados a lo largo del tiempo es de 65 km³ que representan unas 149.000 × 10⁶ toneladas (e = 15%). En términos estadísticos se puede decir que el Delta se ha formado por la erosión de una capa de 77 cm de espesor medio en toda la cuenca del río (84.447 km²).

De las clasificaciones de diferentes deltas del mundo la más significativa es la de Galloway (1975), indicándose en ella el agente modelador o acción dominante en los deltas (oleaje, mareas, componente fluvial). Atendiendo a la misma el Delta del Ebro se encuentra dominado tanto por el oleaje como por los procesos fluviales.

Dentro de la caracterización morfológica destacan los ambientes deltaicos existentes y los procesos que se manifiestan en el comportamiento del Delta. Con respecto a los ambientes deltaicos, éstos son los siguientes:

- 1. Llanura deltaica:** Es la parte emergida del Delta y en ella se encuentran dos tipos de ambientes:
 - *Fluviales:* Son los cauces y levées.
 - *Palustres:* Son las zonas marismales y las lagunas.
- 2. Ambientes fluvio-marinos:** Es la zona de contacto entre los agentes marinos y fluviales. Se dividen en:
 - *Frente deltaico:* Es la zona de la salida del río.
 - *Ambientes holomarinicos:* Son las zonas donde los sedimentos son transferidos por la corriente de deriva litoral (playas y flechas litorales).

- 3. Ambientes marinos:** Es la parte sumergida del Delta y en ella se produce una lenta deposición de los materiales finos. Hay tres zonas encuadradas dentro de este ambiente:
 - *Prodelta:* Parte sumergida del delta progresivo (proximal, medio y distal).
 - *Plataforma:* Es la superficie de la plataforma externa.
 - *Bahías interiores:* Son la del Fangar y la de Los Alfaques y su creación se debe al avance de las flechas litorales.

Los procesos deltaicos que se manifiestan en el Delta son los siguientes:

1. Salida del río:

La desembocadura es la zona de más movilidad del Delta. En el movimiento de la masa fluvial intervienen tres fuerzas fundamentales: su inercia, la fricción del flujo de salida con el fondo y la flotabilidad del agua del río sobre la del mar por sus distintas densidades.

2. Salida de sedimentos:

Los sedimentos finos entran, al abandonar el cauce del río, en el sistema general de corrientes del medio marino. Los gruesos son inmediatamente depositados en la boca de salida y más tarde se trasladarán a los márgenes de la desembocadura.

3. Agentes de transporte:

— *Oleaje:* Es el agente más activo de la dinámica sedimentaria costera salvo en la zona de la desembocadura. También hay que considerar el transporte transversal (zona de surf y offshore). Las corrientes generales de deriva establecen un esquema de flujo a partir de -20 o -30 m decisivo para la progresión del-

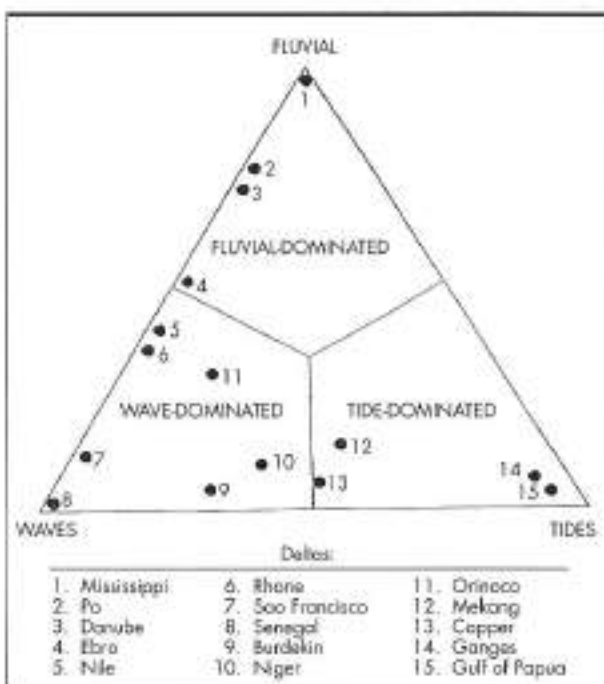


FIGURA 2. Clasificación temática comparativa de 15 deltas. (Galloway, 1975).

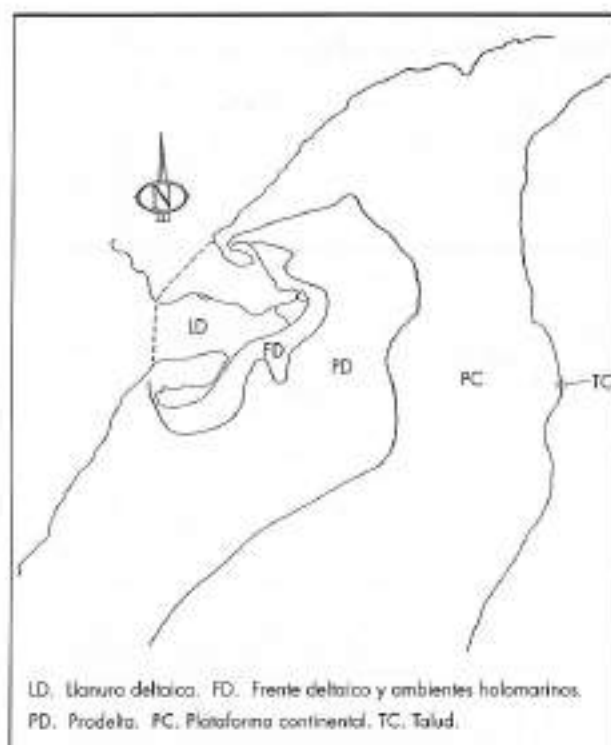


FIGURA 3. Distribución en planta de ambientes en el Delta del Ebro. (Fuente: Laboratorio de Ingeniería Marítima. Análisis y propuesta de soluciones para estabilizar el Delta del Ebro).

taica. Recoge todo el sedimento que se escapa de la zona de acción del oleaje y el que le vierte directamente la desembocadura (finos) y lo reparte por la superficie sumergida frente a la llanura deltaica.

- **Viento:** Recoge material de la llanura deltaica y lo transporta a la superficie del mar. La presencia de campos de dunas verifica la existencia de un importante transporte eólico, creando depósitos homogéneos.
- **Deslizamientos gravitacionales (Slumps):** Actúan en la plataforma continental. La excesiva acumulación de material en un área provoca un desprendimiento de la parte inestable.
- **Oscilaciones del nivel medio del mar:** Se trata de un fenómeno esporádico.
- **Generación de suspensiones fluviales:** El material avanza en una capa intermedia asociada a una interfase (termoclina) hacia aguas profundas.
- **Procesos geoquímicos y biológicos:** Estos pueden ser floculación, bioturbación, cementación submarina,...

4. Fuentes de aporte sedimentario:

- **Fluviales:** Es la fuente más importante con un orden de magnitud de 10^6 toneladas/año. En la época del régimen normal del río los aportes sedimentarios estarán formados por 80-90% de limo-arcilla y 10-20% de arena.
- **Torrenciales:** Son los aportes de las lluvias torrenciales que arrastran sedimento muy heterométrico al mar.
- **Marinos:** Son de origen orgánico y son transportados desde otras zonas costeras adyacentes.

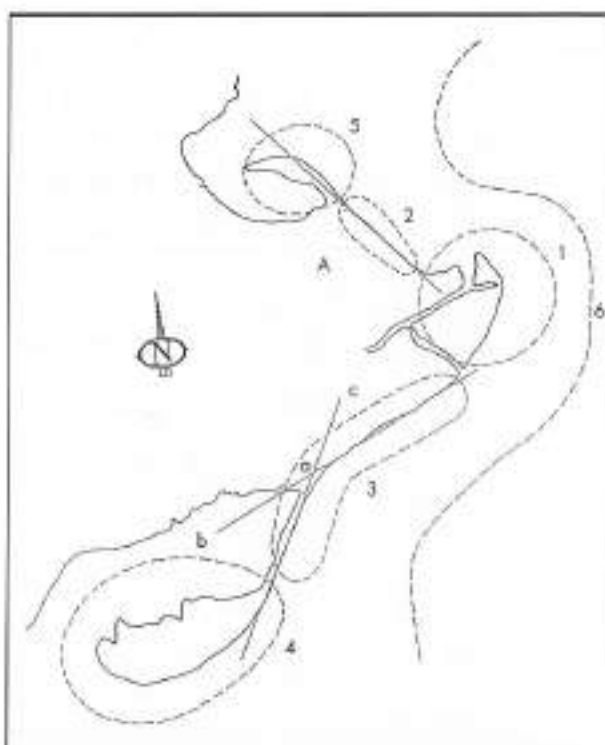


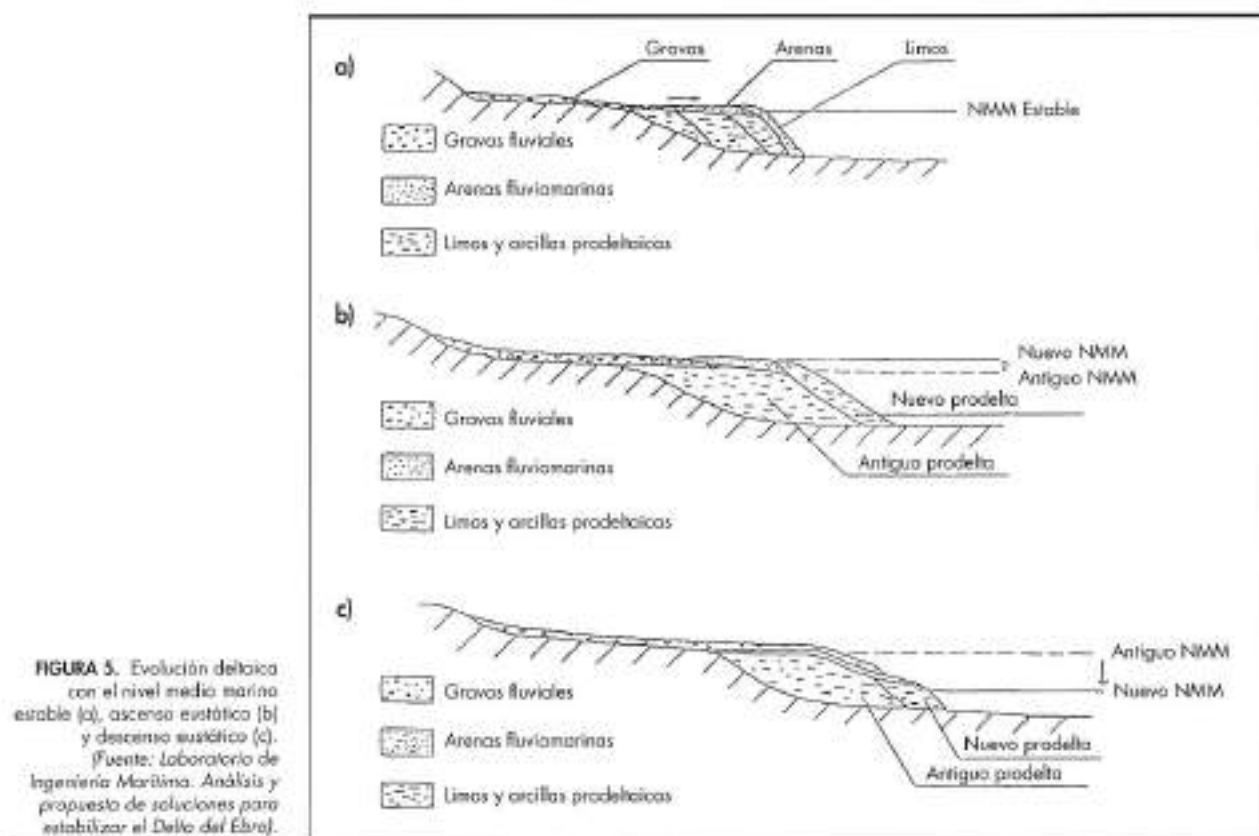
FIGURA 4. Microsistemas morfológicos del Delta del Ebro. (Fuente: Laboratorio de Ingeniería Marítima. Análisis y propuesta de soluciones para estabilizar el Delta del Ebro).

- **Eólicos:** Es una fuente a considerar cuando el viento es intenso y persistente.

El clima de la región es de tipo mediterráneo litoral, con una meteorología de gran variabilidad espacial y temporal. La orografía de la zona también ayuda a esta variabilidad ya que se dan frecuentes y fuertes vientos acorralados provenientes del valle del Ebro. La temperatura media es comparativamente alta, siendo los veranos moderadamente calurosos y húmedos y los inviernos tibios y secos, habiendo pocos días de helada. La pluviometría varía considerablemente de año en año, siendo del orden de 300 mm en los años secos y superando los 750 mm en los años lluviosos. La media anual se sitúa entorno a los 500 mm. Los meses de Septiembre y Octubre son con mucho los más lluviosos del año.

3. GÉNESIS Y EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DEL DELTA

El Delta del Ebro ha experimentado un rápido crecimiento durante los últimos siglos gracias a los grandes aportes sólidos evacuados por el río. En el Delta ha habido un factor decisivo que se ha visto alterado a lo largo de su crecimiento y es la posición del nivel medio del mar. Los sucesivos cambios climáticos han inducido los conocidos periodos de glaciación a lo largo del tiempo a los que ha ido asociada la oscilación del nivel del mar. La plataforma continental sobre la que se apoya el actual complejo deltaico se formó acorde con dichas variaciones eustáticas cíclicas. La evolución del delta holoceno actual (plataforma) comienza a partir del ascenso eustático posterior a la última glaciación. El periodo de desarrollo deltaico se caracteriza por la sucesión



alternante e irregular de unos períodos en los que predomina el índice de ascenso eustático (secuencias erosivas) y de otros en los que la velocidad de sedimentación supera el ascenso del nivel del mar (acreción deltaica). Este proceso se inicia al final del máximo de glaciación Würm (18.000 a.C.). El nivel del mar se encontraba entonces unos 90 metros bajo el nivel actual. Por este motivo los depósitos deltaicos más antiguos tienen una edad aproximada de 20.000 años. A la vez que subía la superficie marina, el río iba depositando los sedimentos de grano grueso cada vez más aguas arriba, creándose un depósito de gravas poligénicas fluviales, que en distribución irregular, constituyen la base del actual Delta. Este ascenso tuvo lugar entre el 18.000 y el 5.000 a.C., quedando entonces el nivel del mar estabilizado temporalmente a unos 10 metros por debajo del actual. La progresión deltaica tendrá lugar básicamente a partir de esta nueva estabilización marina. En la primera fase de estabilización, a -10 m del 5.000 al 3.500 a.C., fue cuando se produjo la mayor deposición masiva. La llanura deltaica alcanzó una superficie similar a la actual, partiendo de la batimétrica -10 m del Holoceno y penetrando algo en el valle inferior del Ebro. Una segunda estabilización del nivel medio del mar tuvo lugar hacia el 3.500 a.C. a una profundidad relativa al actual de -5 metros. En este caso los depósitos producidos fueron del mismo tipo que los de la anterior estabilización, pero menos potentes. La evolución de la actual llanura deltaica se concretó durante el último ascenso eustático de -5 a 0 metros muy favorecida ya por los depósitos existentes.

Se considera la evolución histórica del Delta la producida durante los siglos XVI-XIX. El Delta experimentó un rápido avance mar adentro durante los siglos XIV-XV, entre

otras causas, a una intensa deforestación del valle del Ebro, de modo que en el siglo XVI ya tenía un aspecto similar al actual. Para poder estudiar esta evolución se recurre a una serie de mapas antiguos. El primer grupo de mapas corresponden al siglo XVI y marcan ya la existencia de una bahía al sur cerrada por una barra (Banya), lo que hace pensar que es una de las formaciones más antiguas. La segunda generación de mapas, del siglo XVII, muestra una descripción más detallada del sistema deltaico. Ya se puede apreciar con claridad la península de los Alfaques, el istmo del Trabucador y tres distributarios principales. En el comienzo del siglo XVIII cobró mayor importancia el lóbulo central, que ha sido el que ha venido desarrollándose hasta nuestros días.

El Delta del Ebro evoluciona sobre la plataforma continental a dos niveles distintos, con escalas espaciales diferentes:

- 1. Evolución a macroescala del conjunto deltaico,** gobernada por el balance integrado de los agentes fluviales y marinos. El eje de la evolución está orientado según la dirección oeste-este. Las causas de dicha orientación son la orografía local que encaja el cauce del río y la dinámica del medio marino y su interacción con el régimen fluvial.
- 2. Evolución de los microsistemas que constituyen el complejo deltaico.** Los microsistemas se clasifican en tres grupos:
 - Sistema de evacuación de sedimentos (río).
 - Sistemas de transporte litoral del sedimento grueso (oleaje).
 - Sistemas de deposición (flechas y prodelta).

4. EVOLUCIÓN RECIENTE DEL DELTA DEL EBRO

Se considera evolución reciente a la experimentada desde finales del siglo XIX (1880) hasta la actualidad. En este tiempo transcurrido se han producido dos hechos destacables que influyeron en su configuración:

1. Cambio de la desembocadura principal, abriéndose una nueva salida hacia el norte, debido a la avenida de 1937.
2. Construcción de embalses en el curso bajo del río Ebro (Mequinenza y Ribarroja) durante la década de los sesenta.

Los efectos provocados por estos dos hechos en el sistema deltaico han sido los siguientes:

1. Con el **cambio de la desembocadura** el río muestra una importante inercia en recuperar el ritmo normal de

entrega de sedimentos. La zona de la desembocadura precisa de un cierto tiempo y material sedimentario para estabilizarse y poder entregar arena para la deriva litoral de forma estacionaria. Los efectos de este cambio son la disminución del material transportado por la corriente longitudinal y el progresivo desmantelamiento del lóbulo deltaico del Este. Por otra parte, fue beneficioso para una progresión uniforme del sistema deltaico, ya que la única manera de enviar sedimento a la zona septentrional profunda es que una boca del río se enfrente directamente a las líneas de flujo de la corriente de circulación general.

2. La **construcción de las presas** ha alterado radicalmente el equilibrio fluvio-marino responsable de la existencia del Delta, favoreciendo claramente a los agentes marinos, que son erosivos. La existencia de los mismos fue considerada como el origen de la actual regresión del-

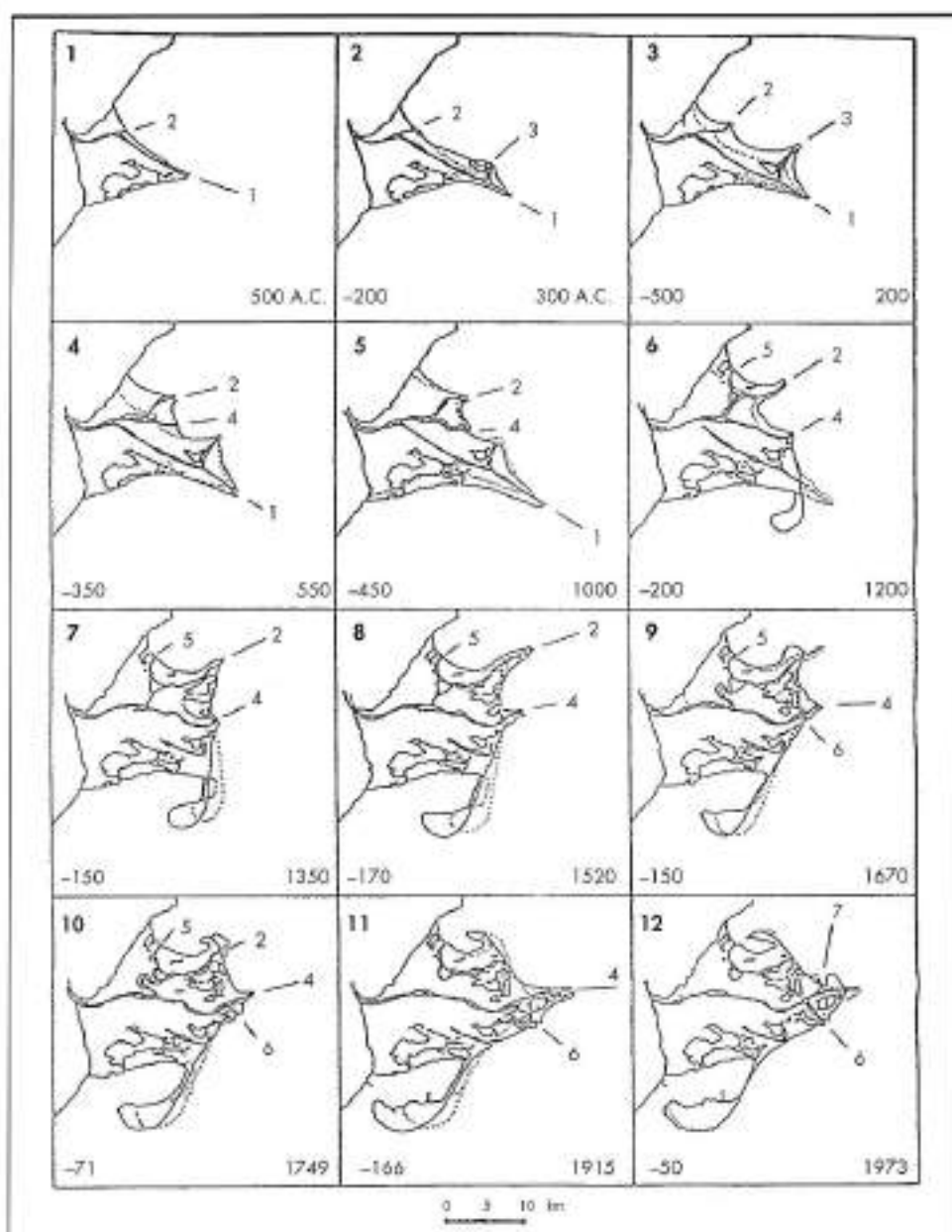


FIGURA 6. Evolución histórica del Delta del Ebro.
(Fuente: IBERINSA. Estudio de la regresión del Delta del Ebro y propuesta de alternativas de actuación).

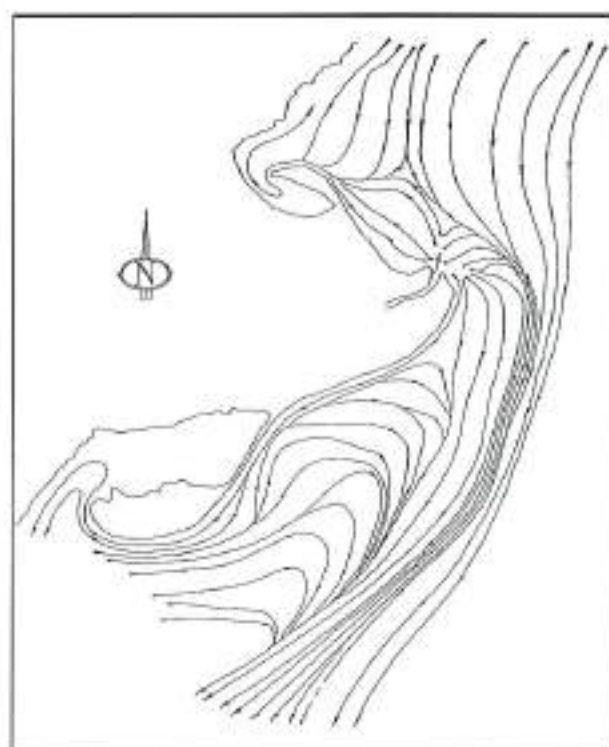


FIGURA 7. Esquema del flujo de corrientes frente al Delta del Ebro. [Fuente: Verdaguer, A. (1983). La plataforma sílico-clástica del Ebro (Mediterráneo noroccidental). Un modelo sedimentario].

taica al variar la estructura básica de una fuente, dos trasvases y dos sumideros, ya que los embalses llegan a retener el 90% del aporte sólido. El efecto de los mismos está resultando más pernicioso en la zona profunda que en el litoral. El delta sumergido ha dejado de progresar para entrar en un proceso regresivo submarino total, ayudado por la paulatina compactación y subsidencia de los sedimentos depositados. Esto tendrá una incidencia a medio plazo en el delta emergido.

De todo lo expuesto se deduce que el litoral deltaico no puede buscar una posición de equilibrio cercana y está remodelándose ante la agresividad marina.

5. DINÁMICA LITORAL E HIDRODINÁMICA DE LAS AGUAS COSTERAS

El objetivo que se busca es ver el comportamiento del sedimento que se mueve a lo largo de la costa. Para ello se analiza un número importante de factores incidentes de los que se hace una breve exposición.

- **Viento:** El régimen de vientos está estrechamente relacionado con meteorología de la zona. La orografía local introduce modificaciones importantes en la velocidad y en la dirección del viento sobre el litoral. Además debe desempeñar un papel destacado como agente motor de la circulación marina local. El viento del NO es el de mayor persistencia acumulada en los meses fríos, mientras que el del SO es el que da las máximas persistencias en la estación cálida. En cuanto a las velocidades es el NO al que corresponden las mayores medias mensuales, salvo en los

meses en que son más intensos los vientos del NE, asociadas a temporales. Del análisis espectral se deduce que períodos por encima de los 12 días indican tendencias estacionales, los períodos de 6-12 días y 3-4 días pueden atribuirse a tormentas, siendo el primer caso el intervalo entre tormentas consecutivas y el segundo la duración característica y períodos de 24 horas que corresponden al régimen de brisas.

- **Circulación general y local:** La circulación general en el Mediterráneo occidental se describe como un giro ciclónico cuyo motor principal es el intercambio de agua y salinidad que se verifica a través del Estrecho de Gibraltar. En superficie, la corriente se dirige a lo largo de la plataforma continental levantina española hacia el SO hasta encontrar el flujo de aguas de procedencia atlántica en Alborán. En ese momento la circulación cambia de sentido, y tras discurrir ante el litoral argelino hacia el E, viaja hacia el Golfo de Génova bañando las costas de poniente de Cerdeña y Córcega, para luego regresar al Golfo de León y cerrar el giro. A esta estructura básica descrita se le superponen fenómenos locales, destacando un giro antihorario conocido al Mar Catalán. Por otra parte en el Golfo de San Jorge existe una corriente de dirección NE que cierra la circulación del Mar Catalán. En el sector de los Alfaques hay más variabilidad en las direcciones apareciendo O y/o NO aparte de las paralelas a la costa.
- **Clima marítimo (Oleaje):** Para estudiar la acción del oleaje cada equipo de trabajo ha utilizado una fuente de suministro de datos, entre las cuales destacan la plataforma petrolífera Casablanca de la empresa Repsol, el banco de datos del National Weather Record Center (N.W.R.C.) situado en Ashville (U.S.A.), la baya Delta de la empresa Shell y por último y como primera aproximación a la caracterización del clima marítimo se han utilizado las Recomendaciones para Obras Marítimas (R.O.M. 0.3-91 Oleaje) que permite calcular las características del mismo a partir de las boyas escalares de la Red Española de Medida y Registro de Oleaje (R.E.M.R.O.). Se observan ligeras diferencias en función de la fuente elegida, pero en resumen el oleaje de la zona presenta unos períodos asociados de 5-7 segundos, direcciones NE-E y S-SO que coinciden con los fetch mayores y con alturas significantes no muy elevadas ($H_s = 1$ metro).
- **Variaciones del nivel del mar:** Las variaciones del nivel medio responden fundamentalmente a solicitaciones de tipo atmosférico entre las que destacan el efecto combinado de viento y presión durante temporales (del orden de 20 cm), así como sobre elevación de origen meteorológico o efecto de "surge" que coincide con la presencia de olas generadas por el viento y que alcanza un valor de 25 cm. Con respecto a la marea astronómica la sobre elevación es del orden de 10 cm. Otro tipo de variaciones del nivel son la combinación de la elevación eustática con efectos locales de subsidencia que según algunos autores se traduce en una elevación del nivel del mar de 2-3 mm/año. Con esta elevación y aplicando la teoría de Bruun para la zona activa, puede dar lugar a una pérdida de volumen de 100.000 a 150.000 m³/año.
- **Selección de perfil de cálculo:** En el estudio del Laboratorio de Ingeniería Marítima utilizando la formulación de Hallermeier y de Birkemeier se ha elegido como profundidad de cierre en torno a los 7 metros. Con este perfil se ha realizado un balance sedimentario por incremento de volumen por metro de línea de orilla y por evolución volumétrica total.

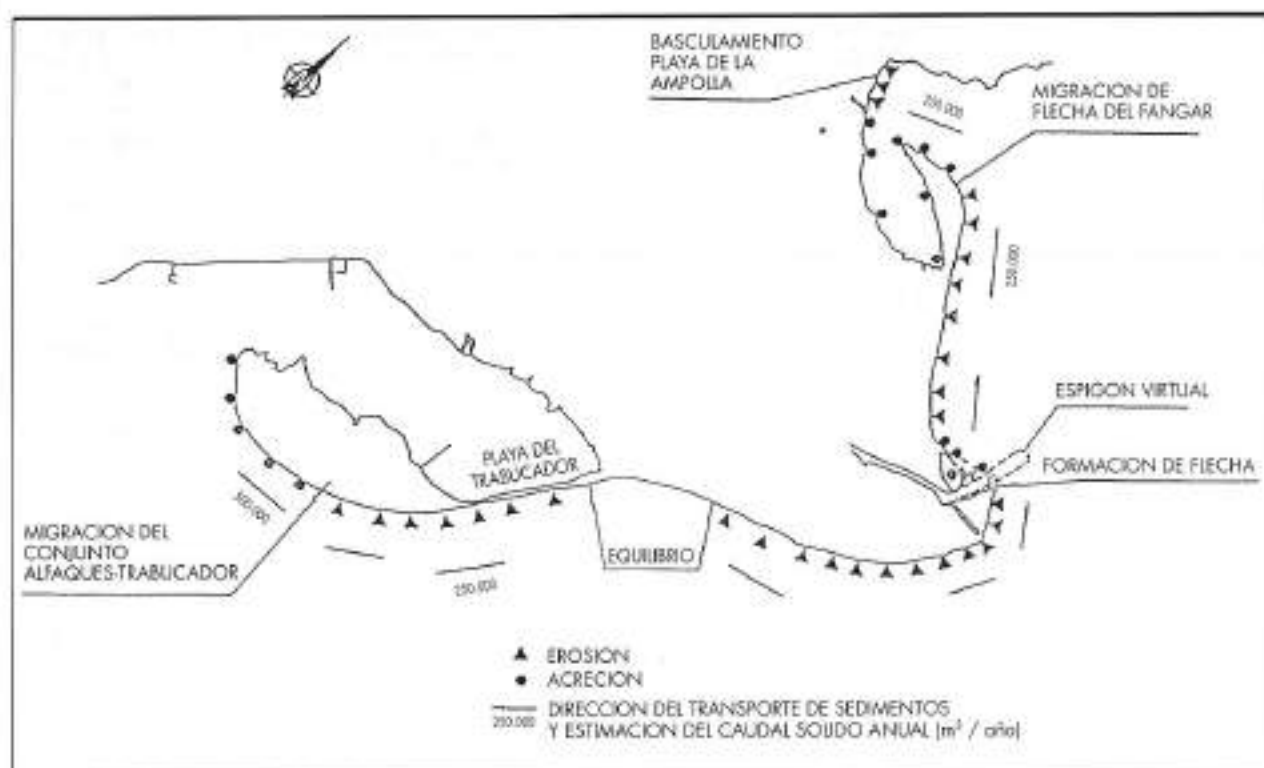


FIGURA 8. Esquema de la situación actual del Delta del Ebro. (Fuente: IBERINSA. Estudio de la regresión del Delta del Ebro y propuesta de alternativas de actuación).

- **Tipo de sedimento:** El sedimento que tiene una incidencia directa en la evolución de la costa del Delta en su parte más interna (hasta aproximadamente los 7 metros de profundidad) es el formado por arenas con un diámetro superior a 0,125 mm, siendo todavía mayor el que se encuentra en las proximidades de la línea de orilla.

Del análisis de estos factores se busca como objetivo el balance sedimentario en el litoral deltaico. Este se divide primero en tramos morfológicamente homogéneos desde el punto de vista de la dinámica litoral. Dicho balance se puede plantear de distintas maneras, bien como el incremento de volumen por metro de línea de orilla, como la evolución volumétrica total. Por otra parte se puede analizar el movimiento de la línea de orilla en un período determinado de tiempo observando las distintas batimetrías realizadas. Todas ellas son medidas directas de la evolución de la línea de orilla, pero también se puede estudiar la tendencia evolutiva a largo plazo mediante la extrapolación de resultados al año medio de estudio. Los resultados que se obtienen difieren dependiendo del trabajo consultado, pero no se puede decir que uno sea correcto y otro no, simplemente depende del método seguido para el cálculo o de la cantidad de factores que se hayan elegido como determinantes de la evolución. Para ilustrar este comentario sirva de ejemplo las figuras adjuntas donde se muestran los diferentes resultados obtenidos por tres de los equipos de trabajo implicados en los estudios sobre el Delta del Ebro.

6. ASPECTOS HIDROLÓGICOS Y APORTES SEDIMENTARIOS DEL RIO EBRO

El río Ebro tiene una cuenca de 85.835 km². A lo largo de su curso atraviesa regiones de muy diversa climatología por

lo que su irregularidad, entendida ésta como el cociente entre el caudal medio del año de más transporte de agua y el caudal medio del año de mayor sequía, aún siendo importante, resulta moderada en comparación con otros ríos de la Península. El río mezcla las influencias oceánicas de su cabecera con el régimen nivo-pluvial de sus importantes afluentes de la vertiente izquierda. Estos presentan caudales máximos en primavera, coincidiendo con la fusión de las nieves pirenaicas y alargando el régimen invernal que presenta el río. Por ello es frecuente que el régimen fluvial tenga dos máximos, uno en otoño y otro en primavera y un mínimo estival. La aportación media anual es de 15.983 Hm³ en el período 1913-1988. Si se compara con el período 1913-1960 que era de 17.405 Hm³, parece indicar un mayor aprovechamiento de las aguas del río a igualdad de los otros factores (pluviometría, escorrentía, etc.). Sin embargo esta disminución progresiva de caudales y aportaciones no es tan determinante para la evolución del Delta como lo es la regulación del río por efecto de la construcción de embalses. Esto ha significado un cambio sustancial en el proceso evolutivo del Delta. Puede afirmarse que hoy en día la aportación de sedimentos constitutivos de playa, en su desembocadura, es prácticamente despreciable. Ello se traduce en el cese del crecimiento superficial del Delta, aunque no su disminución global pues los materiales erosionados en el entorno de su antigua desembocadura van a parar a otras zonas del Delta, compensando las superficies perdidas.

La capacidad de embalse total es de 6.587 Hm³, es decir, el 41% de la aportación media anual registrada en la estación de aforo de Tortosa, según la serie disponible desde 1907. Esta cifra da idea por sí sola del grado de regulación

del río Ebro. El embalse de mayor capacidad es Mequinenza con 1.530 Hm³ está situado en la parte baja de la cuenca. El conjunto Mequinenza-Ribarroja, con una capacidad de 1.749 Hm³ (26% de la total), recibe la mayor parte de la aportación total pues deja aguas arriba el 97% de la superficie de la cuenca. Se puede considerar que este conjunto impide el paso de prácticamente todo el arrastre por fondo y del 85% de los sólidos en suspensión. Tanto de estos embalses como de la regulación hecha en la vertiente pirenaica del Ebro se puede adoptar como dato más conservador que el Delta en las circunstancias actuales ha perdido aproximadamente un 94% de sus aportes sólidos.

Se ha analizado el transporte de sedimentos por vía fluvial mediante las formulaciones de Ackers y White (1973) y Van Rijn (1984) y se estima que la capacidad teórica de transporte por parte del río, cuya probabilidad de pertenecer a un intervalo entre 0,7 y 2 veces el transporte real es del 77%, es la siguiente: 104.000 m³/año (A-W) y 41.000 m³/año (V.R). De todas formas el transporte sólo se verifica con caudales altos. Ello es debido a que la velocidad umbral de inicio de movimiento requiere un caudal superior a 400 m³/s, para ser capaz de transportar un sedimento tipo arena.

La tasa propia de aportación media de arenas, es decir, material constitutivo de playa, se estimó en 1,2 millones de toneladas/año. En la actualidad esta tasa es despreciable comparada con la capacidad de transporte del oleaje. Esta tasa actualmente es de 41.000 a 101.000 m³/año que equivale a unas 200.000 toneladas/año.

Según el tamaño de sedimento que la compone la costa del Delta se puede dividir en tres grandes zonas o cinturones:

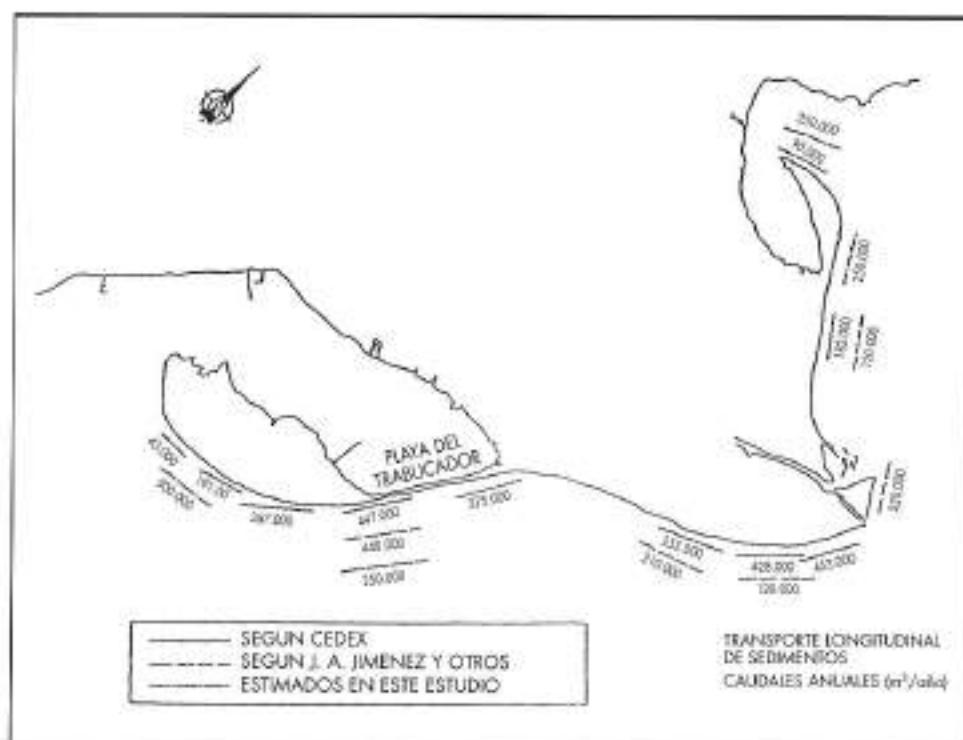
- Una zona interior, que se extiende desde la playa seca hasta aproximadamente los 7 metros de profundidad, compuesta por arenas medias y finas, con un diámetro superior a 0,125 mm. En su parte más interna, en las proxi-

midades de la línea de orilla (hasta 1 metro de profundidad) el rango de diámetros de sedimentos se sitúa entre 0,186 y 0,294 mm. Dentro de esta zona, en las inmediaciones de la Barra del Trabucador, se encuentran algunos "patches" de fangos provenientes de una desembocadura relictada abandonada por el río.

- Una zona exterior, generalmente a profundidades mayores de los 10 metros, caracterizada por sedimentos con un diámetro medio inferior a 0,063 mm formando un cinturón de fangos.
- Una zona intermedia entre ambas, formada principalmente por arena muy fina, con un diámetro medio de sedimento entre 0,063 y 0,125 mm.

El transporte de estos sedimentos por parte de un curso fluvial se realiza principalmente por dos mecanismos: suspensión y arrastre por fondo. El primero de ellos se verifica para los sedimentos de menor tamaño y/o para otros de mayor tamaño cuando las condiciones del flujo superan un cierto valor crítico, viajando suspendido en la masa de agua, en un equilibrio entre la velocidad de caída del mismo y las condiciones del flujo. Al transporte de finos de forma casi permanente por parte del río y que son responsables de la turbidez característica de las aguas se denominará "wash load" y está compuesto por material no útil para la construcción de la costa, su composición en finos tipo arcilla y limos es dominante, estando la fracción tipo arenas muy finas restringida a un porcentaje muy pequeño. Al transporte de sedimento arrancado del lecho se denominará "suspended load" y está formado por sedimento típico del lecho (fracciones más finas). Se encuentra más concentrado en las proximidades del fondo y sí contribuye a la evolución de la zona costera interna. El transporte por arrastre por fondo tiene lugar para los sedimentos de mayor tamaño y las partículas se desplazan deslizándose por el fondo o dando "pequeños

FIGURA 9. Transporte longitudinal de sedimentos. Caudales anuales (m³/año). [Fuente: IBERNIA, Estudio de la regresión del Delta del Ebro y propuesta de alternativas de actuación].



salto impulsadas por las condiciones del flujo en las cercanías del lecho. Este tipo de transporte es en principio el responsable de la movilización del material más grueso y por lo tanto de las fracciones del sedimento consideradas directamente útiles para la formación de la costa próxima a la orilla.

El transporte de sedimentos como carga de fondo en el curso bajo del río Ebro representa menos del 10% del transporte total y, muy probablemente, es inferior al 5% en condiciones de caudal medio y bajo.

7. MEDICIONES EN EL DELTA DEL EBRO. BANCO DE DATOS

En el Delta del Ebro hay una serie de equipos de obtención de datos de los factores actuantes tanto en la dinámica litoral como en la hidrodinámica del río o de la meteorología de la zona. A continuación se enumeran los distintos equipos instalados según la variable que midan:

- **Viento:** Se han obtenido datos de las siguientes estaciones medidoras: *Rosquetes* (Observatorio del Ebro) cuya posición es 40° 49' 03" N; 00° 29' 36" E, la base aérea de *Reus* cuya posición es 41° 08' 45" N; 01° 09' 36" E, el buque *Delta* de la empresa Shell cuya posición es 40° 40' 07" N; 01° 18' 03" E y los datos procedentes del N.W.R.C. que se elige un área que englobe la zona de estudio.
- **Corrientes:** Para el estudio de las corrientes en el Mar Catalán se han utilizado los datos hidrográficos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Para el análisis de las corrientes en las inmediaciones del Delta del Ebro se dispone de los datos de los correntímetros de las plataformas *Casablanca* y *Amposta* y de los instalados enfrente de la Central Nuclear de Vandellós.
- **Clima marítimo (Oleaje):** Los datos provienen de distintas fuentes que son las siguientes: el banco de datos del N.W.R.C. en el que se sigue el mismo proceso que en el análisis del viento, las boyas escalares de la R.E.M.R.O. (Tarragona y Cabo Tortosa), las boyas direccionales de la Red de Registros de Oleaje de la Generalidad de Cataluña (Cabo Tortosa y Trabucador), los datos visuales direccionales de la plataforma *Casablanca* y la boya escalar *Delta* de la empresa Shell.
- **Variaciones del nivel del mar:** Se dispone de un equipo instalado en el puerto de L'Ametlla de Mar, ciudad situada al norte del Delta.

Aparte de estos datos también se han realizado una serie de campañas en el Delta para calibrar una serie de factores. Entre estas campañas destacan las realizadas en zona de rompientes para calibrar la formulación de transporte longitudinal, las tomas de muestras de sedimentos de playa y de río para caracterizar el sedimento existente en la zona, las batimetrías realizadas periódicamente, así como la obtención de datos meteorológicos (dirección y velocidad de viento, presión atmosférica, temperatura del aire,...) en una estación meteorológica situada en el Delta.

8. OTROS TRABAJOS SOBRE EL DELTA DEL EBRO

En este apartado se engloban los diversos proyectos y actuaciones propuestos para evitar la regresión del Delta, así como estudios socioeconómicos y de carácter medio ambiental, de los cuales debido al gran número existente, sólo se indican las ideas más interesantes aportadas en los mismos.

Del primer grupo simplemente se expondrán las soluciones planteadas por distintos grupos de investigadores para evitar la regresión del Delta. Estas son las siguientes:

- **Construcción de espigones:** Tienen el objetivo de reducir los gradientes de transporte. Pueden ser de retención total o parcial.
- **Alimentación artificial.** No modifica el sistema de transporte de sedimentos responsable de la erosión. Se puede combinar con la construcción de espigones.
- **Diques exentos:** El objetivo es el mismo que con la construcción de espigones.
- **Diques mixtos:** Unión de espigones con un dique exento en el morro del espigón. El objetivo es análogo al anterior.
- **Revestimiento:** Protegen la superficie de la costa contra la erosión. Se trata de una solución "dura" debido a que rigidiza totalmente el litoral donde se realiza la actuación.

Todas estas soluciones se pueden combinar en función del grado de erosión, de la posibilidad de intervención en la zona, del tipo de solución deseada, etc.

En el segundo grupo de estudios (socioeconómicos, medio ambientales,...) se engloban todos los estudios sobre las actividades agrícolas, ganaderas, industriales, dentro de estos estudios destaca el del IRYDA (Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario), así como otros encargados por las comunidades de agricultores de la zona. También se incluyen los de carácter ecológico ya que el Delta del Ebro es parque natural y una de las zonas húmedas más importantes del sur de Europa.

9. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la inestimable colaboración del personal perteneciente al Sector de Costas del Centro de Estudios de Puertos y Costas - CEDEX, y en especial al Dr. Antonio Leghuga Alvaro, Jefe del Sector de Costas de dicho centro, por los consejos aportados durante la realización del trabajo. Este trabajo es el resultado del Convenio de Investigación suscrita entre la Fundación Agustín de Bethencourt y el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. MALDONADO, A. (1972). *El Delta del Ebro. Estudio sedimentológico y estratigráfico*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Barcelona.
2. MARINO, M. (1986). *El sistema integrado del Delta del Ebro. Estudio interdisciplinar*. Madrid.
3. GRASSA, J. M. (1988). *Estudio sobre la regeneración de la Playa del Trabucador*. Centro de Estudios de Puertos y Costas - CEDEX. (Informe técnico realizado para la Dirección General de Puertos y Costas - MOPU, actual Dirección General de Costas - MOPU).
4. IBERINSA, S.A. (1992). *Estudio de la regresión del Delta del Ebro y propuesta de alternativas de actuación*. Madrid.
5. Laboratorio de Ingeniería Marítima. (1984-1993). *Análisis y propuesta de soluciones para estabilizar el Delta del Ebro*. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
6. LOPEZ, J. S. y A. LECHUGA, (1995). *Estudio de la dinámica litoral del Delta del Ebro y pronóstico de su evolución: Recopilación y análisis de los trabajos sobre el Delta del Ebro*. Centro de Estudios de Puertos y Costas-CEDEX. (Informe técnico realizado para la Dirección General de Costas-MOPTMA).