

1. INTRODUCCIÓN

La respuesta costera a eventos de corta duración, tales como tormentas, normalmente se entiende como consecuencia de los procesos que tienen lugar en la zona de rotura. Probablemente, los cambios más obvios son los que se producen a corto plazo, sobretodo aquellos que hacen referencia a la redistribución de sedimentos en una escala de tiempo de un año o menos. Los modelos clásicos describen estos cambios en términos de intercambio de sedimentos entre la playa y la zona más exterior de la zona de rotura. Sin embargo, esta zona difícilmente puede considerarse como un sistema cerrado, incluso aún cuando se consideran escalas de tiempo de décadas o superiores. Si lo que se pretende es predecir los cambios del frente costero a largo plazo y a gran escala, entonces el problema adquiere las dimensiones de toda la plataforma continental.

Dentro de la plataforma continental se distinguen 3 zonas: la plataforma interna, la plataforma intermedia y la plataforma exterior. Los procesos físicos y respuestas (morfoodinámicas) que tienen lugar en cada una de ellas son distintos tanto en términos del proceso en sí como en el orden de magnitud de los mismos. Así, por ejemplo, el oleaje es un proceso que influye directamente en la movilización del sedimento tanto en la zona de rotura como en la plataforma interna, aunque sólo juega un papel relevante en la plataforma exterior en eventos de alto contenido energético. Por el contrario, los flujos de circulación general (*i.e.* flujos geostróficos) determinan en gran medida las características de la plataforma exterior siendo muy pequeño su impacto en la zona de la plataforma interna (Huyer, 1990). Finalmente, la plataforma intermedia es considerada por algunos autores (Nittrouer y Sternberg, 1981; Nittrouer y Wright, 1994) como una zona que habitualmente actúa como sumidero de sedimentos a una escala de tiempo de décadas. A diferencia de la plataforma intermedia y exterior, la plataforma interna es la región contigua a la playa y a la zona de rotura así como a estuarios y desembocaduras de ríos que sirve de "conducto" para el transporte transversal de sedimentos y al mismo tiempo modula los procesos hidrodinámicos que tienen lugar en la zona de rotura (Wright, 1993).

En las últimas décadas la mayor parte de los estudios sobre el transporte de sedimentos fuera de la zona de rotura se han realizado a profundidades donde la acción de las corrientes predomina por encima de la de otros agentes, tales como el oleaje, y lejos de la zona donde tiene lugar el intercambio de sedimentos entre la zona de rotura y la plataforma continental. Este es el caso del delta del Ebro, donde la mayor parte de los estudios se han llevado a cabo desde un punto de vista principalmente oceanográfico. Un ejemplo es el estudio realizado por Cacchione *et al.* (1990) en el que se obtuvo el primer conjunto de datos de campo cuantificando el transporte de sedimentos en la plataforma continental del Ebro a una profundidad de 60 m. Estudios previos para cuantificar los flujos de sedimentos en la plataforma del delta del Ebro estaban basados sólo en consideraciones teóricas. Así, Jiménez (1996) estimó el transporte potencial asociado a la acción de las olas para una profundidad de 10 m usando modelos energéticos alimentados por el clima local del oleaje (ver también Jiménez *et al.* 1997). Sin embargo, hasta el momento no se habían recolectado datos sobre concentraciones de sedimentos en la zona.

El delta del Ebro se encuentra en el litoral mediterráneo en el extremo meridional de Catalunya (España). En el presente, el delta es un sistema micromareal (con una carrera de marea de aproximadamente 0.25 m) dominado por la acción del oleaje, con una altura de ola significativa media en aguas profundas de 0.7 m y un periodo medio asociado de 4 s (Jiménez *et al.*, 1997). En las últimas décadas, debido principalmente al drástico descenso del aporte de sedimentos del río como consecuencia de la construcción de presas (Jiménez *et al.*, 1997), los procesos de remodelación se han vuelto dominantes y

la importancia relativa de los procesos que en un principio se consideraban secundarios para la evolución costera empezó a aumentar. Bajo estas condiciones, el intercambio de sedimentos en la plataforma interna puede jugar un papel significativo en la evolución del litoral del delta (e.g. Nittrouer y Wright, 1994).

Para llenar el vacío existente de datos experimentales aparece el proyecto europeo FANS (*Fluxes Across Narrow Shelf. The Ebro Delta Case*) con el objetivo de obtener datos de campo de los flujos de agua y sedimentos en la plataforma interna del delta del Ebro. Si bien no es posible monitorizar de manera continua estos flujos a gran escala, la importancia de este trabajo se encuentra en que el problema se puede reducir caracterizando el sistema en base a su comportamiento bajo distintas condiciones meteorológicas y, así, poder reconstruir cualquier escenario climático. Dentro de este contexto, la primera campaña experimental se realizó entre el 17 de diciembre de 1996 y el 17 de enero de 1997, en la que se fundearon dos trípodes instrumentados a profundidades de 8.5 y 12.5 m en frente de la barra del Trabucador. El principal objetivo de este estudio era realizar un primer análisis de los flujos de agua y sedimentos en la plataforma interna del delta del Ebro. En concreto, se evaluó la contribución de las corrientes de baja frecuencia en el balance sedimentario (Jiménez *et al.*, 1999).

En la misma línea de trabajo, a finales del año 2000 (entre el 12 de octubre y el 9 de noviembre) nuevamente se depositaron dos trípodes instrumentados, pero a diferencia de la anterior campaña, a profundidades de aproximadamente 6 y 8.5 m. El principal objetivo de esta campaña era obtener más datos experimentales sobre los flujos de agua y sedimentos bajo distintas condiciones meteorológicas, pero en especial bajo la ocurrencia de un temporal de Llevant que, por las predicciones meteorológicas de las que se disponía, se sabía que podía tener lugar alrededor de estas fechas.

Debido a la gran cantidad de información que se obtuvo en la campaña se ha decidido centrar esta tesina sólo en los flujos de agua para posteriormente, en otro estudio y a partir de los resultados obtenidos en el presente, caracterizar los flujos de sedimentos.

El objetivo principal de la tesina es caracterizar el funcionamiento hidrodinámico de la plataforma continental interna del delta del Ebro en condiciones de alta energía. Se analizará el forzamiento inducido por el desarrollo de un evento de Llevant bajo condiciones anticiclónicas y la respuesta hidrodinámica del medio, poniendo énfasis en el campo oscilatorio (*i.e.* olas y ondas largas) generado en las proximidades del fondo, que es el principal responsable de la movilización y transporte del sedimento.

Para abarcar este objetivo primero se ha realizado una revisión teórica de los distintos agentes que actúan en la plataforma interna, entre los cuales resaltan las corrientes generadas por el viento, el oleaje y los movimientos infragravitatorios, y en la zona de rotura (*surf zone*). Seguidamente, se ha descrito la zona de estudio y la campaña experimental, haciendo hincapié en la localización de los trípodes, las características de los distintos instrumentos utilizados y su configuración para el muestreo. A continuación, y previamente al análisis de los resultados, se ha llevado a cabo un control de calidad de los datos de ambos trípodes en el que se ha estudiado la evolución temporal del voltaje del sistema electrónico de los trípodes, la orientación de los trípodes, el rango de los datos registrados y otras incidencias (e.g. aterramiento de los sensores, variaciones anómalas en los datos). Junto con el control de calidad se ha descrito la metodología utilizada en el estudio, en la que destaca el sistema de ejes de referencia adoptado, la obtención de la dirección del oleaje, el método adoptado para el análisis espectral de las distintas series temporales, el cálculo de la altura de ola significativa y el periodo de pico asociado, el filtro utilizado para separar las series de velocidades y la obtención de la envolvente de los movimientos de alta frecuencia y su posterior correlación con los movimientos de baja frecuencia. Adicionalmente, también se han comentado los distintos

métodos utilizados para obtener el nivel medio del mar, la intensidad y dirección de las corrientes de baja frecuencia, la U_{rms} y la asimetría de las ondas. Finalmente, tras analizar los resultados, se han expuesto las conclusiones que responden al objetivo de esta tesina.

Por último, al final del documento, se adjuntan una serie de anejos cuyo contenido facilita la comprensión del trabajo realizado y en los que, además, se muestran la práctica totalidad de los resultados obtenidos pero que por brevedad y cuestiones formales se ha estimado más conveniente incluirlos en anejos. En el Anejo 1 se incluyen las series temporales de velocidad, voltaje de los OBS (*i.e.* concentración de sedimento en suspensión) y "presión de la columna de agua" registradas en las dos localizaciones de estudio a lo largo del periodo de tiempo que finalmente se ha analizado. En el Anejo 2 se presentan parte de los resultados (los más relevantes) obtenidos en el análisis de calidad de los datos de ambos trípodes. En el Anejo 3 se encuentran mapas meteorológicos elaborados por el Servei Meteorològic de Catalunya que se han utilizado para caracterizar parte del comportamiento de las corrientes. En el Anejo 4 se representan variables relacionadas con el oleaje (*e. g.* H_s/L , coeficientes de propagación, evolución del número de Ursell) registrado en el periodo en el que tiene lugar el temporal de Llevant. Finalmente, las densidades espectrales de las series temporales de velocidades, tanto en la componente transversal como longitudinal, registradas en los niveles superiores de ambos trípodes entre el inicio de la campaña y las 6:00 horas del 26 de octubre se incluyen en el Anejo 5.