

# Fases de crecimiento y estructura interna de una duna costera en regeneración (Reserva de la Biosfera de Urdaibai, País Vasco).

*Formation and internal structure of a regenerated coastal sand dune (Biosphere Reserve of Urdaibai, Basque Country)*

E. Iriarte <sup>(1)</sup>, M. Monge-Ganuzas <sup>(2)</sup>, A. Cearreta <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Estratigrafía eta Paleontología Saila. Zientzi eta Teknologia Fakultatea. EHU/UPV, P.K. 644, 48080 Bilbao. gpbrave@lg.ehu.es; gppcebia@lg.ehu.es

<sup>(2)</sup> Urdaibaiko Biosfera Erreserbako Patronatua. Eusko Jaurlaritzako Lurralde Antolamendu eta Ingurumen Saila, Udetxea jauregia, P.K. 130, 48300 Gernika-Lumo. urdaibai@ej-gv.es

## ABSTRACT

During a 3 year sand-dune regeneration project in the Laida beach (Biosphere Reserve of Urdaibai) both dune formation process and sedimentary features have been monitorized. The measured bimodal wind regime controls both the formation of bipolar sedimentary structures at different scales and the growth of the sand dune. Main depositional and erosional processes controlling sand dune development and the preserved internal sedimentary structures are shown in this paper.

**Key words:** Coastal dune, bimodal wind regime, internal sedimentary structure, dune regeneration, Biosphere Reserve of Urdaibai, Basque Country.

*Geogaceta*, 36 (2004), 139-142  
ISSN:0213683X

## Introducción

Las interpretaciones dinámicas de los sedimentos eólicos costeros, tanto antiguos como actuales, son escasas y controvertidas. Las causas, procesos y formas que se originan son poco conocidas y la experimentación es difícil debido a la complejidad de las interacciones entre procesos eólicos y marinos (Chan y Kocurek, 1988). Por todo ello, el desarrollo de modelos teóricos y el estudio de ejemplos actuales que relacionen la formación de las estructuras sedimentarias con los parámetros atmosféricos, los modelos de transporte y las interacciones estructura sedimentaria/flujo de aire, se perfilan como los caminos a seguir en la correcta comprensión de este tipo de sedimentación.

Un detallado seguimiento sedimentológico del proceso de regeneración dunar en la playa de Laida (Reserva de la Biosfera de Urdaibai, Bizkaia) (Fig. 1) durante los últimos 3 años (2001-2004), ha permitido la monitorización y el estudio de los distintos parámetros meteorológicos y su interacción con las diferentes estructuras sedimentarias y el transporte de arena, habiéndose caracterizado el crecimiento de la duna a lo largo de este tiempo. Además, se han podido reconocer y describir estructuras sedimentarias a distintas escalas que forman la arquitectura interna de la duna costera. Todo ello ha llevado a construir un modelo de evolución dunar que podría ser aplicable en me-

dios con similares características sedimentarias y meteorológicas.

## Variables meteorológicas: régimen de vientos

A lo largo del periodo de estudio en la playa de Laida, el régimen de vientos se ha perfilado como el mayor control entre los factores determinantes en la sedimentación eólica, ya que otros requisitos como la disponibilidad de sedimento susceptible de ser transportado y la formación de acúmulos de arena embrionarios se han cumplido tanto de manera natural (formación de protodunas y dunas *coppice*, y amplio desarrollo de llanuras arenosas intermareales tanto al S como al N de la playa de Laida) como inducidos por la acción antrópica (colocación de captadores de arena y vertido de arenas provenientes de dragados del canal estuarino).

Por esta razón, se incidió en la obtención y estudio de los datos meteorológicos operantes en el área de estudio. Los datos meteorológicos estudiados provienen de una estación meteorológica puesta en marcha en la propia playa de Laida (2002) y de la estación meteorológica que el Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco tiene situada en la vecina población de Mundaka.

El régimen de vientos dominantes observado tiene un marcado carácter bimodal (Fig. 2) observándose la acción de vientos del NW y SE a lo largo del año. A menor

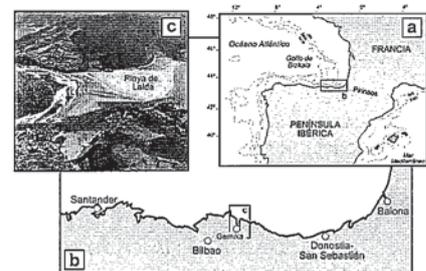


Fig. 1.- Localización geográfica de la playa de Laida (Reserva de la Biosfera de Urdaibai).

*Fig. 1.- Geographical location of the Laida beach (Biosphere Reserve of Urdaibai).*

escala, en la playa de Laida y debido a su localización en el extremo distal del estuario de Urdaibai, las brisas terrales y marinas presentan un notable desarrollo y variabilidad a lo largo del año (Fig. 2c y 2d). Un detallado análisis ha permitido diferenciar 2 periodos meteorológicos semestrales que se han repetido de manera más o menos regular durante los últimos 6 años (Cearreta *et al.*, 2002 y Monge-Gamuzas *et al.*, 2003):

### a) Semestre 1 (Septiembre-Marzo)

Durante este primer semestre alternan los vientos regionales del NW y SE, dominando los primeros. Las velocidades medias diarias de ambas directrices superan a menudo los 4 m/s siendo comunes las intensidades comprendidas entre los 4 y 8 m/s (Fig. 2a). Durante este periodo el clima es muy cambiante, abundando los temporales

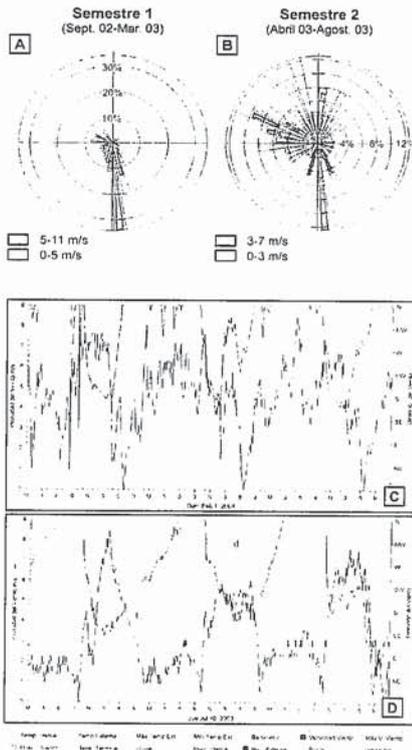


Fig. 2.- Rosa de los vientos del Semestre 1 (A) y del Semestre 2 (B) con indicación de las direcciones y velocidades medias diarias medidas en la estación meteorológica situada en Mundaka. Ejemplos de las brisas de verano (C) e invierno (D) medidas en la estación meteorológica de la playa de Laida. Aparecen reflejadas la temperatura (t), la humedad (h), la dirección (d) y la velocidad del viento (v).

Fig. 2.- Wind regime for Semester 1 (A) and Semester 2 (B) containing information on daily average direction and velocity measurements from the Mundaka meteorological station. Examples of summer (C) and winter (D) breezes from the Laida meteorological station. Temperature (t), humidity (h), wind direction (d) and velocity (v) are indicated.

de viento y lluvia procedentes de la irrupción de frentes desde el NW, así como las épocas de fuertes vientos provenientes del SE. Las brisas son apreciables, aunque a menudo aparecen enmascaradas por los fuertes vientos sinópticos antes mencionados (Fig. 2).

b) *Semestre 2 (Abril-Agosto)*

A lo largo de este segundo semestre, a escala regional predominan los vientos del SE (Fig. 2b). Los valores medios diarios tanto de los vientos del NW como del SE son muy flojos, a menudo entre 0 y 3 m/s. Esta situación es además estable durante la mayor parte del semestre dada la menor incidencia de perturbaciones meteorológicas. Por todo ello, la superposición sinóptica de los vientos regionales apenas perturba el régimen local de bri-

sas que afecta a la playa de Laida, siendo éste el fenómeno dominante durante los meses de primavera y verano (Fig. 2).

Esta distribución de los parámetros meteorológicos y, particularmente, el régimen de vientos bimodal a escala regional (vientos dominantes) y local (brisas) tienen un claro reflejo en el crecimiento y la arquitectura sedimentaria de la duna estudiada.

Crecimiento de la duna costera

La formación de la duna estudiada se inició con la colocación de 3 hileras de captadores de mimbre de 1 m de altura en un área de 25x325 m. Sobre ellos, una vez colmatados, se añadieron 2 hileras más que fueron igualmente colmatadas al final de la primera anualidad (otoño de 2002).

Al caracterizar el crecimiento de la duna durante las dos primeras anualidades (2001-2003) se diferenciaron dos periodos de crecimiento correspondientes a los semestres 1 y 2 definidos en el apartado anterior (Cearreta *et al.*, 2002 y 2003 y Monge-Ganuzas *et al.*, 2003) y que obviamente están controlados por las condiciones meteorológicas en ellos descritas.

a) *Semestre 1 (Septiembre-Marzo)*

Es el semestre con mayor sedimentación, siendo ésta continua y simétrica a lo largo de toda la duna, produciéndose con la misma intensidad en ambos flancos de la duna. Frecuentemente se suceden eventos erosivos causados en la mayoría de los casos por fuertes temporales de lluvia y viento provenientes del NW, que provocan una fuerte erosión especialmente en el flanco norte de la duna (Fig. 3a y 3b). No obstante, esta erosión es rápidamente subsanada durante la siguiente fase de acumulación (Fig. 3d y 3f).

b) *Semestre 2 (Abril-Septiembre)*

Durante este semestre la duna crece muy poco, debido a que la sedimentación neta es casi nula, e incluso puede darse una pequeña erosión. Apenas se dan eventos erosivos, y la duna sufre fases de sedimentación/erosión de pequeña entidad y polaridades opuestas (NW y SE) que hacen que su perfil simétrico no sufra variaciones importantes.

Además de estas etapas de crecimiento, el estudio de la sedimentación y la evolución morfológica de la duna permitieron diferenciar 2 tipos de crecimiento en la misma correspondientes a cada una de las dos anualidades (Monge-Gamuzas *et al.*, en prensa):

a) *Anualidad 1 (2001-2002): crecimiento agradacional*

Debido a la acción de los captadores de mimbre, el crecimiento vertical y conver-

gencia de los acúmulos arenosos pertenecientes a cada fila de captadores se produjo de manera muy rápida (hasta 2 m/año). Este proceso definió un crecimiento de la duna preferentemente vertical, agradacional, donde las potencias logradas en la cresta central doblaban las obtenidas en las zonas de medida dispuestas a lo largo de ambos flancos.

b) *Anualidad 2 (2002-2003): crecimiento progradacional*

Una vez colmatados los captadores fue la propia interacción entre la duna y el flujo de aire la que controló el crecimiento de la duna. Así, se observó que durante la segunda anualidad (Septiembre 2002-Marzo 2003) la cantidad de sedimento depositado en la duna (3.500 m<sup>3</sup>) no variaba significativamente respecto a la anualidad anterior (3.700 m<sup>3</sup>). Sin embargo, el modo de crecimiento cambió sustancialmente, observándose que la mayoría del sedimento se acumulaba en ambos flancos en proporciones que doblaban al crecimiento observado en la cresta, invirtiéndose el modelo observado durante la anualidad anterior. El acúmulo medido en el flanco norte superó ligeramente al del flanco sur, lo que podría evidenciar una ligera preponderancia de la sedimentación debida a vientos provenientes del SE.

Estructuras sedimentarias

La observación sistemática de los procesos sedimentarios ocurridos en la duna ha permitido también poner de manifiesto la gran variedad de estructuras y procesos sedimentarios eólicos activos a distintas escalas (Fig. 3). Esta diversidad es debida al régimen de vientos fuertemente variable en intensidad y dirección que altera notablemente y de manera cíclica la morfología y los procesos imperantes en la duna. De la misma manera, eventuales episodios erosivos han permitido observar las distintas estructuras sedimentarias que constituyen la arquitectura interna de la duna, resultantes de la actividad de las estructuras superficiales. Aunque los afloramientos son reducidos y efímeros y las estructuras poco visibles, ha sido posible identificar las estructuras más evidentes. Entre ellas se describen las más significativas a distinta escala:

a) *Sets bipolares*

La estructura interna del acúmulo arenoso está compuesta por *sets* oblicuos de extensión métrica y potencia decimétrica que se disponen de manera aproximadamente paralela a ambos flancos de la duna, de manera análoga a la estructura *chevron* típica de ripples de oscilación (Fig. 3b).

Los *sets* presentan laminaciones internas de distintos tipos y distribución heterogénea, desde cruzada a paralela, y que obedecen a la alternancia de distintos tamaños de grano, desde arena gruesa bioclástica a lutitas limolíticas. Estas laminaciones se interpretan como consecuencia de la superposición de depósitos causados por distintos tipos de estructuras sedimentarias (ripples y dunas) y procesos de sedimentación eólica (Kocurek y Dott, 1981) como *grainfall* (Anderson, 1988), *grainflow* (Hunter, 1985), agradación de ripples eólicos y depósitos de adhesión (Kocurek y Fielder, 1982), todos ellos observables en la superficie de la duna (Fig. 3).

La formación y disposición de estos *sets* se interpreta como consecuencia de la alternancia en la dirección de los vientos activos sobre la duna, debido al carácter bimodal de los vientos regionales de dirección NW y SE (Fig. 4).

#### b) Superficies de discontinuidad erosivas

Las superficies entre *sets* son superficies de distinta entidad. En su mayoría responden tanto a superficies de reactivación como a superficies erosivas oblicuas (subparalelas a los flancos de la duna) que limitan los *sets* (Fig. 3b). Son de mayor entidad las superficies relacionadas con los eventos erosivos debidos a temporales invernales (Fig. 3c). Estas últimas superficies erosivas se presentan a menudo tapizadas por sedimentos arcillosos de adhesión (Fig. 3a).

#### c) Laminaciones diarias

Los eventuales temporales erosivos dejan al descubierto, especialmente en el flanco norte de la duna, una laminación de alta frecuencia compuesta por la alternancia de láminas centimétricas de arena y láminas milimétricas a centimétricas de limos y arcillas (Fig. 3c y 3d). Esta laminación buza ligeramente ( $10^{\circ}$ - $20^{\circ}$ ) y de manera uniforme hacia el norte (flanco norte) y forma *sets* de hasta un metro de potencia.

La naturaleza de estos depósitos denota una variación cíclica y frecuente de las condiciones de sedimentación. El tipo de sedimento acumulado responde a una variación tanto en la capacidad de transporte del viento (en su velocidad) como se deduce de la alternancia en el tamaño de grano (arena vs. arcillas y limos), como en el tipo de sedimentación (agradación de ripples eólicos vs. adhesión).

Efectivamente, este tipo de variaciones en el régimen de vientos y procesos de sedimentación han sido medidos en la playa de Laida en relación a las brisas (Fig. 2c y 2d). Las brisas son especialmente notables en verano cuando la meteorología es menos variable y no se da una superposición sinóp-

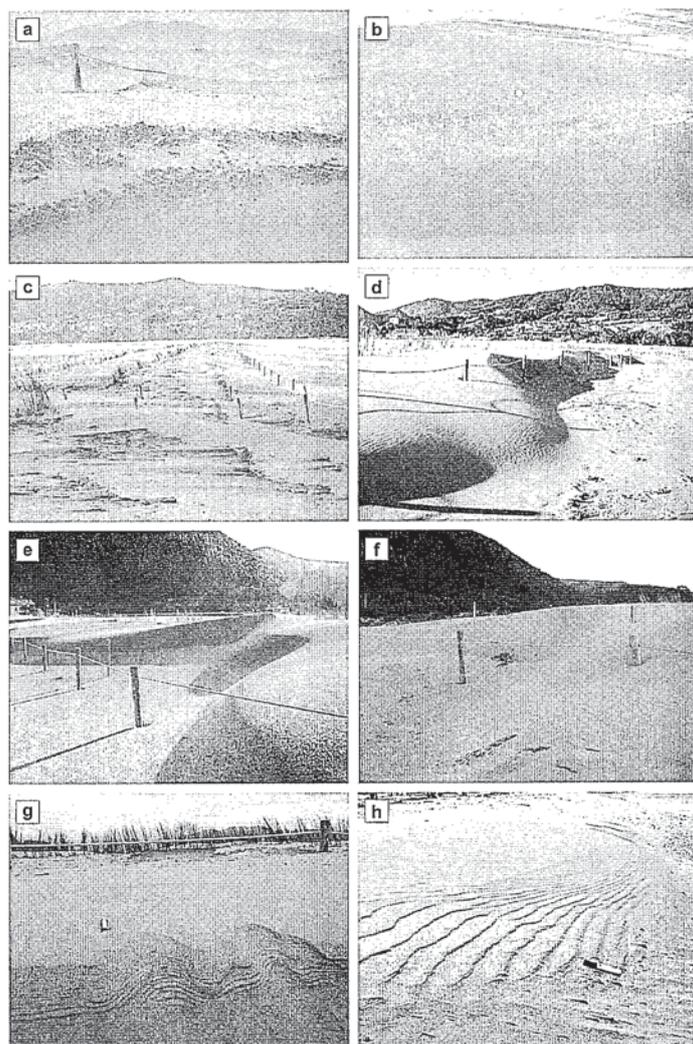


Fig. 3.- Fotografías de la duna costera en la playa de Laida. (a) Erosión del flanco norte y depósito de sedimentos finos por adhesión; (b) *Sets* y laminaciones eólicas de diferente tipo en la estructura interna de la duna (diámetro moneda: 2 cm); (c) Erosión de la duna después de un temporal del NW; (d) Aspecto de la duna durante un periodo deposicional; (e) Detalle de la duna con el sedimento húmedo debido al rocío (nótese la ausencia de ripples); (f) Detalle de la duna con sedimentación arenosa: ripples eólicos en la superficie y *grainflow* en los *foresets*; (g y h) Cortes longitudinal y transversal respectivamente de la laminación diaria (longitud del rotulador: 10 cm).

Fig. 3.- Different views of the Laida beach coastal dune. (a) Erosion on the north side and fine sediments deposition; (b) *sets* and different aeolian laminations from the dune's internal structure (coin diameter: 2 cm); (c) Erosion on the dune after a NW storm; (d) dune during a depositional period; (e) Detail of the dune with wet sediment due to dew (note the lack of ripples); (f) detail of the dune with sandy sedimentation: aeolian ripples on the dune surface and *grainflow* deposits on the lee-sides; (g and h) Longitudinal and transversal views respectively of the daily lamination (pen:10 cm).

tica de vientos regionales. Este patrón varía a lo largo del año, y en invierno el régimen de brisas es similar al expuesto en la Figura 2d, pero aparece casi siempre enmascarado por la acción de los fuertes vientos y/o lluvias típicos de esta época.

La génesis de la laminación diaria, podría por tanto, adscribirse a la acción de las brisas, especialmente en verano. En esta época, a partir del mediodía y hasta la medianoche, el viento del NW con velocidades entre 4 y 6 m/s es capaz de transportar arena sobre la duna mediante la migración de ripples eólicos. Esta migración produciría la acumulación (acreción) de una capa

arenosa sobre el sustrato (Fig. 3d y 3f). A partir de medianoche y hasta el siguiente mediodía, el viento sopla del SE con velocidades que raramente superan los 3 m/s. Durante este periodo no cabe esperar transporte alguno de arena. Sin embargo, el drástico incremento de la humedad relativa del aire debido a un descenso moderado de la temperatura durante la noche (Fig. 2c y 2d) provoca la condensación de rocío y el humedecimiento de la superficie dunar. Sobre esta superficie húmeda (Fig. 3e), y a lo largo de toda la mañana, los sedimentos finos que son transportados en suspensión por el débil viento del SE son susceptibles de depo-

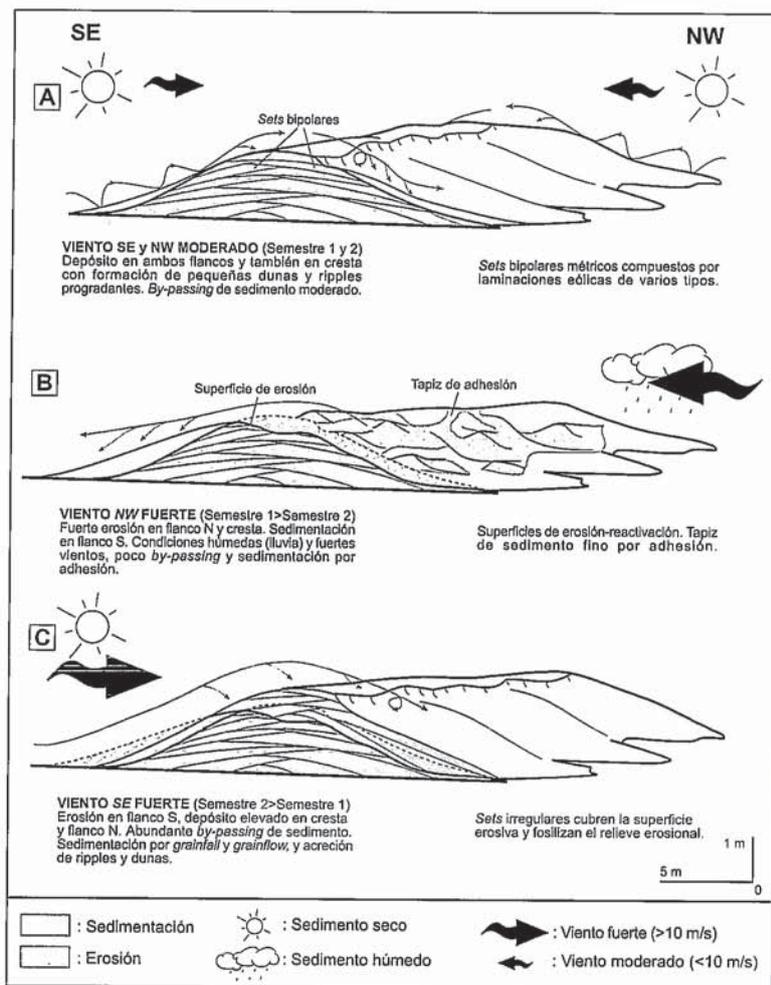


Fig. 4.- Modelo de evolución de la duna costera en la playa de Laida. Se representan las 3 situaciones (a, b y c) más comunes en la evolución de la duna, con indicación de los procesos meteorológicos y sedimentarios actuantes, así como las estructuras sedimentarias generadas.

Fig. 4.- Model to explain the evolution of the coastal dune on the Laida beach. The three most common situations during the dune evolution (a, b and c) are presented. Meteorological and sedimentary processes together with generated sedimentary structures are also indicated.

sitarse por adhesión, tapizando la superficie de la duna con una delgada lámina. A partir del mediodía, este tapiz de materiales finos es recubierto por sedimento arenoso con ripples (por ejemplo, Fig. 3f) que generaran una nueva capa de arena sobre el tapiz arcilloso.

Hunter y Richmond (1988) describen ciclicidades diarias en dunas costeras de Texas y Oregón debidas a la acción de las brisas. Sin embargo, es importante reseñar las diferencias tanto en el régimen de brisas (en su caso unidireccional) como en la naturaleza del sedimento que forma la laminación (en su caso siempre arena) que existen entre los ejemplos descritos por los autores anteriores y la playa de Laida. Estas diferencias obedecen a las características climáticas y geomorfológicas diversas entre las áreas estudiadas y que favorecen que el mecanismo varíe ligeramente en cuanto a procesos de sedimentación y régimen de vientos, aunque el resultado final no varíe

substancialmente, observándose en ambos casos una laminación diaria.

### Conclusiones

Criterios meteorológicos y sedimentológicos de distinta naturaleza y escala permiten caracterizar una duna costera situada en la playa de Laida como una duna transversal simétrica resultante de un régimen de vientos bimodal a diferentes escalas (diaria y estacional). Su crecimiento es bipolar, más o menos simétrico, debido al desarrollo de estructuras sedimentarias (ripples, dunas y superficies erosivas a diferentes escalas) de polaridad variable (bipolares). Este crecimiento bipolar queda reflejado en la estructura sedimentaria interna de la duna mediante la aparición de sets oblicuos bipolares y laminaciones diarias. Un modelo deposicional simplificado de la duna estudiada en la playa de Laida se muestra en la

Figura 4 donde aparecen representados los procesos sedimentarios de mayor escala (estacional) que controlan el desarrollo de la duna, señalándose los fenómenos meteorológicos y los procesos de sedimentación/erosión actuantes en cada situación.

En general, este tipo de crecimiento dunar es difícil de observar en materiales fósiles debido a la baja potencialidad de preservación de este ambiente sedimentario, pero su identificación permitiría inferir el paleorégimen de vientos y posibles ciclicidades a escala diaria en los materiales (laminación diaria) y estacional/anual (verano: más sets con laminación diaria y menos superficies erosivas de temporales; Invierno: menos sets con laminación diaria y mayor cantidad de superficies de erosión).

### Agradecimientos

Este trabajo representa una contribución al proyecto *Seguimiento y evaluación sedimentológica del proyecto de regeneración dunar en Laida (Reserva de la Biosfera de Urdaibai)* financiado por la *Cátedra UNESCO sobre Desarrollo Sostenible y Educación Ambiental en el marco de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai*. Los autores expresan su reconocimiento al Director-Conservador del Patronato de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai, Xabier Arana, por su apoyo decidido a este proyecto.

### Referencias

- Anderson, R.S. (1988): *Sedimentology* 35, 175-188.
- Cearreta, A., Iriarte, E. y Monge-Ganuzas, M. (2002): *Seguimiento y evaluación sedimentológica del proyecto de regeneración dunar (Reserva de la Biosfera de Urdaibai). Primer Informe anual*. Inédito. 34 pp.
- Cearreta, A., Iriarte, E. y Monge-Ganuzas, M. (2003): *Seguimiento y evaluación sedimentológica del proyecto de regeneración dunar (Reserva de la Biosfera de Urdaibai). Segundo Informe anual*. Inédito. 34 pp.
- Chan, M.A. y Kocurek, G. (1988): *Sediment. Geol.* 56, 283-300.
- Hunter, R.E. (1985): *Sedimentology* 32, 409-422.
- Hunter, R.E. y Richmond, B.M. (1988): *Sediment. Geol.* 55, 43-67.
- Kocurek, G. y Dott, R.H. (1981): *Jour. Sed. Petrology* 51, 581-596.
- Kocurek, G. y Fielder, G. (1982): *Jour. Sed. Petrology* 52, 1229-1241.
- Monge-Ganuzas, M., Iriarte, E. y Cearreta, A. (2003): *Geogaceta* 34, 119-122.
- Monge-Ganuzas, Cearreta, A. M. e Iriarte, E. (en prensa). *Geotemas*.