

EL PROBLEMA EROSIVO EN EL DELTA DEL EBRO

Agustín Sánchez-Arcilla.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director del LIM/UPC

José A. Jiménez.

Dr. en Ciencias del Mar.

Jefe del Área de Morfología Costera

Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

Gerard Gelonch.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Justo Nieto Romeral.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Direcció General de Port i Costes, Generalitat de Catalunya, Barcelona.

RESUMEN

Se analizan los cambios costeros en el delta del Ebro a tres escalas diferentes: largo y medio plazo y sucesos episódicos, poniendo especial énfasis en sus implicaciones en cuanto a la erosión costera. Como resultado principal se puede destacar que si bien a las diferentes escalas se detectan procesos erosivos que pueden alcanzar grandes magnitudes localmente, cuando se integran en la totalidad de la zona costera se compensan con procesos de acumulación en otras zonas, de tal manera que puede considerarse que el comportamiento global del delta a una escala de décadas y, bajo las condiciones actuales, es de equilibrio.

ABSTRACT

The coastal changes in the delta of the Ebro are examined on three scales: long-term, and in terms of successive phenomena, with special emphasis on their implications in coastal erosion. These three aspects imply erosion processes that may be considerable at a given location but are compensated by accumulation in another coastal area. In present conditions therefore, the global behaviour of the delta over a period of decades may be considered as one of equilibrium.

1. INTRODUCCIÓN

Las costas del planeta son los límites naturales entre dos medios diferentes: tierra y mar. Estos límites son altamente dinámicos y, desde un punto de vista humano, altamente vulnerables a variaciones climáticas atmosféricas y marinas. En el caso de costas bajas, esta vulnerabilidad se incrementa aun más debido a sus características geomorfológicas que las "predisponen" a ser erosionadas.

El utilizar el término "vulnerabilidad" supone dar un valor añadido al término "erosión" ya que, implícitamente indica que la zona erosionada o erosionable tiene un valor determinado, de tipo económico, social, natural, etc...

Un buen ejemplo de una zona altamente vulnerable sería el de una costa deltaica que, además de caracterizarse por ser una costa baja y, por lo tanto, sensible a los efectos de agentes impulsores altamente energéticos, presenta un conjunto

de valores -económicos, sociales, naturales, etc...- que hace que la posible erosión inducida tenga efectos relevantes en cuanto a pérdida de algo valioso, aunque de difícil cuantificación.

El paradigma de tales costas en el Mediterráneo español es el Delta del Ebro, aunque también podría ser considerado como representativo de todo el Mediterráneo debido a su extensión e importancia. Si a ésto se le añade que la acción del hombre sobre la cuenca del río Ebro -más que sobre la costa- ha alterado las condiciones de su desarrollo de tal manera que, aproximadamente el 95-97% de su cuenca está regulada -con todas las consecuencias que ello implica en cuanto a aportes de sedimento tipo arena a la costa-, nos encontraremos que el Delta del Ebro puede clasificarse como una costa altamente vulnerable.

Esta vulnerabilidad se ilustrará en este artículo mediante diferentes respuestas o comportamientos erosivos de la costa del delta, aunque sólo desde el punto de vista físico. Es decir, se abordará sólo el problema de la erosión y no, sus implicaciones en cuanto a uso del territorio, ni se intentará valorar sus efectos más allá de la evaluación física.

El abordar la caracterización de la respuesta morfológica de una costa determinada ante la acción de un conjunto de agentes que actúan sobre ella, puede hacerse desde diferentes ópticas dependiendo de la escala de tiempo y espacio escogidas. Un ejemplo ilustrativo sería el abordar la cuantificación de la erosión en el delta tomando como fecha inicial el año 1850 y como fecha final el año 1995. En ese caso, nos encontraríamos con el hecho de que el delta lejos de sufrir erosión, se encuentra en fase de gran expansión, cosa que por supuesto no coincide con la realidad. Por ello, hay que acotar de forma precisa el fenómeno a estudiar entre unos límites adecuados e, incluso, dentro de esos límites separar la respuesta en componentes, a fin de tener una visión completa del proceso y no, una foto fija.

Las diferentes escalas de la vulnerabilidad o la erosión en la costa del Delta del Ebro se ilustrarán a través de tres escalas de tiempo principales (ver Sánchez-Arcilla y Jiménez, 1994a):

Sucesos episódicos asociados a la presentación de agentes impulsores con un gran período de retorno, como pueden ser tormentas excepcionales o, combinaciones "peligrosas", como sería el caso de simultaneidad de marea meteorológica y tormenta de oleaje. Esta escala no tiene un período definido y, la respuesta costera a dichos agentes será casi instantánea.

Cambios a medio plazo, que pueden considerarse como la tendencia evolutiva de un tramo costero con una escala espacial del orden de kilómetros a una escala temporal de varios años. El principal agente impulsor es el oleaje en cuanto a su capacidad para generar un transporte longitu-

dinal de sedimento y, más específicamente, su gradiente a lo largo de la costa.

Cambios a largo plazo, que representan la evolución de la costa de forma global, tanto en planta como en perfil y que determinan el balance total de sedimento. La escala temporal es del orden de décadas o superior. Los agentes que producen estos cambios son, entre otros: aporte de sedimento por parte de ríos, variaciones relativas del nivel del mar (cambios eustáticos y debidos a subsidencia), intercambios de sedimento entre el perfil activo y la plataforma, intercambios de sedimento en "playa seca" debidos a la acción del viento y del rebase del oleaje ("overwash").

2. ÁREA DE ESTUDIO

A fin de poner en contexto los procesos que se van a analizar en los capítulos siguientes, se hará una breve descripción del Delta del Ebro pero sólo poniendo énfasis en aquellas características indispensables para entender la naturaleza de dichos procesos. Una descripción amplia del delta la puede obtener el lector a través de la lectura de los diferentes artículos que componen este monográfico o, por ejemplo, en Maldonado (1986).

En primer lugar, la costa del delta puede considerarse como una enorme playa de arena que presenta una única discontinuidad formada por la desembocadura del río. La granulometría media del sedimento en las inmediaciones de la línea de orilla es de unas 250 μm , presentando variaciones a lo largo de la costa en función de la energía del oleaje incidente y, por tanto, de la intensidad del transporte de sedimentos (ver e.g. Guillén y Jiménez, 1995). Esta costa de arena se extiende hasta una profundidad de 12m-15m, a partir de la cual aparece sedimento muy fino que rodea prácticamente toda la línea de costa (Guillén y Maldonado, 1992). La presencia de este "cinturón de fangos" se convierte en una condición de contorno para la dinámica costera del sedimento tipo arena, ya que éste se mueve dentro de la zona delimitada, no habiéndose detectado migraciones significativas de arena a través del mismo hacia la parte más profunda del perfil (MOPU, 1979; Guillén y Maldonado, 1992).

La principal característica geomorfológica de la costa del Delta del Ebro es la presencia de dos flechas que cierran parcialmente las bahías del Fangar y dels Alfacs al norte y sur respectivamente (figura 1). Dichas flechas son el reflejo de la acción de la dinámica litoral dominante a lo largo de toda la costa deltaica. A lo largo de la costa norte está dirigida hacia el norte y, a lo largo de la costa sur hacia el sur, teniendo su punto de divergencia y transporte neto nulo en las inmediaciones de Cap Tortosa. Un análisis detallado del esquema de transporte longitudinal neto puede verse en Jiménez y Sánchez-Arcilla (1993) entre otros. Estas flechas han sido formadas en su mayor parte por material aportado por los ríos y, que confor-

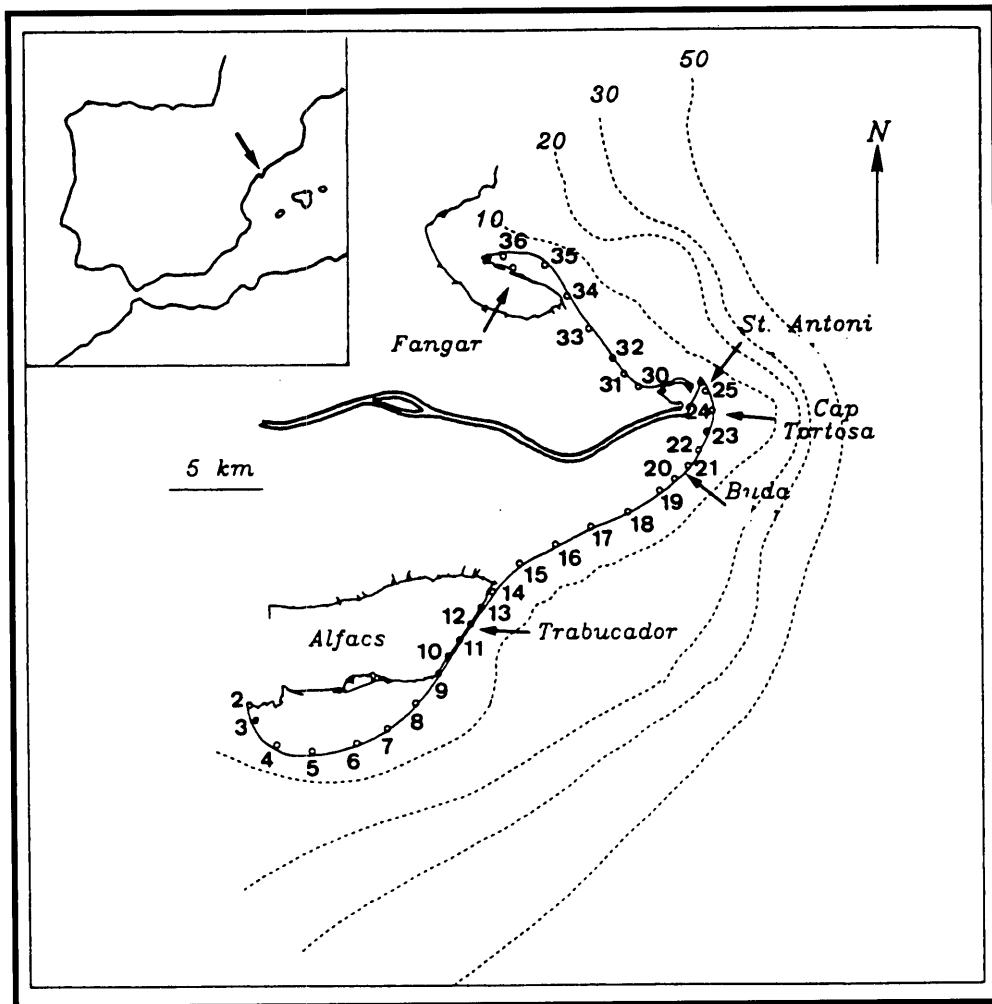


Figura 1. El delta del Ebro.

maban los lóbulos antiguos asociados a las anteriores desembocaduras, aunque en la actualidad y debido al descenso en los aportes del río hasta cantidades casi despreciables, se continúan alimentando a partir de sedimento que forma parte de la costa actual.

La dinámica litoral responsable de estos procesos está gobernada principalmente por el oleaje, ya que éste es el que genera la corriente longitudinal capaz de transportar el sedimento a lo largo de la costa. En la figura 2 puede verse la rosa de alturas de ola en aguas profundas en la zona, donde se observa la presencia de tres componentes principales: E, S y NW. De ellas, la componente NW aunque relativamente frecuente, está asociada al Mestral y, dada la configuración deltaica su presencia supone una situación de "calma" en cuanto a la acción del oleaje sobre la costa. De las otras dos componentes, la E es la dominante en cuanto a su contenido energético, por lo que puede considerarse como la principal responsable del esquema de transporte litoral existente. La altura de ola significativa media anual en aguas profundas en la zona es de unos 0.7 m, con un período medio del orden de 4 s. Una descripción detallada de las características del oleaje en la zona puede verse en García et al. (1993) y Jiménez et al. (1997) entre otros.

La zona costera del delta como la de prácticamente todo el Mediterráneo es un ambiente micromareal, con una carrera de marea astronómica del orden de los 25 cm. Sin embargo, la presencia de mareas meteorológicas es relativamente frecuente, siendo los meses de Septiembre a Noviembre los de mayor probabilidad de presentación así como los que presentan unas mareas meteorológicas de ma-

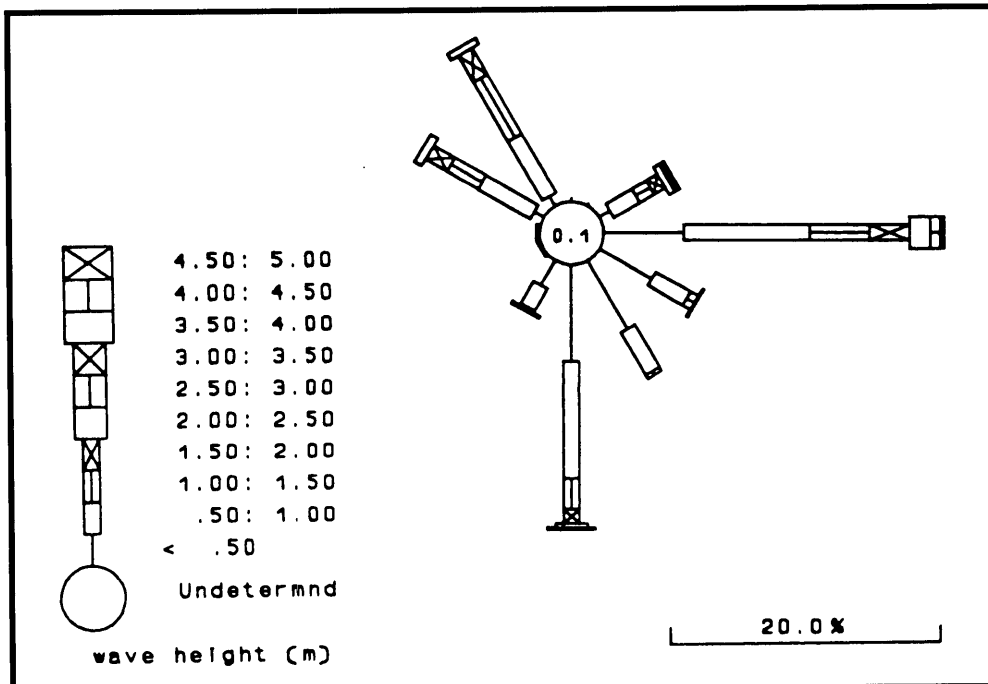
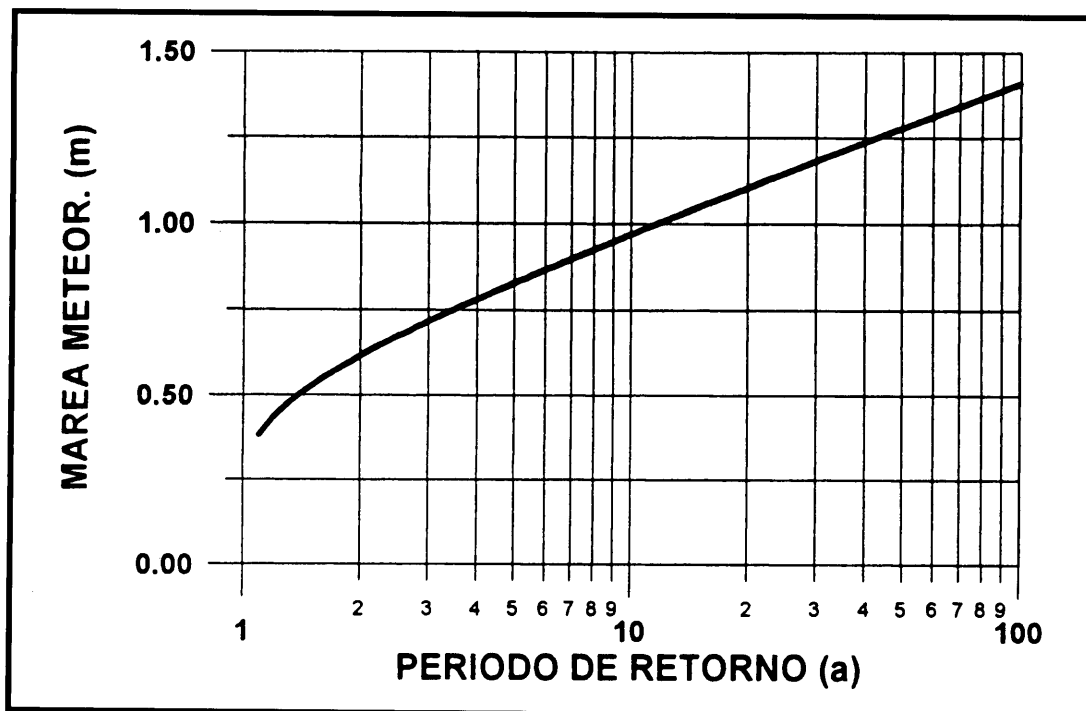


Figura 2. Rosa de alturas de ola.



yor magnitud. El clima extremal de marea meteorológica puede verse en la figura 3. Una descripción detallada de las diferentes oscilaciones del nivel del mar con énfasis en la marea meteorológica y sus implicaciones en los procesos costeros puede verse en Jiménez et al. (1997).

Después de varios siglos de crecimiento continuado gracias a los aportes del río, el delta actual ha sufrido un cambio en su tendencia evolutiva. De hecho, puede considerarse que ya no es un delta parcialmente dominado por el río y el oleaje como ha sido clasificado habitualmente (e.g. Wright y Coleman, 1973) sino que se comporta como un delta dominado casi totalmente por el oleaje (e.g. Jiménez y Sánchez-Arcilla, 1993), al menos en cuanto a la zona costera se refiere (aquella parte formada por material no cohesivo o, lo que es lo mismo arena). Este hecho debe asociarse a que desde la construcción del complejo Mequinenza-Ribarroja, las aportaciones de arena por parte del río han decrecido significativamente (ver e.g. Varela et al. 1986), que para el caso del material más grueso (arena) supone unas aportaciones casi insignificantes, sobre todo cuando se comparan con la magnitud del transporte litoral.

Jiménez et al. (1990) han estimado las aportaciones "potenciales" del río en unos 30.000m³/a por año para la fracción arenosa utilizando fórmulas predictivas. Cantidades del mismo orden de magnitud han sido estimadas por otros autores (e.g. Guillén, 1992). Jiménez et al. (1990), utilizando criterios de inicio de movimiento, han estimado que para que se produzca el transporte de arena de unas 200 μ m en el río se necesita un caudal medio del orden de 400m³/s. Este caudal ha sido excedido pocas veces/año durante los últimos años hi-

drológicos, sólo durante la presentación de pequeñas riadas, por lo que puede asumirse que durante los últimos años, la mayor parte del tiempo las aportaciones sólidas consistían principalmente en "wash-load" (fango, arcilla y sedimento muy fino).

3. SUCESOS EPISÓDICOS

El mejor ejemplo posible de cambio episódico en la costa del delta sucedió en Octubre de 1990 y, consistió en la rotura de la Barra del Trabucador durante la acción de una tormenta en la que de forma simultánea se presentaron una marea meteorológica (del orden de 0.45 m) y una tormenta de

Figura 3. Distribución extremal de marea meteorológica.

oleaje con alturas de ola significativa de hasta 4.5 m (ver para descripción en detalle Jiménez et al., 1991, Sánchez-Arcilla y Jiménez, 1994b).

Aunque el efecto de la tormenta se dejó notar a lo largo de toda la costa del delta, dos fueron los sitios que más impacto sufrieron: un tramo de costa en Cap Tortosa y la Barra del Trabucador. El producirse una respuesta diferenciada a lo largo de la línea de orilla ante el mismo agente (aunque el oleaje sufre variaciones a lo largo de la costa debido a refracción, éstas no son de tal magnitud como para justificar tales diferencias), ilustra una de las características de este tipo de cambios y, es que, además de presentarse agentes impulsores de elevado contenido energético, debe existir una morfología costera susceptible a sufrir tales cambios.

Las dos zonas más severamente erosionadas durante la tormenta cumplían con este requisito: (i) la zona de Cap Tortosa se caracteriza por tener una anchura de playa muy reducida y, por tanto, el volumen de sedimento disponible para ser erosionado es pequeño, por lo que puede ser fácilmente eliminado casi en su totalidad durante la acción de una tormenta de este tipo; (ii) la Barra del Trabucador al ser una playa barrera, con un perfil muy bajo, es fácilmente rebasable en condiciones de tormenta, produciéndose entonces un mecanismo de erosión adicional al habitual (transporte de sedimento desde la playa hacia mar adentro y, el inducido por gradiente de transporte longitudinal) y, es el asociado al rebase del oleaje hacia el interior de la bahía, denominado overwash.

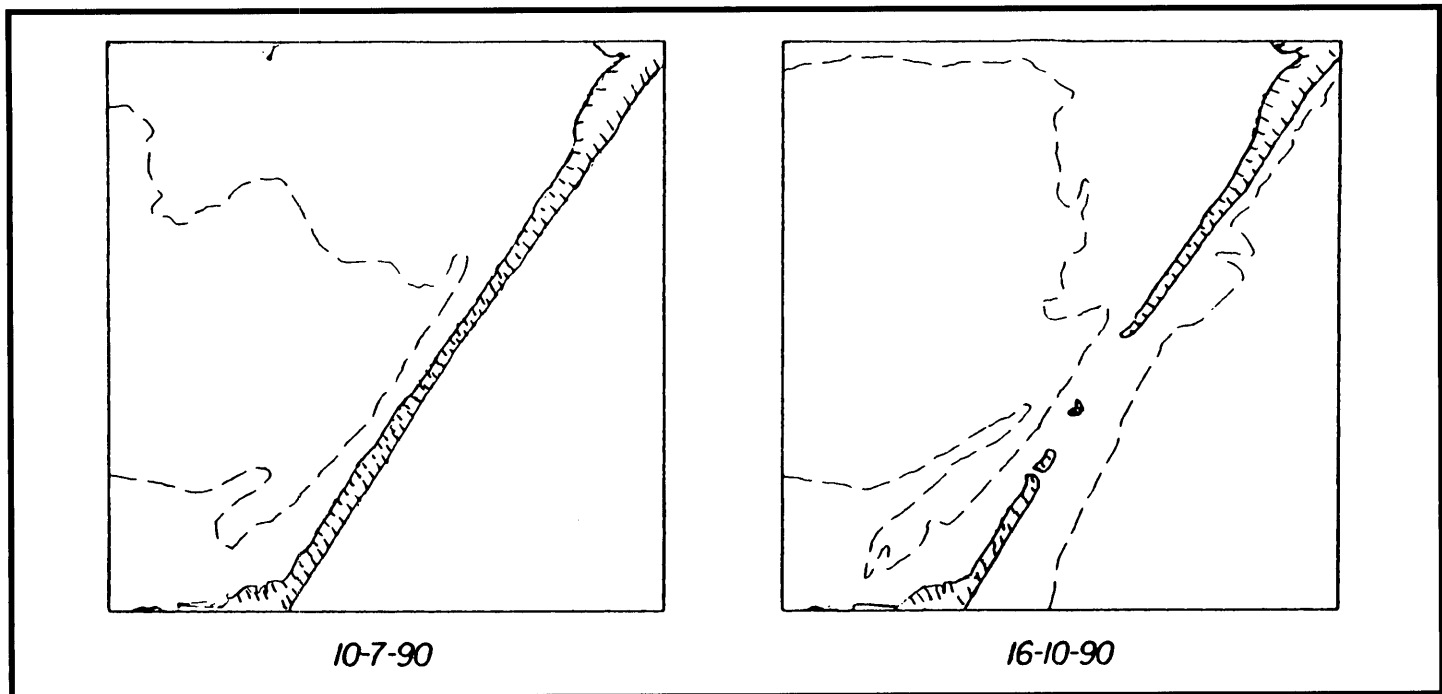


Figura 4. Rotura de la Barra del Trabucador durante una tormenta en Octubre de 1990 (izq.: situación inicial, der.: tras la acción de la tormenta).

El efecto en ambas zonas fue: (i) en Cap Tortosa, la tormenta produjo una erosión importante a lo largo de todo el tramo, siendo más intensa en la zona colindante con la antigua desembocadura donde abrió una pequeña brecha conectando la laguna interior con el mar abierto y, (ii) en la Barra del Trabucador además de la erosión generalizada de la costa exterior, abrió una brecha con una abertura principal de unos 800 m en su parte central. De estas dos zonas, se utilizarán los procesos que ocurrieron en la Barra del Trabucador para caracterizar los sucesos episódicos.

La primera característica que debe cumplir un proceso para ser clasificado como episódico, está relacionado con su frecuencia de presentación. Así, se caracterizan por carecer de una periodicidad determinada y, estar inducidos por condiciones energéticas con un período de retorno largo. Por tanto, la frecuencia de presentación de tales condiciones supone que estos cambios costeros se produzcan esporádicamente y, generalmente, en lapsos de tiempo del orden de decenas de años. Así, por ejemplo la acción de ciclones sobre las costas del Caribe, aunque generan cambios costeros de gran magnitud, no deberían considerarse como sucesos episódicos ya que tienen una periodicidad cuasi-anual.

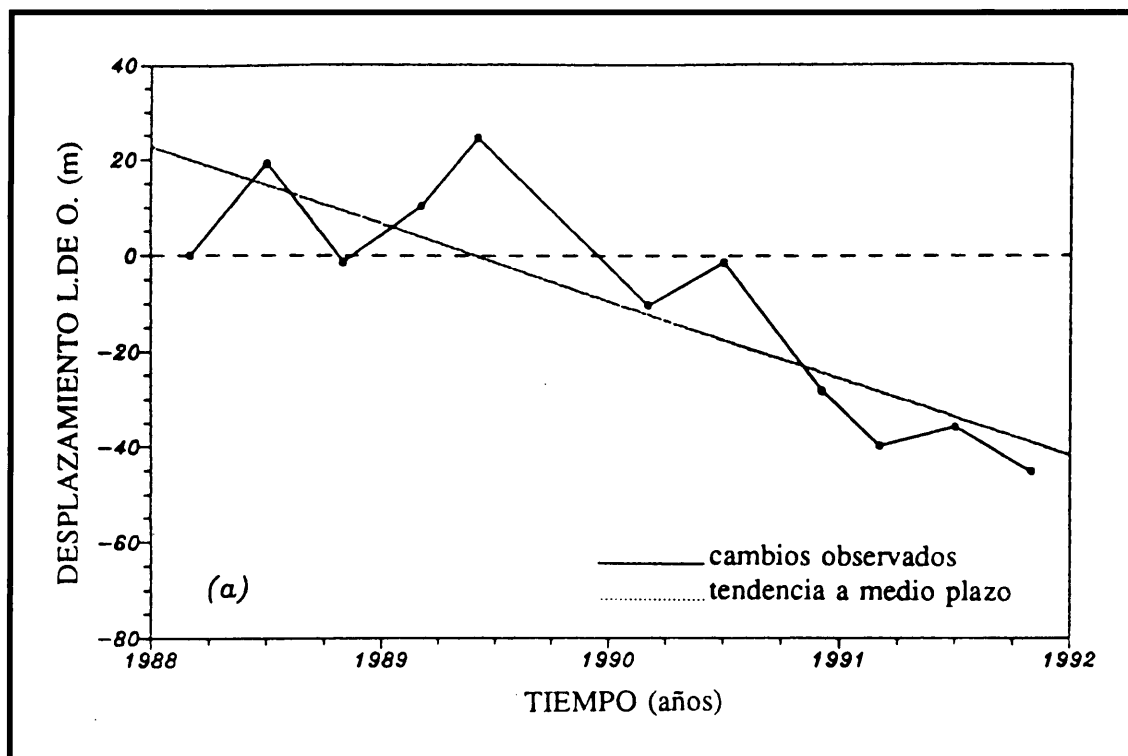
Los cambios que se produjeron en la Barra del Trabucador debido a la acción de la tormenta pueden caracterizarse someramente por la aparición de una brecha principal de unos 800 m de largo con una profundidad máxima de 0,40m en la parte central de la barra (figura 4). El volumen erosionado en la

zona de la brecha fue del orden de 70.000m³ de arena en menos de 2 días. Este volumen erosionado fue el resultado de la acción de tres procesos simultáneos: gradiente del transporte longitudinal, transporte offshore (debido a la corriente de retorno inducida por la rotura del oleaje sobre la Barra) y transporte por rebase (debido a la corriente dirigida a la bahía asociada con el incremento del nivel medio del agua y el run-up ocurrido durante la tormenta). De los tres agentes, el rebase fue el que más significancia tuvo en cuanto a volumen de sedimento erosionado de la Barra se refiere (aproximadamente un 85%), siendo transportado este material hacia la Bahía dels Alfacs (ver e.g. Sánchez-Arcilla y Jiménez, 1994b).

Para obtener una descripción o cita de un proceso similar ocurrido en la Barra del Trabucador, hay que remontarse hasta 1778, donde en el Archivo de Simancas se relata la aparición de una brecha de este tipo que interrumpía el paso a lo largo de la Barra hasta la Punta dels Alfacs. Según algunas referencias orales, parece ser que durante la primera mitad de este siglo se presentaron dos situaciones similares (Canicio, com.pers.) aunque no existe constancia escrita.

Por todo ello, hay que considerar estos cambios como episódicos, ya que si bien es normal que durante un año tipo la Barra sea rebasada varias veces (en función del régimen de marea meteorológica) e incluso permanezca inundada, al bajar el nivel del mar a su nivel medio, la Barra mantiene su apariencia habitual y, aunque puede existir un cierto transporte de sedimento hacia la bahía, éste no es de la magnitud del observado durante la tormenta en cuestión.

Por último, la naturaleza episódica del proceso implica a su vez una naturaleza episódica de las condiciones energéticas que se presentaron aparte de la existencia de una morfología



susceptible de ser erosionada. Así, aunque la presencia simultánea de la marea meteorológica registrada y las olas que se presentaron durante la misma tienen un período de retorno largo, si se analizan ambos factores por separado, se obtendría que ambas condiciones no son tan excepcionales. Así, la marea meteorológica reinante durante la tormenta tiene un período de retorno aproximado de 1-1.5 años, mientras que el asociado a las olas que se presentaron es mayor del que, dependiendo del clima extremal utilizado, se podría alcanzar en un período de retorno del orden de 10 años.

4. CAMBIOS A MEDIO PLAZO

La definición dada a los cambios a medio plazo en términos de escalas supone que estos cambios son los que pueden observarse durante un año normal y podrían, por tanto, asociarse a los dominantes en la "escala habitual" de las actuaciones costeras (varios años y tramos de costa del orden de 1-2 km). A esta escala los cambios a corto plazo o estacionales, como los asociados a la alternancia de tormentas y oleaje "reconstructor", se consideran filtrados, reteniéndose solamente la tendencia evolutiva de la costa (ver figura 5).

Jiménez y Sánchez-Arcilla (1993) analizando una serie de datos de cuatro años llegan a la conclusión de que la mayor parte de estos cambios pueden ser explicados por el esquema de transporte longitudinal neto de sedimentos. Este transporte, generado por el clima de oleaje dominante en la zona del delta, está dirigido al norte de la desembocadura hacia el norte y,

al sur de la misma, hacia el sur. Presenta una sola celda de transporte en el norte, con transporte longitudinal creciente desde la desembocadura hasta el Fangar, donde decrece por el cambio de orientación de la costa en la flecha y, dos celdas de transporte en el hemidelta sur -ambas con transporte neto dirigido hacia el sur- con dos máximos relativos (figura 6).

En la figura 6 se presentan tanto los cambios de volumen anuales medios calculados como el esquema de transporte longitudinal responsable de los mismos. Puede verse como la tendencia evolutiva a lo largo de la costa presenta una alternancia entre erosión y acumulación con magnitudes muy diferentes.

Figura 5. Evolución a corto (estacional) y a medio plazo de la línea de orilla en las inmediaciones de Cap Tortosa.

La principal característica es que si se integraran estos cambios a lo largo de toda la costa resultaría un balance sedimentario cuasi-nulo a esta escala. Es decir, el material erosionado es transportado a lo largo de la costa y depositado dentro del sistema costero deltaico.

Las principales zonas erosivas son: (i) prácticamente la totalidad de la costa exterior del hemidelta norte y, (ii) Cap Tortosa y la Barra del Trabucador en el hemidelta sur.

En el hemidelta norte, la erosión media anual se ha estimado en unos 70,000 m³/año, generando un retroceso medio de la línea de orilla del orden de unos 3 m/año. De todas las zonas citadas, la zona de Cap Tortosa es la que presenta una erosión más intensa, con una pérdida media anual de unos 240,000 m³ de arena, generando un retroceso máximo de la línea de orilla del orden de 20 m/año. A lo largo de la Barra del Trabucador se ha estimado una pérdida media anual de 118,000 m³, la mayor parte de los cuales se transporta longitudinalmente hacia el sur, excepto una pequeña parte (del orden de unos 18,000 m³/año) que es transportado hacia la Bahía dels Alfacs por procesos de rebase y que genera un avance de la costa interior de la Barra en dirección oeste, aunque este es un fenómeno que es visible a más largo plazo. El retroceso medio a esta escala de la cara exterior de la Barra del Trabucador se ha estimado en unos 5 m/año.

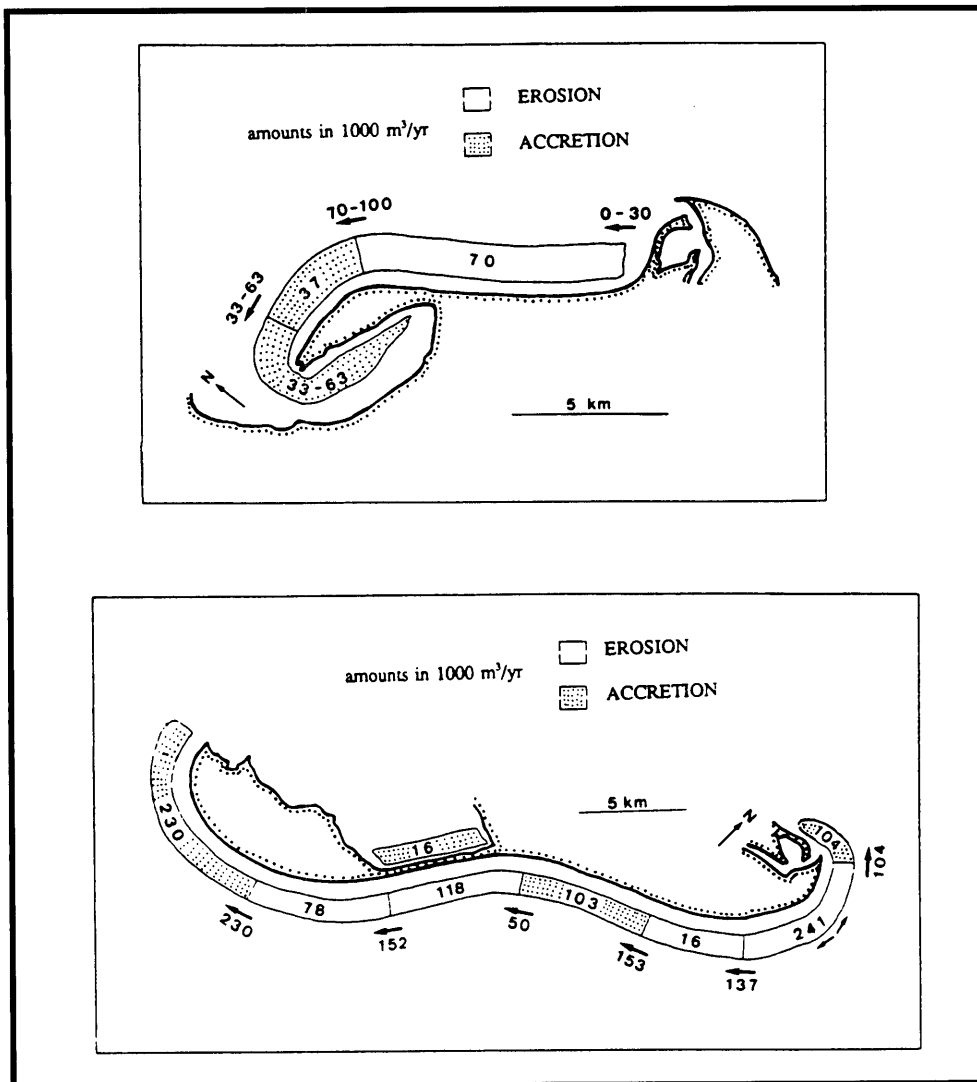


Figura 6. Balance sedimentario y esquema de transporte longitudinal neto a medio plazo (Jiménez y Sánchez-Arcilla, 1993).

Una de las consecuencias que pueden extraerse del comportamiento del sistema a esta escala es que, aun pudiendo considerarse como un sistema cerrado –sin pérdida de sedimento en la totalidad de la costa deltaica–, ello no implica que no haya zonas donde localmente si que se pierde sedimento. Así, aun suponiendo que la capacidad de transporte del río estimada fuera real, esos 30,000 m³/a son eliminados y transportados a lo largo de la costa hacia las zonas de depósito que, en este caso, dada la orientación de la actual desembocadura se depositarían en la Flecha del Fangar. Por ello, en el caso hipotético de que la desembocadura estuviera situada en alguna de las Golas antiguas (Este o Migjorn) y, que el río aportara realmente ese sedimento, desde el punto de vista del balance sedimentario global no se produciría ninguna variación, aunque localmente se produciría una disminución de la erosión del orden de un 12% actual (siempre y cuando la capacidad de transporte del río fuera real). Sin embargo, el mantenimiento de la desembocadura en una zona de elevado transporte bruto

como es el caso de Cap Tortosa supondría realizar obras de estabilización para evitar el posible colmatado que podrían generar a su vez problemas de erosión local (ver e.g. Boer et al. 1994).

5. CAMBIOS A LARGO PLAZO

Se entienden por cambios a largo plazo los cambios globales que experimenta la costa del delta en su totalidad y que determinan el balance global de sedimentos en la zona costera –en este caso sólo se considera la fracción arena–. La escala temporal característica es del orden de décadas.

A fin de caracterizar tal comportamiento se han utilizado tres líneas de costa (1957, 1973 y 1989) tomando como situación de referencia la correspondiente a 1957. Esta fecha es inmediatamente anterior a la construcción de las presas de Mequinenza y Ribarroja y, por tanto, puede considerarse como la situación inicial a partir de la cual el delta ha entrado en un periodo evolutivo diferente (más independiente del río debido a la retención de sólidos por las presas).

En la figura 7 puede verse una superposición de las líneas de costa, donde se aprecia la gran remodelación sufrida por la costa del delta durante el periodo considerado.

Desde el “punto de vista erosivo”, destaca sobre todo la erosión sufrida por la zona de Cap Tortosa, la cual experimenta un retroceso máximo del orden de unos 1,500 m en 33 años. Con un mismo comportamiento aunque a unas tasas mucho menores, se observa una erosión generalizada de la cara externa del hemidelta

norte hasta el cambio de orientación en la flecha del Fangar y, la Barra del Trabucador.

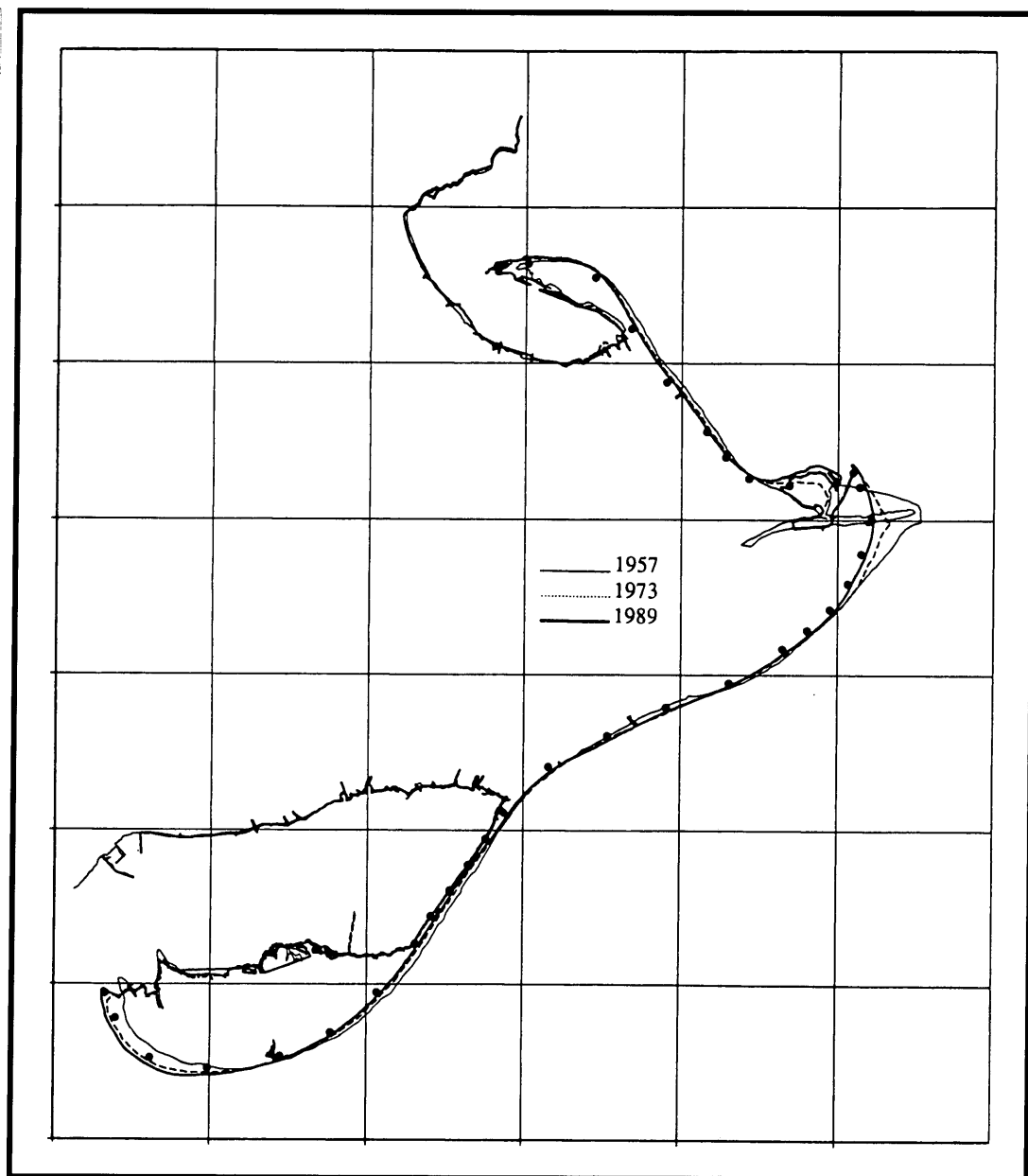
Un aspecto a destacar en el comportamiento del Trabucador es que no sólo se erosiona su cara externa, sino que al mismo tiempo avanza su cara interna, de tal manera que la Barra parece pivotar sobre su extremo norte. Este comportamiento está asociado a los procesos de rebase antes citados y, puede considerarse como la respuesta integrada en el tiempo de las contribuciones anuales.

Figura 7. Evolución del delta entre 1957 y 1989.

Si sólo nos centráramos en este comportamiento, habría que clasificar la costa del delta como una costa claramente erosiva y, a unas tasas realmente importantes. Sin embargo, este comportamiento no es generalizado a lo largo de toda la costa, sino que al mismo tiempo es posible encontrar zonas que durante el período analizado han experimentado una acreción considerable. Estas zonas son las puntas de las dos flechas y la Illa de Sant Antoni y la zona de la desembocadura. De hecho, si integráramos toda la superficie de la costa del delta incluyendo la zona de la desembocadura y las flechas, nos encontraríamos que la superficie del delta no ha disminuido durante el período considerado, sino que ha aumentado (ver figura 8). Esto puede explicarse considerando el sistema costero del delta como un sistema cerrado para la arena y, donde el sedimento que se erosiona en una parte de la costa es depositado en otras zonas y, donde la arena que pueda aportar el río quedaría dentro de él. Si se convirtieran los cambios de superficie

estimados a cambios de volumen asumiendo una profundidad crítica variable en función de la zona a considerar, se obtendría que el incremento de volumen anual es ligeramente positivo (del orden de unos 20,000 m³/año). Dado que este aumento es del orden de la precisión del método, se puede considerar, en primera aproximación, como casi nulo.

Este comportamiento no es constante a lo largo de todo el período analizado, sino que varía a lo largo del tiempo, siendo máximo en los estadios iniciales y decreciendo en el tiempo a medida que el delta va tomando una configuración más estable. Este hecho puede verse claramente en la figura 9 donde se representan los desplazamientos de la línea de orilla a lo largo de la costa y, donde se observa que aunque el tipo de



comportamiento –erosión o acreción– se mantiene en el tiempo, las tasas a las que se producen van decreciendo.

Otro aspecto que puede extraerse de la figura 9 es que, dada la similitud en el comportamiento observada para los diferentes períodos, los fenómenos que los rigen deben ser similares. Por ello, puede asumirse que, aunque los cambios a largo plazo vendrán regidos por otros factores, el transporte longitudinal neto de sedimento tiene un efecto residual a esta escala que es el que genera la redistribución del sedimento a lo largo de la costa aunque sin implicaciones en cuanto al balance global.

Este balance global estaría regido por los aportes del río, el transporte de sedimento entre el perfil activo y la plataforma a

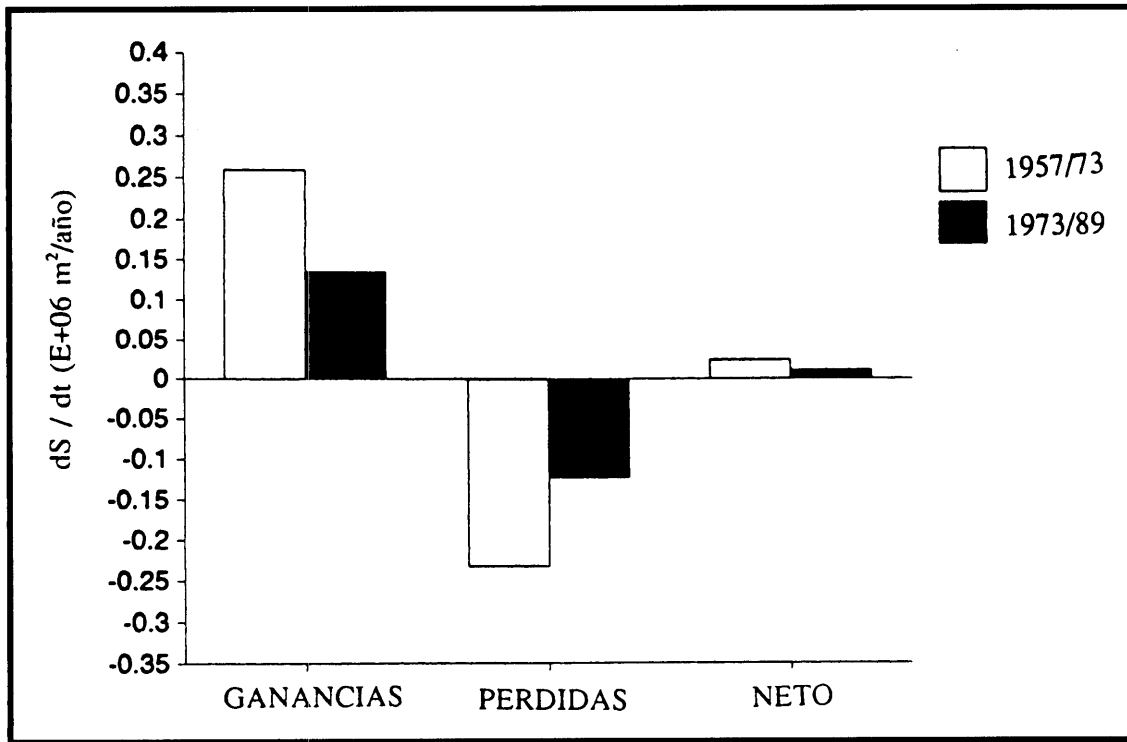


Figura 8. Cambios en la superficie emergida para el período 1957-1989.

franja limitada por el cinturón de fangos antes citado (ver e.g. Sánchez-Arcilla et al. 1993 y Jiménez, 1996).

Por ello, a esta escala debería hablarse más de remodelación de la costa deltaica que de erosión neta, con una alternancia de las zonas de erosión y acreción sin un cambio de volumen significativo (ver e.g. Jiménez et al., 1993, Sánchez-Arcilla et al. 1994).

nivel del "shoreface", el transporte eólico y el "overwash" a nivel de la playa emergida y los cambios inducidos por el ascenso relativo del nivel del mar (incluyendo tanto la contribución eustática como la debida a subsidencia). Si se integran todas estas contribuciones a una escala de décadas se obtendría un balance cerrado en el que los términos positivos y negativos se anulan, considerando siempre la fracción arena y hasta la

6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El problema erosivo de la costa en el delta del Ebro es, a una escala temporal de "pocos años", eminentemente local. En efecto, el balance global de arena parece mantenerse estable, mientras que el area emergida del cuerpo deltaico sufre "remodelaciones". Dentro de éstas, las zonas erosivas son lugares generalmente utilizados por el hombre y/o sistema biológico de la zona, por lo que su erosión plantea problemas. El crecimiento de zonas de depósito, por el contrario, no redundan en beneficios a corto plazo (puesto que son zonas de nueva creación y, por tanto, no "utilizadas").

La correcta "evaluación" del problema erosivo/acumulativo requiere, tal como se ha ilus-

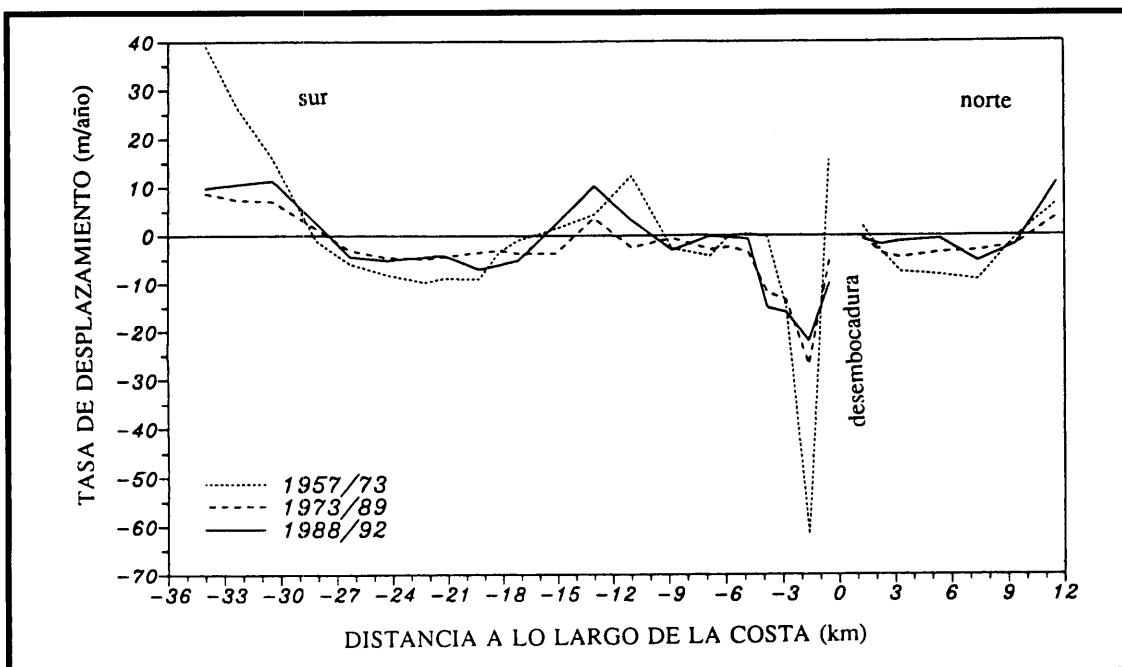


Figura 9. Tasas de desplazamiento de la línea de orilla para los periodos 1957-1973, 1973-1989, 1988-1992.

trado en este artículo, la consideración de, al menos, las tres escalas de tiempo presentadas ("largo", "medio" y "episódica"). De otro modo, las conclusiones que se alcancen –y el posible plan de gestión deltaica asociado– carecerían de validez a medio plazo. Los costes asociados a la puesta en marcha de este plan junto con la vulnerabilidad de los sistemas deltaicos en general y, el del Ebro en particular, aconsejan por tanto:

▼ Una vigilancia continuada de los principales "parámetros ambientales" (factores modeladores y respuesta costera, etc...).

▼ Una consideración en paralelo de las distintas escalas espaciales y temporales involucradas en la evolución/dinámica costera.

AGRADECIMIENTOS

Parte de este trabajo ha sido consecuencia del proyecto Anàlisi i Proposta de Solucions per a estabilitzar el delta de l'Ebre, promovido y financiado por la Generalitat de Catalunya. La contribución de A.S.-A. y J.A.J. ha sido realizada dentro de los proyectos MEDDELT y PACE, financiados por los programas ENVIRONMENT y MAST-III de la Unión Europea (No. EV5V-CT94-0465 y MAS3-CT95-0002 respectivamente). Esta es una contribución al programa LOICZ/IGBP.

REFERENCIAS

- Boer, S.; Overeem Jan van y Jiménez, J.A. 1994. Alternative entrances to the Ebro river. Delft Hydraulics, Technical Report H1908.
- García, M.A., Sánchez-Arcilla, A., Sierra, J.P., Sospedra, J. y Gómez, J. 1993. Wind waves off the Ebro delta, NW Mediterranean. *Journal of Marine Systems*, 4(2/3), 235-262.
- Guillén, J. 1992. Dinámica y balance sedimentario en los ambientes fluvial y litoral del Delta del Ebro. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 584pp.
- Guillén, J. y Jiménez, J.A. 1995. Processes behind the longshore variation of the sediment grain size in the Ebro Delta coast. *Journal of Coastal Research*, 11, 1, 205-218.
- Guillén, J. y Maldonado, A. 1992. Análisis y propuesta de soluciones para estabilizar el Delta del Ebro: Morfología y recubrimiento sedimentario en la plataforma continental interna y media del Delta del Ebro. Direcció General de Port i Costes, Generalitat de Catalunya.
- Jiménez, J.A. 1996. Evolución costera del Delta del Ebro. Un proceso a diferentes escalas de tiempo y espacio. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Jiménez, J.A. y Sánchez-Arcilla, A. 1993. Medium-term coastal response at the Ebro delta, Spain. *Marine Geology*, 114, 105-118.
- Jiménez, J.A.; García, M.A. y Sánchez-Arcilla, A. 1990. Análisis y propuesta de soluciones para estabilizar el Delta del Ebro: Estimación del transporte de sedimento en el río Ebro. Contribución a la evolución costera. LT-2/7. Direcció General de Port i Costes, Generalitat de Catalunya.
- Jiménez, J.A.; Sánchez-Arcilla, A.; García, M.A.; Overeem, J. van y Steetzel, H. 1991. Erosión de la Barra del Trabucador durante la tormenta de octubre de 1990. *Revista de Obras Públicas*, 3299, 23-30.
- Jiménez, J.A., Sánchez-Arcilla, A., Valdemoro, H.I., Gracia, V. y Nieto, F. 1997. Agents forcing shape-related processes in the Ebro delta coast. *Marine Geology*, (en prensa).
- Maldonado, A. 1986. Dinámica sedimentaria y evolución litoral reciente del Delta del Ebro. En: Mariño, M.G., Sistema Integrado del Ebro, Hermes, Madrid, 33-60.
- MOPU 1979. Estudio de la dinámica litoral en la costa peninsular mediterránea y onubense. Provincias de Valencia, Castellón y Tarragona.
- Sánchez-Arcilla, A. y Jiménez, J.A. 1994a. Ingeniería de playas (I): Conceptos de morfología costera. *Ingeniería del Agua*, 1, 2, 97-114.
- Sánchez-Arcilla, A. y Jiménez, J.A. 1994b. Breaching in a wave-dominated barrier spit: the Trabucador bar (northeastern spanish coast). *Earth Surface Processes and Landforms*, 19, 483-498.
- Sánchez-Arcilla, A.; Jiménez, J.A. y García, M.A. 1990. El proyecto de regresión del Delta del Ebro. Balance de dos años de actividad. *Obra Pública*, 15, 108-113.
- Sánchez-Arcilla, A.; Stive, M.J.F.; Jiménez, J.A. y García, M.A. 1993. Impact of sea level rise in a Mediterranean delta: The Ebro Delta case. *Seachange'93*, UNESCO, IV 53-62.
- Varela, J.M., Gallardo, A. y López de Velasco, A. 1986. retención de sólidos por las presas de Mequinenza y Ribarroja. Efectos en los aportes al delta del Ebro. En: M. Mariño (ed.), El sistema integral del Ebro: cuenca, delta y ambiente marino. Hermes, Madrid, 203-219.
- Wright, L.D. y Coleman, J.M. 1973. Variations in morphology of major river deltas as functions of ocean wave and river discharge regimes. *AAPG Bull.* 57(2), 370-398. ●