



## RELACIONES TEXTURALES Y COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LOS SISTEMAS DE PLAYA/DUNAS EN UNA COSTA ROCOSA: CASO DE CANTABRIA (NO DE ESPAÑA)

*Textural and mineralogical relations of beach/dune systems in a rocky coast: case study of Cantabria (NW Spain)*

Patricio Martínez-Cedrún<sup>1</sup>, Germán Flor<sup>2</sup>, Germán Flor-Blanco<sup>2</sup>, y Gema Maroto González<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada. Universidad de Cantabria  
 Avda. de los Castros, s/n. 39005 Santander; España. patricio.martinez@unican.es

<sup>2</sup> Departamento de Geología. Universidad de Oviedo. C/ Arias de Velasco, s/n. 33005 Oviedo, España

**Abstract:** Textural parameters and silica/carbonate contents of sand intertidal beaches and associated aeolian dune fields along this cliff coast are studied. Many fluvial systems draining in this coast supply large volumes of siliciclastic sands, and the output of nutrients from estuaries controls the biogenic carbonate formation in the narrow coastal belt, resulting mixed sand sediment that is part of beaches and coastal dunes. The mineralogical distribution of sands in this coast has a certain complexity but they are more siliciclastic in the estuary mouths linked to great fluvial basins, increasing the carbonate bioclasts to the eastern side. Transverse and longitudinal transitions of sand transport tendencies, mainly based on a general decrease in particle size and carbonate percentage in the direction of downflow can be deduced. From bivariate plots, the contrasting between main size and other granulometric parameters, including the biogenic carbonate percent, allows to establish the tractive (rolling and bottom drag) and suspension (uniform suspension and saltation or graded suspension) transport modalities for a limit speed assigned among them to an average size of  $2,05 \phi$  (0,24 mm).

**Key words:** beaches, aeolian dunes, sands, granulometries, bioclasts, Cantabria

**Resumen:** Se estudian los parámetros texturales y los contenidos sílice/carbonato de playas arenosas emergidas y campos eólicos dunares asociados a lo largo de la costa acantilada de Cantabria. Muchos sistemas fluviales drenan en esta costa, suministrando volúmenes significativos de arenas siliciclásticas, y la expulsión de nutrientes desde los estuarios controla la formación de carbonatos biogénicos en la franja costera estrecha, resultando un sedimento arenoso mixto, que forma parte de playas y dunas costeras. La distribución mineralógica de las arenas en esta costa muestra una cierta complejidad, pero de manera generalizada son más siliciclásticas en las desembocaduras de estuarios de grandes cuencas hidrográficas, aumentando los contenidos bioclásticos hacia el E. Se pueden deducir tendencias del transporte arenoso en sentido transversal y longitudinal, fundamentándose principalmente en una disminución generalizada de los tamaños y del contenido carbonatado en la dirección de la corriente. A partir de gráficos binarios, se determina el contraste entre el tamaño medio de grano y los restantes parámetros granulométricos, incluyendo el porcentaje carbonatado biogénico, que permite establecer las modalidades del transporte por tracción: arrastre sobre el fondo y rodamiento y por suspensión: suspensión uniforme y saltación o suspensión gradada con la velocidad límite entre ambos asignada al tamaño medio de  $2,05 \phi$  (0,24 mm).

**Palabras clave:** playas, dunas, arenas, granulometrías, bioclastos, Cantabria

Martínez Cedrún, P., Flor, G., Flor-Blanco, G. y Maroto González, G. (2014): Relaciones texturales y composición mineralógica de los sistemas de playa/dunas en una costa rocosa: caso de Cantabria (NO de España). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 27(2): 13-27.

Las costas acantiladas o rocosas y bajas o sedimentarias ofrecen distintos volúmenes arenosos para la formación de ambientes de playas y sistemas dunares, generalmente más delgados en las primeras (Storlazzi y Field, 2000) y con sedimentación deficitaria, especialmente en las franjas sumergidas. Los comportamientos son diferenciales en cuanto a su constitución como sistemas sedimentarios, especialmente, en lo relativo al conjunto de playas/dunas, su distribución, texturas y composición mineralógica, incluyendo las transferencias longitudinales.

Las costas bajas dependen, en primera instancia, de los voluminosos aportes arenosos proporcionados por grandes ríos que, vía estuarios o deltas, mantienen composiciones siliciclásticas relativamente constantes en su deriva costera. También, se producen transportes sedimentarios hacia tierra desde bancales arenosos sumergidos, asociados a los prismas costeros en los frentes estuarinos, por la acción de olas y corrientes hacia tierra. Obviamente, pueden incorporarse sedimentos arenosos de los frentes dunares asociados durante fases de ascenso del nivel del mar. Se suelen incluir también procesos de resuspensión en la franja de rompientes de ola (Voulgaris y Collins, 2000).

Esto es extrapolable a costas rocosas, pero las áreas fuentes son más variadas, aunque comparativamente de menor cuantía que las fluviales, como son las siliciclásticas por erosión de los acantilados y las derivadas de los restos biogénicos carbonatados que colonizan estas franjas mareales (Flor *et al.*, 1982). En este sentido, Calhoun y Field (2001) sugieren una colonización de las franjas rocosas como productoras de organismos carbonatados que se introducen en playas apoyadas entre acantilados.

Se produce una compartimentación con playas ancladas entre promontorios, en que los transportes longitudinales de sedimentos se restringen sustancialmente y son mal conocidos, por la existencia de topografías rocosas sumergidas (Tait y Revenaugh, 1998). Hay diferencias locales de las propiedades sedimentarias debidas a las variaciones de las descargas fluviales, litologías de los acantilados adyacentes o los rasgos geomorfológicos de la plataforma continental interna (Trindade y Ramos-Pereira, 2009). Los eventos de temporales son necesarios para mover el sedimento hacia el mar que permiten un movimiento posterior hacia la playa adyacente (Storlazzi y Field, 2000).

Los sedimentos costeros constituyen la integral resultante de los procesos a largo plazo que implican a las aportaciones fluviales y su distribución longitudinal, así como las aportaciones biogénicas con menor recorrido, relacionados con los últimos movimientos eustáticos. A más corto plazo, dependen de las dinámicas específicas, algunas de carácter estacional, como oleajes en playas, vientos en dunas y mareas y descargas fluviales en estuarios, y de la estabilización definitiva, teniendo en cuenta las transferencias transversales y longitudinales.

Simplificadamente, se obvian los procesos activos potenciales de transferencias sedimentarias en sentido longitudinal, teniendo en cuenta que los procesos eustáticos recientes jugaron un papel fundamental en la redistribución sedimentaria hasta el alto nivel del mar flandriense.

Del estudio a través de sus características texturales y mineralógicas se puede extraer una información muy valiosa acerca de su origen y de los procesos de transporte. En este trabajo, se seleccionan los ambientes de playas expuestas que han desarrollado campos dunares de mayor o menor entidad, así como las generadas en ámbitos estuarinos, sobre los que se analizan las características granulométricas más sobresalientes (parámetros con mayor énfasis en la media y calibrado o clasificación) y mineralógicas de manera simplificada (componentes siliciclásticos frente a carbonatados biogénicos) en la costa de Cantabria.

### Área de estudio

La costa de Cantabria es una costa rocosa, mayoritariamente abrupta, con desniveles de unas decenas de metros, algo menores en un segmento reducido justo al O de Santander. Está sometida a una elevación cortical desde finales del Mioceno-Plioceno con una tasa de elevación entre 0,07 y 0,15 mm/año (Álvarez-Marrón *et al.*, 2008), extensible a Asturias y País Vasco, dentro de un margen tectónicamente pasivo y, generalmente, con una sedimentación deficiente que se extiende por la franja de la plataforma continental interna desnutrida (Fernández-Valdés, 1997) y como se infiere de las cartografías de Geomytsa (1992).

El perfil costero de Cantabria (Fig. 1) tiene una alineación OSO-ENE en los dos tercios occidentales ligeramente cóncavo hacia el N a lo largo de 90 km, sobresaliendo con un máximo hacia el N en el cabo de Ajo, a partir del cual cambia a NO-SE (55 km) hasta el límite con el País Vasco.

Sobre la franja litoral, se extiende un relieve suave constituido por superficies aplanadas, escalonadas irregularmente, que, en determinados sectores, se extienden al pie de sierras costeras cuyas direcciones son más o menos concordantes con las del perfil costero. Son las denominadas rasas, las superiores de origen continental y las inferiores conteniendo depósitos de origen marino (Flor y Flor-Blanco, 2014).

Se abren estuarios de valle vinculados a ríos cordilleros enraizados en la cabecera septentrional de la cordillera Cantábrica (Tina Mayor y Tina Menor, San Martín de la Arena, Mogro, Cubas, Asón y Oriñón) y arroyos o regatos costeros (San Vicente de la Barquera, La Rabia, Santander, Ajo, Cabo Quejo y Mioño) (Tabla 1).

Las playas dominantes se anclan entre promontorios rocosos, generalmente con extensiones inferiores a 1 km, y en desembocaduras de estuarios. Los sistemas de playa/dunas forman parte de las barreras confinantes y, excepcionalmente, de flechas arenosas de dimensiones kilométricas (Mogro, Somo y Puntal de Laredo). Otras playas se apoyan sobre fondos rocosos sin que sus sedimentos alcancen la profundidad de cierre, constituyendo playas colgadas en el sentido de Larson y Kraus (2000), como es el caso de la playa de Berria (Medina *et al.*, 1995).

Se han desarrollado numerosos sistemas de playa/dunas, que se distribuyen como celdas aparentemente independientes y sedimentariamente estabilizadas (Fig. 1). Tienen a mantener un cierto equilibrio a corto (desde estacional hasta un lustro) y medio plazo (algunas décadas) en

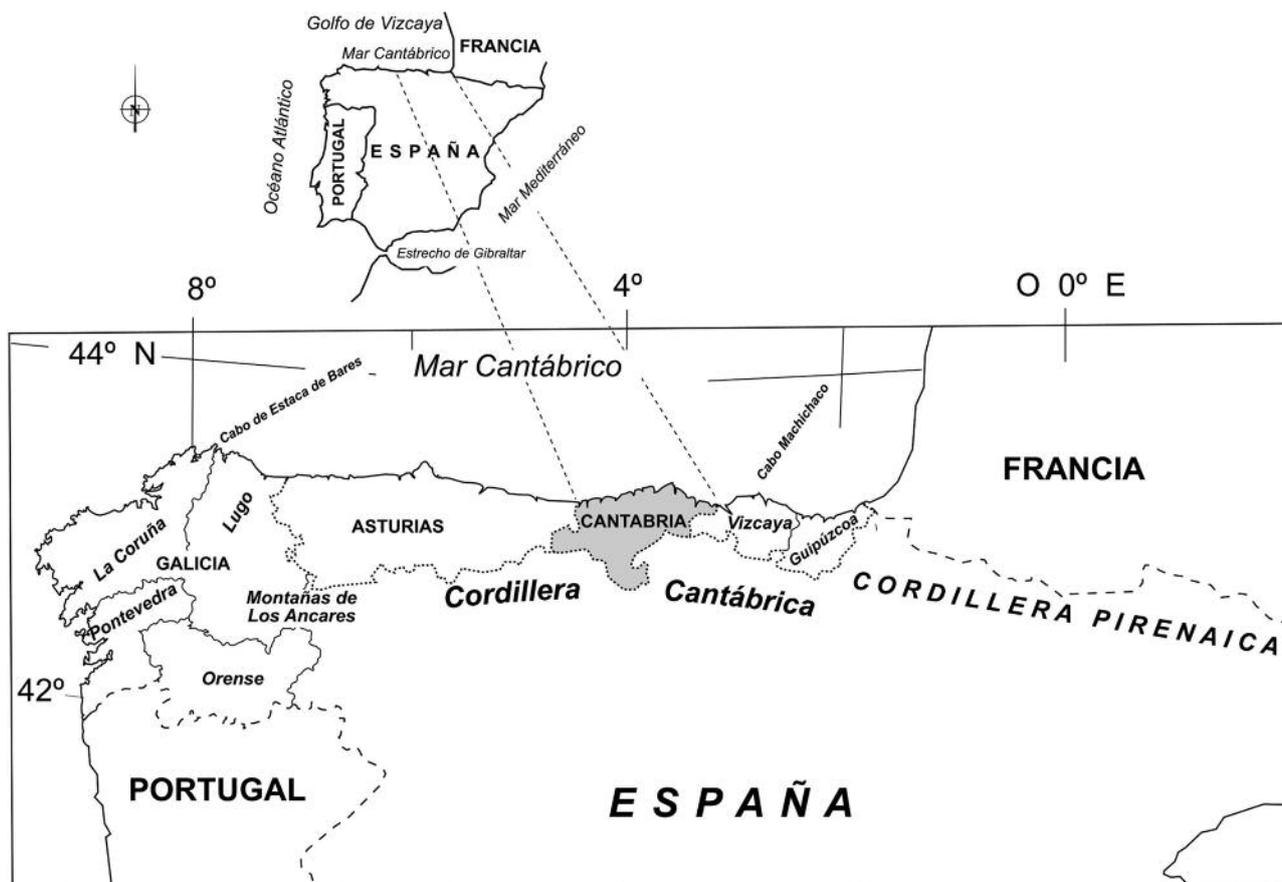


Fig. 1.- Situación de Cantabria en el NO de la Península Ibérica hacia el área oriental del Golfo de Vizcaya.

ESTUARIO	RÍO PRINCIPAL						
	NOMBRE	tipo de río	superficie km <sup>2</sup>	longitud km	caudales anuales m <sup>3</sup> /s		
					medios	máximos	mínimos
TINA MAYOR	Deva + Cares	cordillerano	371,02 412,28	66,20 52,50	28,80	392,90	1,56
TINA MENOR	Nansa	cordillerano	420,00	57,00	12,85	192,63	0,83
SAN VICENTE DE LA BARQUERA	subsistema de Rubín	El Escudo	71,93	25,60	1,23	19,62	0,09
	subsistema de Pombo	Gandarilla	arroyo costero	23,90	9,50		
LA RABIA	subsistema de Zapedo	Rioturbio	arroyo costero	21,39	8,09		
	subsistema de Capitán	Capitán	arroyo costero	20,12	10,93		
SAN MARTÍN DE LA ARENA	Saja + Besaya	cordillerano	422,00 579,00	54,00 47,20	24,22	377,60	1,74
MOGRO	Pas	cordillerano	661,00	61,40	16,03	220,72	1,07
SANTANDER	subsistema de Santander	varios(*)	arroyos costeros	98,94	12,48		
	subsistema de Cubas	Miera	cordillerano	297,00	45,00	8,23	140,70
AJO	Campiazo	costero	65,50	26,70	1,53	20,96	0,11
ASÓN	Asón	cordillerano	743,00	50,30	21,85	240,52	1,11
ORIÓN	Agüera	cordillerano	147,00	31,40	3,71	57,64	0,16
MIOÑO	Mioño	costero	25,40	11,01	0,56	8,20	0,04

dos cuencas fluviales de drenaje | río Saja + Besaya → principal tributario | río con embalses

varios(\*): Tijero, Solía, Bóo

Tabla 1.- Ríos y arroyos principales en la región de Cantabria caracterizados por la superficie y longitud y los caudales anuales medios, máximos y mínimos (aforos del CEDEX de la CHC y PDSDYC de Cantabria, 2007 y datos propios).

cuanto a pérdidas y ganancias, donde el transporte litoral juega un papel destacado.

### Campos dunares de Cantabria

Los campos dunares de la costa de Cantabria son relativamente numerosos alcanzando dimensiones sumamente variables, desde unos pocos cientos de metros cuadrados (El Pedrero, Somocuevas, Portio, El Bocal, La Arena y Los Nudistas) hasta miles de metros cuadrados (6.424 m<sup>2</sup> en la duna estuarina de El Tostadero, San Vicente de la Barquera), alcanzando grandes superficies en Liencres (1.748.767 m<sup>2</sup>) y máximos de 5.694.975 m<sup>2</sup> en la barrera estuarina del Asón (Flor *et al.*, 2011). Los más extensos están vinculados estrechamente a desembocaduras de ríos cordilleranos, pero también aquéllos de carácter costero. Dentro de algunos estuarios, se han generado campos comparativamente de menores dimensiones que los que culminan las barreras confinantes, como los de El Sable, El Tostadero, La Riberuca, El Tubo, Usil, La Arena, Los Nudistas, El Olivar y Regatón (Fig. 2).

Se relacionan con las aportaciones voluminosas de arenas siliciclásticas desde la cuenca hidrográfica a lo largo de la historia de encajamiento de cada uno de los ríos principales que forman estuarios en el borde costero (Tabla 1). La composición mineralógica del sustrato que drenan juega un papel fundamental, con una mayor contribución a la costa si se trata de rocas siliciclásticas.

Las geometrías dunares también son muy variadas, desde las básicas (domos, pirámides vegetadas, colas de

arena, etc) a las de mayor entidad, como cordones dunares, que son los más numerosos, las parabólicas de Valdearenas y mixtas longitudinales y barjanas de Sonabia, excepcionales en esta costa. La modalidad abrupta de esta costa propicia la formación de dunas remontantes de gran extensión en Liencres, y otras menores en Loredó, Noja, La Magdalena y los parches de Olivar, Merón, Gerra, Bocal, Portio.

Su evolución también ha sido muy diferente de unos a otros, desde los que pueden considerarse como en fase activa en toda su extensión hasta aquéllos que han tenido una historia dilatada, desde el máximo nivel del mar en el Holoceno hasta el presente.

Las contribuciones más reseñables sobre las dunas de Cantabria han sido sintetizadas por Martínez-Cedrón (2008) y la más reciente de Flor *et al.* (2011).

### Agentes dinámicos

La fachada costera de Cantabria está sometida a un clima oceánico dependiente de los flujos atlánticos, pero también bajo la influencia del anticiclón de las Azores y sus extremidades sobre el Atlántico oriental (Rasilla *et al.*, 2004).

Los vientos en la costa cantábrica están dominados por los del O (15%) cuyas velocidades medias son de 25 km/h y del SSO (10%) con 22 km/h, componentes que actúan precediendo a los frentes atlánticos; son más secos y calientan el aire, debido a la orografía regional que desarrolla un efecto Föhn. La velocidad media anual es 3,53 m/s y las calmas se extienden a lo largo del 25% (Fig. 3A). Los

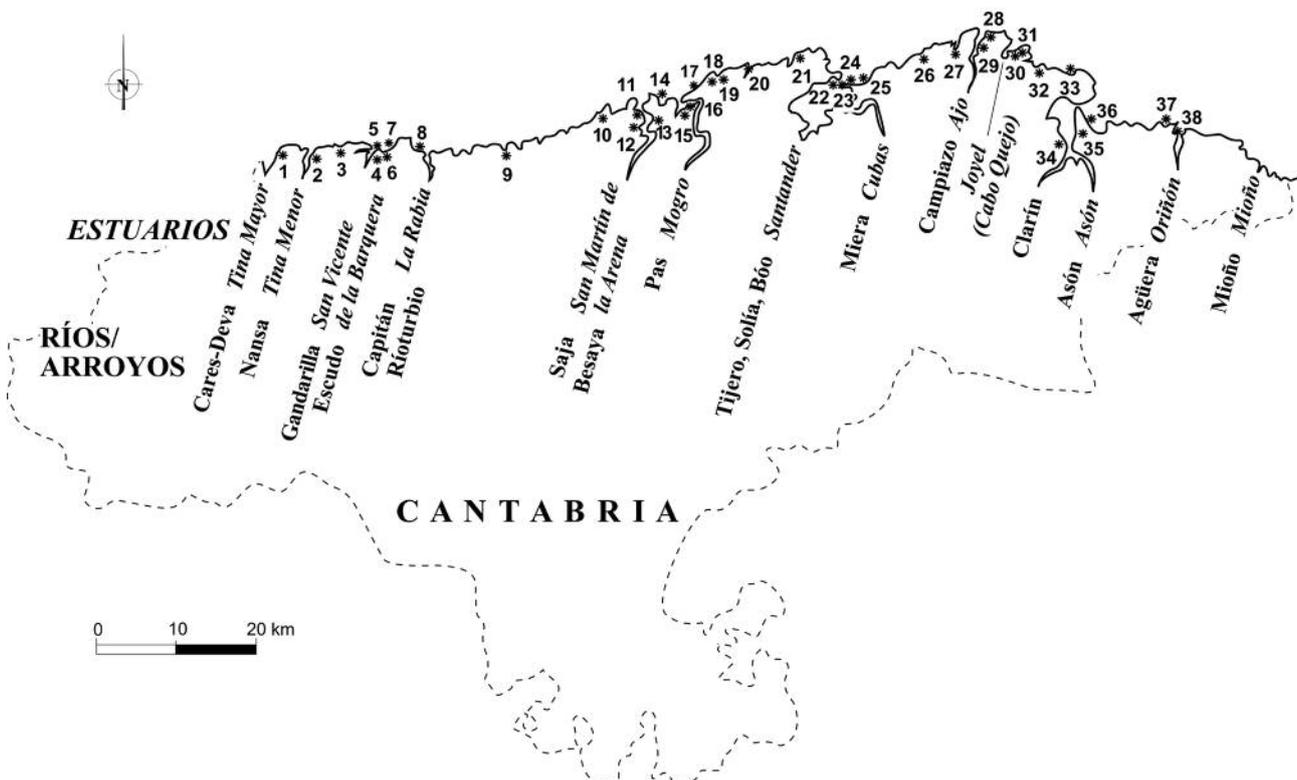


Fig. 2.- Se detallan los numerosos estuarios (cursiva), ríos o arroyos costeros asociados y los 38 campos dunares estudiados (\* ubicación).

segundos mencionados, que son más frecuentes en otoño e invierno (Fig. 3B), desarrollan un mayor número de rachas máximas en toda la franja costera, siendo los registros máximos en el aeropuerto de Parayas, en la bahía de Santander (Fernández García y Rasilla, 1992).

Los del ONO (8% y 25 km/h) y NO son poco frecuentes (3%), pero alcanzan velocidades destacadas de 22 km/h. Los del ENE y E (ambos con el 9%) son más secos, alcanzando los 19 y 18 km/h, respectivamente, propios de condiciones anticiclónicas (Flor *et al.*, 2006). Estos vientos que proceden del primer cuadrante desencadenan procesos de afloramiento (*upwelling*) de carácter costero (Ruiz-Villareal *et al.*, 2006).

Los oleajes dominantes en la costa de Cantabria proceden mayoritariamente del NO con alturas medias significativas ( $H_s < 2$  m) y periodos de 8 a 12 segundos (Medellín *et al.*, 2009), mientras que las tormentas típicas se caracterizan por  $H_s = 4$  m (Losada *et al.*, 1991) y los periodos entre 10,5 y 13,5 s (Iglesias y Carballo, 2010). La corriente litoral es persistente hacia el E, habiendo jugado un papel fundamental en el transporte sedimentario arenoso para el relleno de playas en ese mismo sentido (Flor *et al.*, 1982).

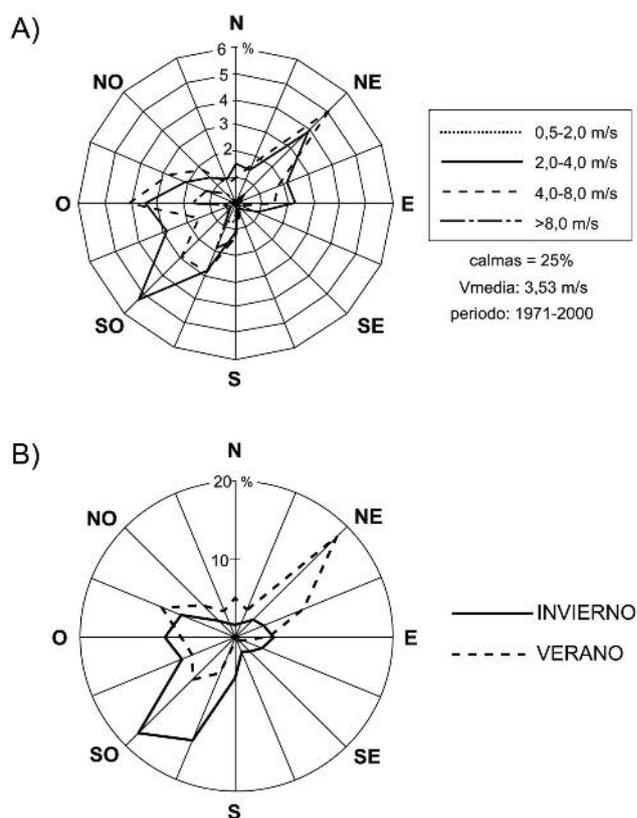
Las mareas son semidiurnas y mesomareales, si bien los rangos mínimos alcanzan una cifra de 1,0 m y los máximos de 4,75 m, unos centímetros más en los estuarios de San Vicente de la Barquera (Flor-Blanco, 2007) y Santander (APS, 2012) por la resonancia de la onda mareal teórica desde la bocana.

Las descargas fluviales son muy variables de una cuenca fluvial a otra, a las que se añaden las oscilaciones extremas entre estiajes y avenidas (Tabla 1). Los caudales medios anuales mayores se registran en las cuencas de los ríos Deva+Cares y Saja+Besaya con 28,80 y 24,22  $m^3/s$ , respectivamente. Les siguen en importancia los del Asón y Pas con caudales medios anuales de 21,85 y 16,03  $m^3/s$ , respectivamente.

Por otro lado, los ríos Miera y Agüera aportan caudales medios anuales de 8,23 y 3,71  $m^3/s$ , aun tratándose de ríos cordilleranos, pero atraviesan litologías carbonatadas en buena parte de su cuenca hidrográfica, que permiten una circulación subterránea. El Escudo, un río costero que desemboca en el subsistema de Rubín (San Vicente de la Barquera), exhibe un caudal relativamente próximo a aquéllos, con una cifra de 1,23  $m^3/s$ , debido a que la cuenca drena un sustrato predominantemente siliciclástico sobre un área particularmente de elevadas precipitaciones.

Resulta importante destacar que gran parte de los arroyos costeros o ríos de menor entidad están relacionados con los estuarios de mayores dimensiones, donde el control litológico (materiales blandos del Keuper) es el factor principal en la formación del vaso estuarino.

Las cuencas hidrográficas con caudales mayores han evacuado los mayores volúmenes arenosos, principalmente en los frentes o prismas sumergidos estuarinos sobre la plataforma continental interna, excepto los del Cares-Deva y Nansa, Campiazo y Mioño. En el conjunto sumergido de La Rabia, son amplios, probablemente relacionados con los transportes longitudinales desde los estuarios occidentales (Fig. 3).



**Fig. 3.-** A) Frecuencias y velocidades medias anuales de los vientos en el aeropuerto de Parayas en las proximidades de la ciudad de Santander (Pinazo Ojer, 2010). B) Frecuencias anuales de los vientos durante los meses de invierno y verano (Rasilla *et al.*, 2004).

## Metodología

Identificados los campos dunares eólicos de Cantabria (Martínez Cedrún, 2008), las muestras representativas, tomadas en los centímetros superficiales, se han sometido al análisis de las características granulométricas y de composición mineralógica, incluyendo las franjas intermareal superior y supramareal de las playas adyacentes como zonas más susceptibles de producirse la deflación por el viento al presentar la mayor probabilidad de permanecer secas, netamente suministradoras del sedimento arenoso.

Además de las distribuciones texturales promediadas, incluyendo el porcentaje carbonatado bioclástico, se trata de deducir las transferencias desde las playas a las dunas y, fundamentalmente, los movimientos de las fracciones arenosas a lo largo del litoral. Se incluyen los resultados de las playas y dunas estuarinas y algún campo dunar regenerado, como datos complementarios ya que sólo representan las bahías arenosas de algunos estuarios como entornos restringidos e independientes del tránsito exterior.

Se han recogido muestras superficiales (200 g) de acuerdo con una serie de perfiles transversales en cada playa y, dentro de los campos dunares, atendiendo a las tipologías dunares y su distribución superficial. Se procedió al lavado cuidadoso y repetido con agua para eliminar las impurezas ajenas al propio sedimento arenoso. Se secaron en placas calefactoras y se archivaron para los posterior-

res análisis granulométricos en seco, con 100 g de muestra problema, utilizando una columna de tamices a intervalos de 0,50  $\phi$ , desde -1,00  $\phi$  (2,0 mm) a 4,00  $\phi$  (0,0625 mm). Los resultados se sometieron al programa granulométrico GRADISTAT (Blott y Pye, 2001) para obtener los parámetros de rango y relación según Folk y Ward (1957) de los cuales, la Media y Calibrado tienen un mayor interés textural. Por otro lado, se ha llevado a cabo la determinación del contenido carbonatado (%) de la totalidad de cada muestra mediante un calcímetro de Bernard, repitiendo la testificación con una muestra de carbonato cálcico puro cada 15 determinaciones sucesivas, partiendo de 0,2 g de peso problema.

Finalmente, se han incluido los promedios carbonatados biogénicos procedentes de trabajos anteriores donde los muestreos se llevaron a cabo indistintamente en playas con y sin campos dunares en la totalidad de las superficies emergidas, aprovechando las bajamares vivas (Flor *et al.*, 1982).

## Resultados

Los componentes mineralógicos dominantes en esta costa se reparten entre el cuarzo y los carbonatos biogénicos, con menores participaciones de minerales pesados, que en la costa central de Asturias permitieron deducir los transportes longitudinales en sentido hacia el E (Flor, 1977). Otros autores proponen una división en función de los contenidos carbonatados totales: alta (>40%), intermedia (20-40%) y baja (<20%) (Merefield, 1984).

Las fracciones cuarzosas son aportadas por los sistemas fluviales, con mayores volúmenes en aquéllos con superficies de cuencas mayores y sustratos rocosos siliciclásticos, como Cares-Deva, Nansa, Saja-Besaya, Pas, Asón y Agüera (Tabla 1, Fig. 2). De una manera simplificada, los descensos del nivel del mar desencadenan regresiones que causan incisiones de los sistemas fluviales (Bridge, 2003), de ahí que, en los frentes sumergidos de los estuarios, se generaron importantes prismas arenosos costeros como se comprueba en los mapas cartográficos de fondos realizados con técnicas sísmicas realizados por Geomytsa (1992), de los cuales son comparativamente mayores el del Pas y más aún el del Asón.

Los componentes biogénicos proceden mayoritariamente del frente acantilado (Flor *et al.*, 1982), desde la zona submareal a la supramareal (salpicaduras), en la que habitan numerosas comunidades de organismos que se distribuyen en franjas paralelas respecto al nivel del mar. La parte superior está caracterizada por Littorinidae, mejor representada por *Melarhapha neritoides* y formas sésiles de balanos (*Chtamalus* spp.), la media también por balanos, *Littorina saxatilis*, *Mytilus* spp., predominando el *M. galloprovincialis*, *Ocenebra erinaceus*, *Nassarius incrasatus*, *Patella vulgata* y *P. depressa*, *Gibbula umbilicalis*, *G. pennanti*, *Monodonta linearis*, *Tricolia pullus*, y las algas (Ellis, 2003) de las cuales las calcáreas tienen un protagonismo importante, generalmente *Lithophyllum tortuosum*, *Corallina elongata* y *Lithophyllum incrustans* y serpúlidos adheridos. La intermareal inferior está repre-

sentada por *Corallina elongata* y, cuando contiene charcas mareales, se colonizan con erizos (*Paracentrotus lividus*). En la franja submareal son importantes los gasterópodos: *Bittium reticulatum*, así como algunos de los citados que llegan a batimetrías superiores (García García *et al.*, 2010).

Las aportaciones son menores desde la plataforma continental interna, playas arenosas y estuarios (Flor *et al.*, 1982) si bien éstos se constituyen en trampas sedimentarias de sus propios organismos (Flor *et al.* 1998).

### Parámetros texturales promediados

Las texturas promediadas de las playas arenosas que contienen campos dunares son mayoritariamente de arenas finas, pero las arenas medias están bien representadas, preferentemente en el segmento central, desde Luaña a Somo, ambos inclusive. Por su parte los campos dunares están representados por arenas finas, excepto las de Tagle, Usgo, Valdearenas, Somocuevas, Portio, San Juan de la Canal, El Puntal de Somo y La Canal, así como las estuarinas de El Tubo y Usil (Fig. 2, Tabla 2).

Mayoritariamente, los calibrados de las arenas de playa entran dentro de la categoría de bien clasificadas (0,35 a 0,50  $\phi$ ). Están muy bien clasificadas (<0,35  $\phi$ ) en Berellín, El Rosal, Valdearenas, Cuberris, La Arena y Berria y en las estuarinas de El Tostadero y Los Nudistas. Muchos más campos dunares muestran arenas bien clasificadas y muy bien clasificadas: Berellín, Luaña, La Canal, Cuberris, La Arena, Berria, La Salvé, Sonabia y Oriñón y las estuarinas de El Sable, El Tostadero, Los Nudistas, El Olivar y El Regatón.

Las asimetrías se mueven mayoritariamente en cifras negativas, desde muy negativas en las playas de Sable a negativas en El Tostadero, El Rosal, El Bocal, Loredo, Los Nudistas y Berria. Las restantes tienen tendencias a curvas simétricas, algunas positivas. En los campos dunares, las cifras negativas se rebajan ligeramente o pasan a positivas, excepto en la Gerra, Oyambre, Luaña, La Riberuca, Somocuevas, San Juan de la Canal, La Canal, Cuberris, La Arena, Ris, Trengandín, Berria y La Salvé (Fig. 2, Tabla 2).

Las tendencias de las angulosidades, tanto en la playa como en el campo dunar asociado, a veces muy sutilmente, apuntan desde curvas chatas o medias a agudas en El Sable, La Gerra, Oyambre, Riberuca, Usil, Valdearenas, Portio, El Bocal, Cuberris, La Arena, Los Nudistas, Trengandín, Berria, El Regatón y La Salvé. Y en el sentido contrario en Berellín, El Tostadero, El Rosal, Tagle, La Concha, El Tubo, Somocueva, San Juan de la Canal, La Magdalena, Somo, La Canal y Oriñón (Fig. 2, Tabla 2).

Los bioclastos carbonatados son muy escasos en las playas y dunas del occidente de Cantabria, generalmente inferiores al 17,50%. A partir de la playa de Luaña hacia el E, se incrementan (20% y superiores), rebajándose ligeramente en las áreas vinculadas a los estuarios de San Martín de la Arena y Mogro; más al E, oscilan ampliamente dentro de cifras inferiores al 30% y 10%. En el segmento más oriental de Cantabria, los intensos aportes de nutrien-

		<b>LEYENDA</b>		<b>2. El Sable</b>	<b>3. Berellín</b>	<b>4. El Tostadero</b>	<b>5. El Rosal</b>	<b>6. Merón</b>	<b>7. La Gerra</b>	<b>8. Oyambre</b>	<b>9. Luaña</b>	<b>10. Tagle</b>
<b>PLAYAS</b>	C	Mz		1,20	1,50	1,21	0,46	1,49	1,52	1,05	0,70	0,09
	$\sigma_j$	Sk <sub>j</sub>		0,44	0,25	0,28	0,32	0,41	0,42	0,41	0,41	0,42
	K <sub>G</sub>	CaCO <sub>3</sub>		0,93	1,24	1,02	0,99	0,87	0,87	0,95	0,90	1,08
	n = número muestras			n = 2	n = 3	n = 4	n = 5	n = 5	n = 4	n = 11	n = 5	n = 5
<b>CAMPOS DUNARES</b>	1. El Pedrero *	2. El Sable *		1,29	1,54	1,10	1,50	1,49	1,53	1,30	1,01	0,48
				2,21	2,21	2,06	2,40	2,41	2,45	2,25	2,01	1,46
				0,45	0,24	0,30	0,38	0,41	0,39	0,40	0,33	0,41
				0,06	-0,08	-0,22	-0,16	-0,15	-0,19	-0,15	-0,16	0,12
			0,89	1,12	0,83	0,90	0,88	0,89	0,97	0,89	1,01	
			4,40	13,64	12,54	12,42	11,04	8,18	6,85	19,65	32,23	
			n = 1	n = 5	n = 5	n = 11	n = 24	n = 19	n = 9	n = 72	n = 18	n = 14
<b>PLAYAS</b>	11. La Concha	12. La Riberuca		0,93	0,73	-0,06	0,89	0,45	0,52	0,77	1,01	0,68
				1,97	2,30	1,24	2,08	1,51	1,37	1,81	1,88	1,79
				0,47	0,49	0,45	0,61	0,39	0,33	0,40	0,38	0,02
				0,10	-0,13	0,02	0,10	-0,05	-0,01	-0,02	0,02	-0,08
			1,00	0,94	0,90	1,17	0,92	0,93	1,06	0,99	0,95	
			18,44	32,98	27,61	13,84	24,66	33,65	22,66	20,91	23,67	
			n = 3	n = 4	n = 4	n = 5	n = 1	n = 3	n = 9	n = 2	n = 1	n = 4
<b>CAMPOS DUNARES</b>	11. La Concha	12. La Riberuca *		1,13	0,71	0,17	0,67	0,63	0,72	0,68	1,01	0,88
				2,18	2,17	1,34	1,80	1,42	1,70	1,94	1,94	1,95
				0,46	0,49	0,40	0,47	0,42	0,41	0,41	0,40	0,39
				0,01	-0,06	0,07	-0,01	-0,01	-0,02	-0,05	0,04	-0,16
			0,85	0,99	0,90	1,09	0,97	1,07	1,06	1,05	0,92	
			15,27	16,03	21,12	43,40	10,78	15,07	21,19	17,70	15,68	
			n = 32	n = 4	n = 36	n = 8	n = 2	n = 9	n = 80	n = 8	n = 3	n = 7
<b>PLAYAS</b>	21. El Bocal	22. La Magdalena		0,78	0,31	0,96	0,84	0,78	1,19	1,45	1,48	1,48
				1,97	1,86	1,87	2,01	1,82	2,05	2,06	2,12	2,12
				0,39	0,49	0,41	0,44	-0,22	0,38	0,31	0,30	0,27
				-0,22	0,00	0,05	-0,22	-0,06	-0,18	-0,18	-0,13	-0,23
			0,96	1,05	1,01	0,92	0,96	0,79	0,89	0,89	1,00	
			23,73	18,06	27,50	23,67	27,29	28,75	18,31	15,35	18,14	
			n = 3	n = 1	n = 41	n = 11	n = 21	n = 6	n = 2	n = 6	n = 2	n = 8
<b>CAMPOS DUNARES</b>	21. El Bocal	22. La Magdalena		0,94	0,47	1,16	1,30	0,96	1,22	1,51	1,52	1,52
				2,07	1,92	2,00	2,08	1,98	2,07	2,13	2,17	2,17
				0,48	0,50	0,37	0,38	0,32	0,30	0,28	0,25	0,25
				0,07	0,01	0,17	0,16	-0,13	-0,21	-0,25	-0,25	-0,22
			1,17	1,05	0,89	0,93	0,90	0,87	1,02	1,02	1,07	
			7,66	25,69	9,10	14,03	19,91	16,72	15,30	15,30	16,30	
			n = 12	n = 16	n = 67	n = 32	n = 75	n = 21	n = 25	n = 4	n = 21	
<b>PLAYAS</b>	30. Joyel	31. Ris		1,23	1,15	1,68	0,95	1,37	1,25	1,25	1,09	1,09
				2,13	2,35	2,60	2,28	2,37	2,23	2,23	2,28	2,28
				0,40	0,41	0,30	0,37	-0,06	0,43	0,37	0,37	0,36
				0,03	-0,12	-0,24	-0,06	-0,17	-0,17	-0,15	-0,15	-0,18
			0,98	0,82	0,94	1,14	0,96	0,85	0,85	0,85	1,38	
			18,95	18,26	18,06	21,01	32,20	73,50	73,50	73,50	44,39	
			n = 12	n = 7	n = 15	n = 4	n = 20	n = 64	n = 64	n = 64	n = 8	
<b>CAMPOS DUNARES</b>	30. Joyel	31. Ris		1,22	1,30	1,66	1,24	1,51	1,61	1,61	1,46	1,46
				2,24	2,40	2,64	2,22	2,49	2,32	2,32	2,45	2,45
				0,42	0,42	0,28	0,31	0,28	0,34	0,32	0,32	0,33
				0,01	-0,17	-0,26	-0,04	-0,07	-0,20	-0,16	-0,16	-0,16
			0,98	0,87	1,09	1,50	1,21	1,05	0,84	0,84	1,22	
			11,72	16,42	12,33	17,30	19,43	21,34	73,22	73,22	42,03	
			n = 46	n = 54	n = 51	n = 28	n = 5	n = 30	n = 65	n = 116	n = 35	

**Tabla 2.-** Promedios de los parámetros granulométricos: Centil (C), Media (Mz) y Calibrado ( $\sigma_j$ ) en unidades phi ( $\phi$ ) y las adimensionales Asimetría (Sk<sub>j</sub>) y Angulosidad (K<sub>G</sub>), así como del porcentaje carbonatado biogénico (leyenda en la parte superior izquierda) de todos los campos dunares de Cantabria, calculados a partir del número de muestras que figura en cada caso. (\* campos dunares estuarios; \*\* campos dunares regenerados).

tes del estuario del Asón (marismas de Santoña), promovieron porcentajes muy altos de carbonatos biogénicos, especialmente en Sonabia (73,50% y 73,22% en playa y dunas, respectivamente) y Oriñón (44,39% y 42,03%, respectivamente).

Los carbonatos biogénicos se obtuvieron con un mayor número de muestras sobre la totalidad de las playas emergidas durante bajamareas vivas, incluyendo datos anteriores (Flor *et al.*, 1982), que le confiere una mejor representatividad estadística (Fig. 4).

*Variaciones transversales (playa-duna asociada)*

En la mayor parte de los campos dunares de Cantabria, los diámetros de los tamaños promediados máximos (Centil) y medios (Media) son ligeramente superiores en la playa que en las dunas, aunque en algunos entornos no se aprecian diferencias reseñables (Berellín, Merón y Cuberris) o se invierten las tendencias, indistintamente si son natura-

les (El Tubo, Usil, El Regatón) o artificiales, debido a vertidos de arenas dragadas o restauraciones con arenas alóctonas, como en El Tostadero y Cuchía, respectivamente.

Los calibrados, que son buenos en playas, como se ha mencionado, mejoran hacia las dunas asociadas. Las asimetrías no muestran tendencias definidas desde la playa al campo dunar, aunque predomina que se hagan más negativas. En cuanto a las angulosidades, predomina ligeramente el hecho de que las curvas se hagan ligeramente más agudas hacia las dunas.

Se detecta una tendencia generalizada en cuanto a los porcentajes bioclásticos, que disminuyen netamente desde la playa al campo dunar asociado, debido a la deflación del viento que remueven las fracciones más finas de las poblaciones de la playa, las cuales contienen porcentajes más bajos de carbonato, al disminuir el carbonato a medida que lo hace el tamaño medio de grano (Flor, 1977). Solamente es inversa en El Sable de Tina Menor, debido a que son las llanuras arenosas del estuario las que sirven de área fuente

a las dunas de una anómala barrera interna (Flor-Blanco y Flor, 2008).

Numerosos autores encuentran diferencias significativas (Pye y Tsoar, 1990) entre playas y dunas con mayor énfasis en la media, calibrado y asimetría. Globalmente, se evidencia que las playas tienen tamaños medios mayores, peores calibrados y asimetrías negativas (Giles y Pilkey, 1965; Friedman, 1967; Matias *et al.*, 2005), mientras que los porcentajes carbonatados biogénicos son mayores que los representativos de las arenas dunares, debido a que son introducidos desde sus hábitats al medio playero donde el oleaje los fragmenta y, junto con los procesos de transporte, se homogeneizan con los componentes siliciclásticos.

Las arenas medias con clasificaciones moderadas a pobres son polimodales, pueden proceder de diferentes áreas fuente o se emplazaron por diferentes modalidades de transporte/sedimentación (Ashley, 1978; Sun *et al.*, 2002). Cuando las arenas de la playa son gruesas y pobremente calibradas, las dunas asociadas tienen tamaños de grano más finos y mejores calibrados (Arens *et al.*, 2002). Para Oehmig y Michels (1993), los tamaños gruesos sugieren que el área fuente está muy próxima y el transporte es reducido por lo que los fragmentos biogénicos no pueden desintegrarse completamente.

#### *Variaciones longitudinales entre sistemas playa/dunas*

A lo largo de la costa de Cantabria en la franja expuesta al oleaje, se detectan cambios de los diferentes parámetros mucho más pronunciados en sentido longitudinal. Tamaño medio de grano, calibrado y compoente carbonatado biogénico (Fig. 4A, B y C) ilustran mejor las transiciones.

En la costa occidental, las medias de tamaños son de arena fina y algo menores al E del estuario de San Vicente de la Barquera, en la playa de Gerra. Desde esta playa, se incrementan notablemente hasta Tagle, donde son arenas medias. Algunas arenas marcan tamaños máximos en áreas cercanas a las desembocaduras estuarinas, en ambos costados, como son los casos de Tagle y Usgo, que tienen al estuario de San Martín de la Arena, al O y E, respectivamente, y el último mencionado también al O del estuario de Mogro. Desde Usgo hasta Berria, en el conjunto de playas y dunas tiende a disminuir este parámetro (mayor  $\phi$ ), que solamente se interrumpe por la influencia del estuario de Santander. Entre Berria y Sonabia, se hacen ligeramente más gruesas para decrecer finalmente hacia el extremo oriental de la región en Oriñón.

Los calibrados muestran mayores variaciones, más aún para las dunas. Desde la playa de Berellín, con clasificaciones muy buenas, la tendencia general hacia el E supone un empeoramiento, con una distribución muy irregular en este tramo, hasta alcanzar los mínimos (0,50  $\phi$ ) en el Puntal de Somo, con otros hitos cuyas cifras suponen máximos intermedios: Oyambre (0,40  $\phi$ ), La Concha y El Bocal (0,46 y 0,39  $\phi$ ).

También los porcentajes carbonatados se reparten con ciertos contrastes, pero con una tendencia generalizada a incrementarse hacia el E, solamente interrumpida por una caída brusca en relación con los estuarios de Oriñón y

Mioño. Otros descensos menos acusados se localizan coincidiendo con los estuarios de Tina Mayor, La Rabia, San Martín de la Arena, y en un tramo extenso comprendido entre los estuarios de Mogro y Asón con un incremento suave en el conjunto de las playas del Puntal de Somo y Loredó. Estos descensos son un signo indicativo de aportaciones siliciclásticas desde los sistemas fluviales, que rebajan dicho porcentaje carbonatado.

Los elevados contenidos biogénicos se detectan en las playas de Tagle y Usgo, en la costa occidental, y en Sonabia en el extremo oriental. También en las playas sin campos dunares de Mataleñas, San Julián y Brazomar (Castro Urdiales), en todos los casos muy probablemente, debido a procesos de afloramientos locales, donde la llegada de nutrientes extruidos por estuarios con amplias llanuras fanegas y marismas, que están situados al O de los mismos, incrementan la producción de los organismos que colonizan los acantilados. Los de San Julián, Sonabia y Brazomar están estrechamente vinculados al estuario del Asón, donde se desarrollan amplias superficies marismeñas, entre las que destacan las de Santoña, un espacio protegido bajo la denominación de *Parque Natural de las Marismas de Santoña, Victoria y Joyel*. Los promedios del tamaño medio son mayores en el tramo costero occidental y tienden a disminuir ligeramente hacia el E, siendo máximos en Tagle y Usgo, que coinciden con máximos carbonatados. Desde esta playa de Usgo, los tamaños disminuyen hacia el oriente de Cantabria (mínimo en Berria), incrementándose ligeramente hacia el extremo oriental, muy relacionado con los mayores porcentajes carbonatados.

Los calibrados muestran grandes contrastes, pero se mantienen dentro de la franja de buenos, mejores en el tercio costero oriental. Una tendencia sutil se detecta entre la playa occidental de Berellín, con calibrados muy buenos, por la cual empeora a cifras próximas a 0,50  $\phi$  en el Puntal de Somo, con numerosas interrupciones, donde, además, se detectan calibrados mejores en playas que los correspondientes campos dunares. Desde dicho hito hasta el extremo oriental de Cantabria, se detecta otra tendencia en sentido inverso, solamente interrumpida por un tramo costero (Joyel-Ris-Trengandín) que empeora los calibrados.

En el límite occidental, se dejan sentir los mínimos carbonatados ante las extrusiones importantes de siliciclastos estuarinos que se incrementan paulatinamente hasta Usgo, con recurrencias en los estuarios de La Rabia y San Martín de la Arena. Desde esta última playa hasta el Bocal, los porcentajes carbonatados promediados disminuyen por las aportaciones cuarzosas del Pas y seguramente también por el aludido de San Martín. Los carbonatos, desde El Bocal, experimentan un incremento suave hasta La Salvé, para incrementarse sustancialmente en el tramo costero oriental por el estuario del Asón.

Los contrastes entre los diferentes parámetros granulométricos, incluyendo el componente carbonatado, han sido ampliamente utilizados para discriminar ambientes y subambientes costeros y continentales, mezclas de sedimentos con diferentes tamaños, así como las modalidades de transporte (Folk y Ward, 1957; Friedman, 1961; Moiola y Weiser, 1968; Passega y Byramjee, 1969; Tanner, 1995).

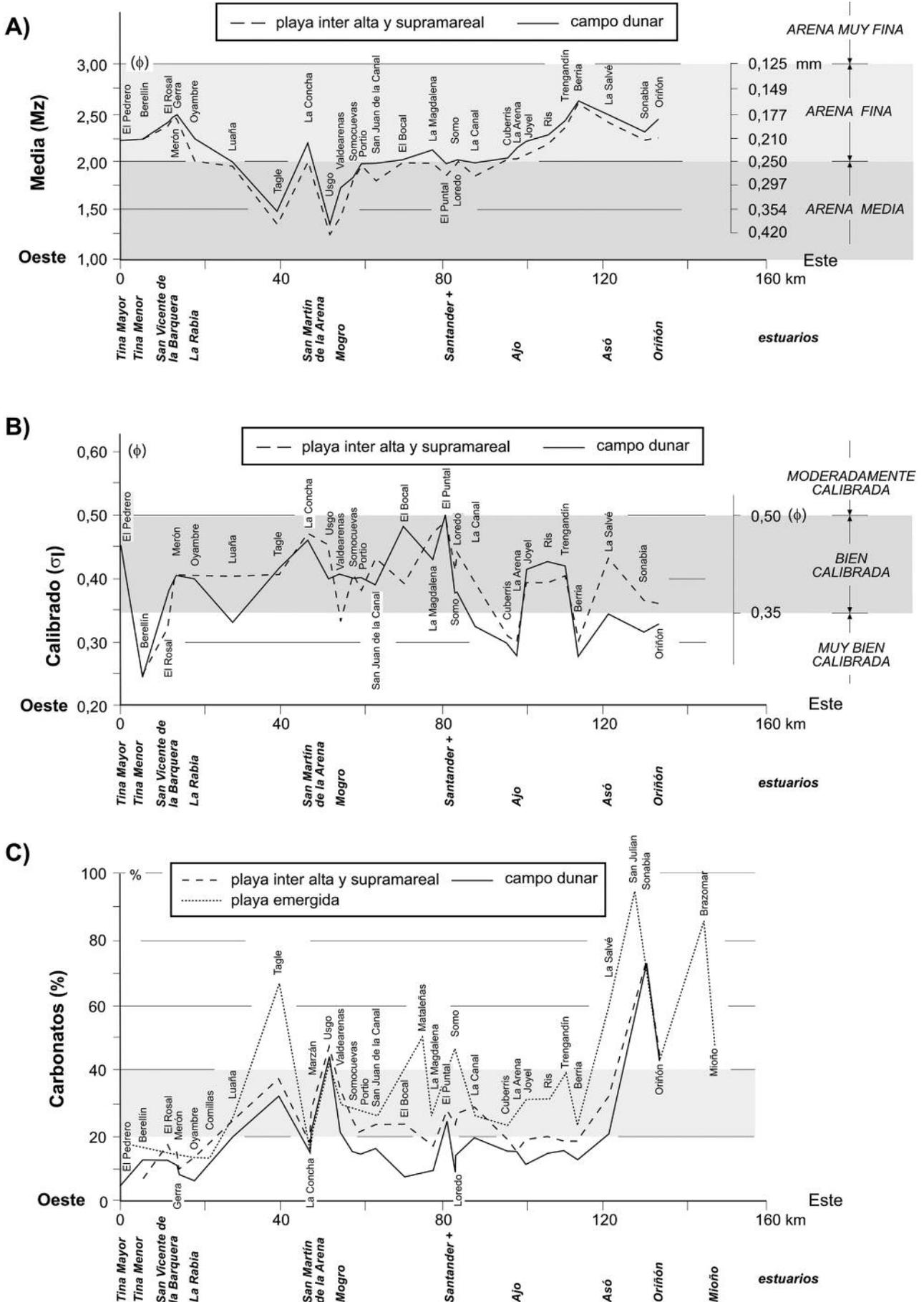


Fig. 4.- Variación espacial de los promedios de los parámetros significativos de la Media (A) y Calibrado (B), y del porcentaje carbonatado biogénico (C) de las playas y dunas de Cantabria.

Destaca la aplicación de los contrastes binarios, fundamentalmente los que enfrentan los tamaños medios con los restantes: centil, calibrado, asimetría y angulosidad. En su amplio trabajo, Folk y Ward (1957) interrelacionan los cuatro parámetros de relación, de modo que al enfrentar la Mz con el calibrado deducen nubes de puntos con trazas en V normal o invertida, sinuosas para Darryl y Textoris (1972), mientras que con la asimetría, las tendencias son sinusoidales, siendo más compleja con la angulosidad. Esta distribución se debería a mezclas de diferentes tamaños sedimentarios.

Como apuntaron Pedreros *et al.* (1996), se hacen necesarios varios parámetros granulométricos como diagnósticos para determinar el desplazamiento sedimentario. La distribución especial de las propiedades relativas al tamaño de grano es un reflejo de las respuestas del sedimento a los factores hidrodinámicos (Liu y Zarillo, 1989).

En este trabajo, se separan las distintas modalidades de transporte en función del mayor o menor tamaño medio, que representa la energía cinética media del transporte, a partir de un tamaño límite para la Mz (Flor, 2004), equivalente a la velocidad crítica de la carga de fondo y la suspensión. La distribución granulométrica de los sedimentos costeros es reveladora de los procesos de transporte, indicativos de su origen o de sus ambientes sedimentarios. Passega y Byramjee (1969) enfrentaron la Mediana y el Centil (diagramas CM) para separar diferentes tipos; en este caso se sustituye por la Media, que representa un valor más ponderado, aplicando una escala aritmética. El valor del Centil (Cs) representa el límite de transporte entre arrastre sobre el fondo y rodamiento, en términos promediados.

Se deduce el valor del Cs, como cifra límite entre los tipos de transporte de suspensión gradada con rodamiento (más gruesos del Centil =  $0,65 \varphi$ ) y suspensión y rodamiento para los más finos. La relación entre el tamaño medio de grano (Mz) y el calibrado es una herramienta buena para deducir el transporte y los procesos sedimentarios. Al confrontar la media con la asimetría se distinguen nubes de puntos a modo de ondas, que algunos autores relacionan con diferentes tipos de depósitos o facies sedimentarias fluviales (Mycielska-Dowgiallo y Ludwikowska-Kędzia, 2011), obviamente relacionados con el tipo de transporte sedimentario, como se infiere en este trabajo y en otros anteriores para playas y dunas (Flor, 1981 y 2004).

Obviamente, en una distribución granulométrica, el distinto nivel energético del transporte seleccionará los tamaños de mayor a menor, a medida que la energía disminuya desde los tractivos en sentido amplio: arrastre por el fondo, rodamiento y saltación o suspensión intermitente a los transportados en suspensión uniforme. En este caso, al enfrentar los valores promediados, los resultados son mucho más matizados que si se incluyeran la totalidad de los datos (Fig. 5).

La línea vertical, que separa las modalidades de transporte dentro de la nube de puntos (eje de la distribución), representa el tamaño medio de la velocidad crítica que marca los cambios de tendencias en ambos tipos de transporte. Dicha línea coincide con el tamaño medio de  $2,05 \varphi$

( $0,24 \text{ mm}$ ), muy próximo al límite entre arena media y fina, de modo que hacia los extremos más gruesos y finos de la distribución el calibrado empeora, mientras que las asimetrías se hacen más negativas y las angulosidades más chatas, respectivamente (Fig. 5B, C y D).

Consecuentemente, los mecanismos de transporte se reparten entre arrastre sobre el fondo y rodamiento (carga sedimentaria de fondo) para el grupo de sedimentos cuyos tamaños medios son mayores de  $2,05 \varphi$  ( $0,24 \text{ mm}$ ) y saltación y suspensión uniforme (carga en suspensión), los inferiores a esta cifra (Fig. 5B, C y D). Se han calculado los índices de regresión lineal a partir del tamaño límite de  $2,05 \varphi$  para cada contraste, resultando cifras muy bajas, indicativo de la fuerte dispersión de los datos (Tabla 3).

$r^2$	$\leq 2,05 (\varphi)$	$> 2,05 (\varphi)$
Mz- $\sigma I$	0,07	0,04
Mz-SkI	0,01	0,08
Mz-KG	0,18	0,05

**Tabla 3.-** Índices de regresión lineal ( $r^2$ ) entre los tamaños medios (Mz) promediados y el resto de parámetros de relación de las playas y dunas de Cantabria.

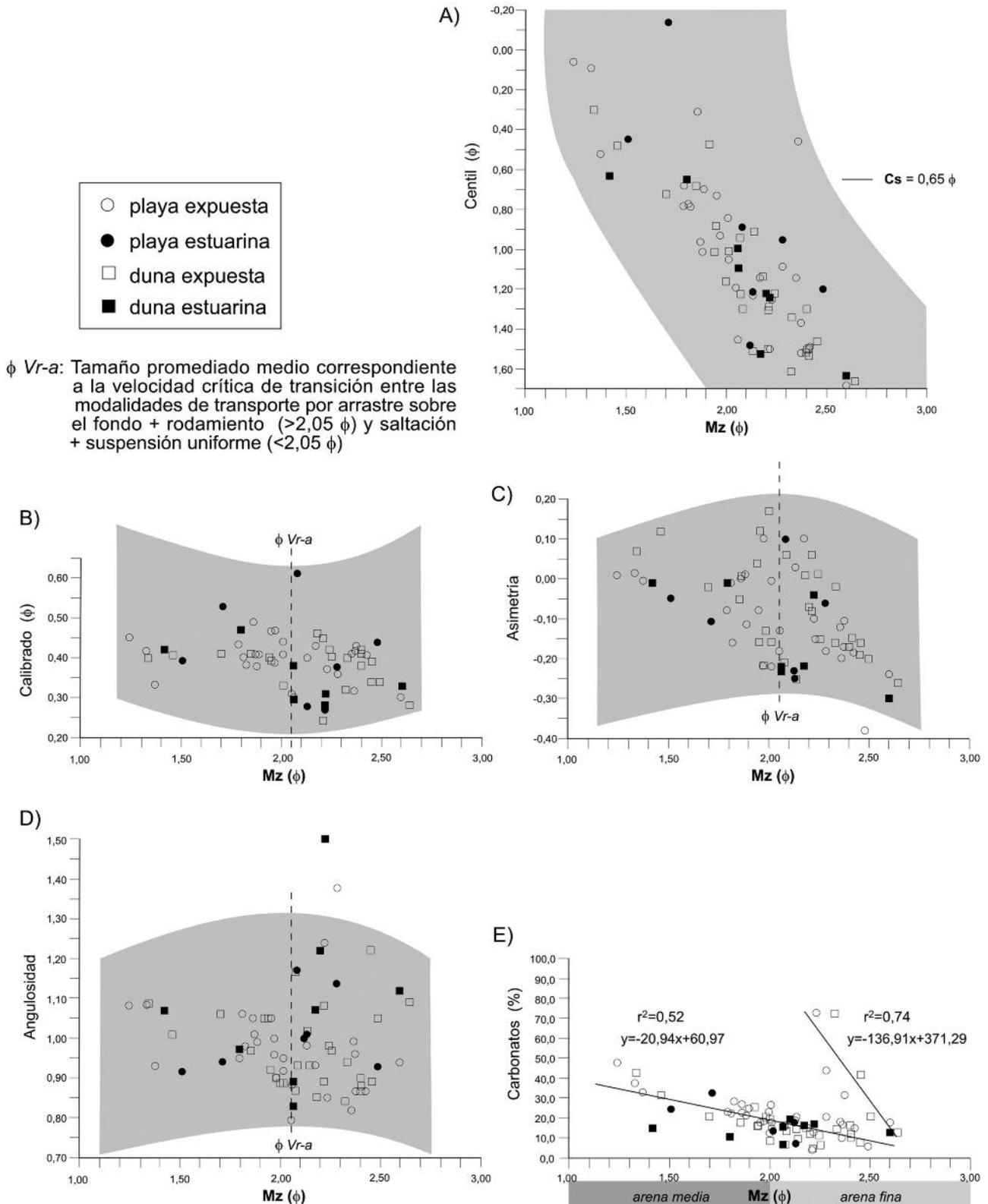
Mz-CaCO <sub>3</sub> (%)	Costa oriental	Costas central y occidental	Costa total de Cantabria
$r^2$	0,78	0,52	0,08

**Tabla 4.-** Índices de regresión lineal ( $r^2$ ) entre los tamaños medios (Mz) promediados y el porcentaje carbonatado biogénico del conjunto de playas y dunas de Cantabria.

La relación entre el tamaño medio y el porcentaje carbonatado muestra una tendencia conjunta y general por la cual a medida que se incrementa el tamaño de grano, mayor es el porcentaje carbonatado (Fig. 5E). En este caso, se han calculado los índices de regresión lineal (Tabla 4), para la costa oriental, mucho mejor que la central y occidental consideradas conjuntamente, mientras que la total ofrece valores muy bajos. Cuanto más alto es el índice de regresión (costa oriental), mejor es el grado de mezcla entre los componentes mineralógicos, en este caso con una mayor homogeneización de los siliciclásticos y biogénicos para constituir los sedimentos costeros. Por ello, cabe deducir que las costas occidental y central han tenido una intensa aportación siliciclástica por parte de los grandes ríos cordilleranos (Fig. 5C), mientras que la contribución biogénica de los acantilados ha sido relativamente escasa.

## Discusión

En muchos casos, se ha relacionado primariamente la composición de las arenas costeras, entre las más importantes, con la litología, tectónica, meteorización, transporte, y ambientes deposicionales (Johnsson, 1993). La litología debe entenderse como la existente en las áreas fuentes y no tanto donde se asientan los productos sedimentarios. Así, en la costa oriental de Asturias, donde dominan los sustra-



**Fig. 5.-** Gráficos binarios entre los tamaños medios promediados (Mz) y los restantes parámetros granulométricos (Centil: A; Calibrado: B; Asimetría: C y Angulosidad: D), incluyendo el porcentaje carbonatado biogénico (E) de las playas y dunas de Cantabria, incluyendo las estuarinas.

tos de calizas carboníferas a lo largo de unos 45 km (Flor *et al*, 1982) e incluso 10 km en la occidental de Cantabria y otros 5 km al E por calizas mesozoicas, los carbonatos biogénicos de las arenas son mínimos ya que la dependencia fundamental está relacionada con los aportes de los ríos

orientales del Sella y Bedón (Asturias), y Cares+Deva y Nansa en Cantabria (Fig. 2).

La tectónica en esta costa, además de los fenómenos compresivos que elevaron la cordillera Cantábrica, ha actuado desde el Mioceno y Plioceno caracterizado por un le-

vantamiento cortical con interrupciones prolongadas durante las que se generaron superficies de erosión continentales y rasas costeras (Flor y Peón, 2004; Flor y Flor-Blanco, 2014). Este proceso isostático de elevación ha sido el responsable de la configuración rocosa acantilada y del pronunciado encajamiento de la red fluvial.

Los numerosos ríos cortos y de gran pendiente, que drenan litologías muy variadas siliciclásticas y carbonatadas, han condicionado la formación de grandes playas arenosas y campos dunares asociados como barreras confinantes de estuarios de gran magnitud, cuya composición siliciclástica es mayoritaria o casi exclusiva. En numerosos tramos de la costa cantábrica, se ha deducido la distribución arenosa desde desembocaduras estuarinas vinculadas a ríos de cierta magnitud hacia posiciones más orientales con una mejor representación en Asturias (Flor y Flor-Blanco, 2009) y el oriente gallego (Flor y Flor-Blanco, 2011). Aunque en la actualidad muchos sistemas de playa/dunas están desconectados por sus frentes sumergidos, a lo largo del último ciclo eustático finipleistoceno-holoceno, los volúmenes arenosos se desplazarían en el sentido indicado. En la actualidad, las sucesivas avenidas de grandes ríos construyen una pluma de finos en sus proximidades, que se desvían sistemáticamente hacia el E por el efecto de Coriolis, incluso con vientos y oleajes del NE, sin que se puedan constatar aportaciones significativas de fracciones tractivas.

Los parámetros granulométricos ofrecen información sobre las dinámicas del transporte arenoso, que pueden aplicarse al aplicar modelos empíricos (Sunamura y Horikawa, 1971; McLaren y Bowles, 1985; Gao y Collins, 1994; LeRoux y Rojas, 2007). Las transiciones playa-dunas cumplen con las conclusiones generales por cuanto las playas tienen arenas de mayor tamaño, peores calibrados y asimetrías negativas, siendo superiores los carbonatos biogénicos. Por su parte, las dunares evidencian asimetrías positivas y negativas para las playas arenosas, atribuyéndose a la removilización selectiva de las partículas más finas desde la playa por el viento. Para otros, la asimetría no es ambientalmente sensible y no puede usarse para diferenciar playas y dunas.

En esta costa acantilada, los mejores parámetros que la caracterizan son el tamaño medio de grano, el calibrado y el compoete carbonatado biogénico, pero las numerosas aportaciones fluviales intercaladas y los fenómenos localizados conducentes al incremento carbonatado impiden deducir tendencias netas. No obstante, todo apunta a que el tamaño medio de grano de las arenas de playas y dunas son menores en el área oriental, mientras que, en esa misma zona, los carbonatos se incrementan por las influencias de los nutrientes de los estuarios de San Martín de la Arena, Mogro y Asón. La interrupción de las desembocaduras de los ríos en esta costa promueve incrementos importantes de siliciclásticos (Fig. 4C), tratándose del mejor indicador para establecer las áreas fuentes principales de sedimentos arenosos.

Se han postulado generalizaciones en cuanto a las tendencias de los diferentes parámetros granulométricos enfrentados, por ejemplo, al tamaño medio de grano, incrementándose el valor negativo de la asimetría con el

progresivo afinamiento de los tamaños en campos dunares (Pye, 1982).

Al aumentar el tamaño medio de grano se hace superior el porcentaje carbonatado, como dedujeron (Pilkey *et al.*, 1967), con una tendencia lineal ( $r^2$ ) mejor en los conjuntos orientales de Cantabria, donde las granulometrías medias son más finas, y relativamente buena para el resto de la costa y muy baja si se agrupan todos los datos por la fuerte dispersión entre estos conjuntos (Fig. 5E; Tabla 4).

Los tamaños medios de grano son superiores en las proximidades de las correspondientes áreas suministradoras (Oehmig y Michels, 1993; Albino y Suguio, 2011). En la costa occidental, están más condicionadas por la producción de bioclastos en segmentos acantilados (Tagle y Usgo), generada por las aportaciones de nutrientes de los estuarios, que se ubican al O y están bien desarrollados en fangos y marismas. En la oriental, los tamaños medios son de arenas finas, pero los bioclastos son máximos, solamente interrumpido este segmento por aportaciones siliciclásticas en Oriñón y Mioño (Fig. 4).

En este trabajo, se consideran las tendencias lineales de los parámetros granulométricos según la modalidad del transporte, a partir del tamaño representativo ( $2,05 \varphi = 0,24$  mm) de la velocidad crítica entre arrastre sobre el fondo y rodamiento, por un lado, y la saltación y suspensión uniforme para la carga sedimentaria más fina. Las distribuciones serían mucho más completas si se considera la totalidad de los datos, desde suspensión, saltación o suspensión gradada, rodamiento y arrastre por el fondo donde la saltación marcaría el límite entre tracción y suspensión (Flor, 1981), precisamente con la saltación que es más importante en ambientes eólicos (Bagnold, 1941).

Longitudinalmente, las transiciones son más complejas por cuanto el control fundamental está protagonizado por la posición de los ríos suministradores de fracciones arenosas en cuyas desembocaduras se incrementa la proporción de siliciclásticos, mientras que al E de estuarios con desarrollo de extensas marismas aumentan los bioclastos carbonatados (Tabla 5). Hacia la costa oriental, las arenas incrementan los carbonatos biogénicos a pesar de la intrusión siliciclástica de río Agüera, a partir de la cual no se generan dunas hasta la primera playa arenosa de La Arena (Muskiz) en Vizcaya (Fig. 4C; Tabla 5).

Siendo el límite superior de la clase de arenas finas de  $2,00 \varphi$ , las más gruesas de  $2,05 \varphi$  (0,24 mm) se transportan por tracción y las inferiores por saltación y suspensión uniforme (carga en suspensión) (Fig. 5). La correlación lineal es buena entre tamaño medio y porcentaje carbonatado (incremento de este último al aumentar el tamaño) en la costa oriental y moderado en la central y occidental.

Por tanto, la distribución textural y composición mineralógica de los sedimentos arenosos están estrechamente relacionados con las aportaciones continentales, vía sistemas fluviales, y del propio borde costero donde se introducen materiales carbonatados biogénicos procedentes de los diferentes hábitats, propios de una costa rocosa. Las proporciones relativas mayores de estos últimos son indicativas, fundamentalmente, de aportaciones de nutrientes desde los estuarios, aunque también se forman por afloramientos

## Tendencia transversal

LEYENDA	
C	Mz
$\sigma_1$	Sk <sub>1</sub>
KG	CaCO <sub>3</sub>

PLAYAS		DUNAS ASOCIADAS	
mayor	mayor	menor	menor
buena	variable	mejor	algo más negativa
indiferente	relativamente alto	algo más aguda	inferior

## Tendencia longitudinal

costa occidental	costa central	costa oriental
<b>PLAYAS</b>	<b>PLAYAS</b>	<b>PLAYAS</b>
menor	mayor	mucho menor
buena	peor	intermedia
media	media	media
menor	mayor	mucho menor
negativa	casi simétrica	negativa
bajo y alto	intermedio	intermedio y alto
<b>DUNAS ASOCIADAS</b>	<b>DUNAS ASOCIADAS</b>	<b>DUNAS ASOCIADAS</b>
aún menor	aún menor	aún menor
variable	variable	variable
algo menos negativa	algo más negativa	algo más negativa
irregular	irregular	algo más aguda
bajo y medio	bajo	bajo a alto hacia el E

**Tabla 5.-** Síntesis de las transiciones transversal (playa-duna asociada) y longitudinal en los tramos costeros occidental, central y oriental de los promedios de los parámetros granulométricos y del porcentaje carbonatado biogénico.

locales cuando la corriente costera impacta contra el borde litoral (Flor, 1977).

Los procesos ocurridos en el último ciclo eustático, fundamentalmente se materializaron en desplazamientos de las masas arenosas hacia tierra durante la transgresión finipleistocena-holocena (Flandriense, mitad del Holoceno) y los transportes de los volúmenes arenosos evacuados desde los estuarios mayores, suministradores netos de siliciclastos, experimentaron una deriva persistente hacia el E por efecto de los oleajes dominantes del NO.

## Conclusiones

En la zona estudiada, se ha constatado que las arenas playeras son medias y finas (predominantes), pasando a finas, mejor calibradas, con curvas más negativas y agudas y carbonatos biogénicos en menor proporción en los campos dunares asociados.

Las transiciones longitudinales dependen de las desembocaduras de los ríos suministradores de fracciones arenosas, donde se incrementan las arenas siliciclásticas. Por su parte, los estuarios con amplias marismas inducen incrementos notables de bioclastos carbonatados hacia el E. La combinación de ambos factores, incluyendo la irregular posición de los mismos en la costa, determina la complejidad de la distribución longitudinal.

La velocidad límite entre las modalidades del transporte por tracción: arrastre sobre el fondo y rodamiento y por suspensión: suspensión uniforme y saltación o suspensión gradada, corresponde al tamaño medio de 2,05  $\phi$  (0,24 mm).

En definitiva, el conocimiento y el estudio integral bajo las perspectivas granulométrica y composicional de los sedimentos arenosos presentes en las playas y dunas del litoral, permite obtener una visión general del origen de éstos, al igual que las pautas de transporte y sedimentación.

## Agradecimientos

Al Dr. González Morales por sus comentarios atinados y constructivos como revisor de este trabajo así como a un revisor anónimo y al Comité editorial.

## Referencias

- Albino, J. y Suguio, K. (2011): The influence of sediment grain size and composition on the morphodynamic state of mixed siliciclastic and bioclastic sand beaches in Espírito Santo State, Brazil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 12: 81-92.
- Álvarez-Marrón, J., Hetzel, R., Niedermann, S., Menéndez, R. y Marquínez, J. (2008): Origin, structure and exposure history of a wave-cut platform more than 1 Ma in age at the coast of northern Spain: A multiple cosmogenic nuclide approach. *Geomorphology*, 93: 316-334.
- APS (Autoridad Portuaria de Santander). (2012): *Derrotero del Puerto de Santander*. Ministerio de Fomento. <http://www.puertasantander.es/docDerrotero/derrotero.pdf>.
- Arens, S.M., Van Woxel, J.H. y Aboudha, J.O.Z. (2002): Changes in grain size of sand in transport over a foredune. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27: 1163-1175.
- Ashley, G.M. 1978: Interpretation of polymodal sediments. *The Journal of Geology*, 86: 411-421.

- Bagnold, R.A. (1941): *The physics of blown sand and desert dunes*. Methuen, London. 265 p.
- Blott, S.J. y Pye, K. (2001): GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1237-1248.
- Bridge, J.S. (2003): *Rivers and Floodplains: Forms, Processes and Sedimentary Record*. Blackwell Pub., Cambridge, MA. 504 p.
- Calhoun, R.S. y Field, M.E. (2001): Beach and reef-flat sediments along the south shore of Molokai, Hawaii. En: *Carbonate Beaches 2000*. (L.L. Robbins y O.T. Magoon, eds.). Key Largo, Reston, VA: ASCE: 163-171.
- CEDEX. *Estaciones de Aforo: datos de estación foronómica. Confederación Hidrográfica del Cantábrico*. Ministerios de Fomento y de Medio Ambiente. <http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/af0/estaf-datos.asp?indroea> (+ clave numérica de cada estación).
- Darryl, L.F y Textoris, D.A. (1972): Size, grain type and mineralogical relationships in recent marine calcareous beach sands. *Sedimentary Geology*, 7: 89-102.
- PDSDYC (2007): *Plan director de saneamiento, depuración y calidad de las aguas de Cantabria (2007-2010). Versión Preliminar*. Consejería de Medio Ambiente. Gobierno de Cantabria. [http://dma.medioambientecantabria.es/planes/saneamiento/Propuesta\\_Plan\\_de\\_Saneamiento.pdf](http://dma.medioambientecantabria.es/planes/saneamiento/Propuesta_Plan_de_Saneamiento.pdf).
- Ellis, D.V. (2003): Rocky shore intertidal zonation as a means of monitoring and assessing shoreline diversity recovery. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 305-307.
- Fernández García, F. y Rasilla, D. (1992): El viento en la Cornisa Cantábrica: avance de un estudio sobre los temporales del S. *Cuadernos de Sección. Historia*, 20: 271-295.
- Fernández-Valdés, J.M. (1997): *Morfología y Sedimentación de la Plataforma Continental Interna del Área Central de Asturias*. Tesis Doctoral Universidad de Oviedo. Escuela Superior de la Marina Civil. (Inédita).
- Flor, G. (1977): Los carbonatos biogénicos en los depósitos arenosos de las playas del litoral asturiano. *Breviora Geologica Asturica*, 21: 51-62.
- Flor, G. (1981): Los parámetros texturales en las playas y dunas arenosas del borde occidental del Cabo Peñas (Xagó y Verdicio, Asturias). *Boletín de la Real Sociedad. Española de Historia Natural (Geología)*, 79: 89-102.
- Flor, G. (2004): *Geología Marina*. Servitec. Oviedo. 654 p.
- Flor, G., Llera, E. Mª y Ortea, J. A. (1982): Los carbonatos biogénicos de los sedimentos de las playas arenosas de Asturias y Cantabria: su origen y significado dinámico. *Cuadernos del CRINAS*, 2. 77 p.
- Flor, G., Ortea, J.A. y Rodríguez Palacio, Mª J. (1998): El componente bioclástico en el sedimento arenoso en el complejo estuarino de Villaviciosa (Asturias, NO de España). *Trabajos de Geología*, 20: 129-156.
- Flor, G. Carriedo Veci, J. y Martínez Cedrún, P. (2006): Aspectos morfológicos y sedimentarios de los campos dunares de la costa de Noja (Cantabria). En: *IX Reunión Nacional de Geomorfología* (A. Pérez Alberti y J. López Bedoya, eds.). Comunicaciones, 1: 361-373.
- Flor, G. y Flor-Blanco, G. (2009): *Aspectos morfológicos, dinámicos y sedimentarios del sector costero: desembocadura del Nalón-playa de Bañugues. Problemática ambiental*. Guía de campo. 6º Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico. 61 p.
- Flor, G. y Flor-Blanco, G. (2011): *La influencia humana sobre las playas y estuarios de Galicia oriental y Asturias occidental*. Geolodía11 Galicia-Asturias. Sociedad Geológica de España. 45 p.
- Flor, G. y Flor-Blanco, G. (2014): *Raised beaches in the Cantabrian coast*. En: *Landscapes and Landforms of Spain* (F. Gutiérrez y M. Gutiérrez, eds). Springer, 239-248.
- Flor, G. y Peón, A. (2004): Rasas y superficies de erosión continental en el relieve alpídico del noroeste peninsular y los depósitos terciarios. En: *Geomorfología del NW de la Península Ibérica* (M.A. Araújo y A. Gomes, eds.). Faculdade de Letras. Univ. Porto, 13-31.
- Flor, G., Llera, E. Mª y Ortea, J. A. (1982): Los carbonatos biogénicos de los sedimentos de las playas arenosas de Asturias y Cantabria: su origen y significado dinámico. *Cuadernos del CRINAS*, 2. 77 p.
- Flor, G., Martínez Cedrún, P. y Flor-Blanco, G. (2011): Los campos dunares de Asturias, Cantabria y País Vasco. En: *Las dunas en España* (E. Sanjaume y F.J. Gracia, eds.). Sociedad Española de Geomorfología, 127-159.
- Flor-Blanco, G. y Flor, G. (2008). Aspectos dinámicos y morfo-sedimentarios del estuario de Tina Menor (Occidente de Cantabria, NO de España). *Trabajos de Geología*, 28: 41-68.
- Folk, R.L. y Ward, W.C. (1957): Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal Sedimentary Petrology*, 27: 3-26.
- Friedman, G.M. (1961): Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *Journal Sedimentary Petrology*, 33: 514-529.
- Friedman, G.M. (1967): Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *Journal Sedimentary Petrology*, 37: 327-354.
- Gao, S. y Collins, M.B. (1994): Analysis of grain size trends, for defining sediment transport pathways in marine environments. *Journal of Coastal Research*, 10: 70-78.
- García García, A.I., Otero Gómez, S. y Tordesillas Gómez, E. (2010): *Patrimonio litoral de Cantabria. Guía del intermareal. Algas-Invertebrados*. ACEM Santander. 117 p. [www.estudiosmarinos.com](http://www.estudiosmarinos.com).
- Geomytsa (1992): *Estudio Geofísico de la Costa de Cantabria*. Escala 1/25.000 (5 Planos). Dirección General de Costas del MOPT. Madrid.
- Giles, R. T. y Pilkey, O. H. (1965): Atlantic beach and dune sediments of the southern United States. *Journal of Sedimentary Research*, 35: 900-910.
- Iglesias, G. y Carballo, R. (2010): Wave energy and nearshore hot spot: The case of the SE Bay of Biscay. *Renewable Energy*, 35: 2490-2500.
- Larson, M. y Kraus, N.C. (2000): Representation of non erodible (hard) bottom in beach profile change modeling. *Journal of Coastal Research*, 16: 1-14.
- Le Roux, J.P. y Rojas, E.M. (2007): Sediment transport patterns determined from grain-size parameters: overview and state of the art. *Sedimentary Geology*, 202: 473-488.
- Liu, J.T. y Zarillo, G.A. (1989): Distribution of grain sizes across a transgressive shoreface. *Marine Geology*, 87: 121-136.
- Losada, M.Á. Medina, R. Vidal, C. y Roldán, A. (1991): Historical evolution and morphological analysis of "El Puntal" spit, Santander (Spain). *Journal of Coastal Research*, 7: 711-722.
- Martínez Cedrún, P. (2008): *Caracterización morfológica y sedimentológica de los campos dunares de Cantabria*. Evolución ambiental. Tesis Doctoral Univ. de Oviedo. (Inédita).
- Martínez-Cedrún, P. y Flor, G. (2008): Rasgos morfológicos y sedimentarios del campo dunar de Liencres (Cantabria). En: *Trabajos de Geomorfología en España, 2006-2008*. (J. Benavente,

- y F.J. Gracia, eds). *X Reunión Nacional de Geomorfología*. Comunicaciones, 1: 275-278.
- Matias, A., Ferreira, Ó, Mendes, I., Dias, J.A. y Vila-Consejo, A. (2005): Artificial construction of dunes in the south of Portugal. *Journal of Coastal Research*, 21: 472-481.
- McLaren, P. y Bowles, D. (1985): The effects of sediment transport on grain size distributions. *Journal Sedimentary Petrology*, 55: 457-470.
- Medellín, G., Falqués, A., Medina, R. y González, M. (2009): Coastline sand wave son a low-energy beach at El Puntal spit, Spain: Linear stability analysis. *Journal Geophysical Research*, 114, C03022: 1-13.
- Medina, R., Losada, I., Losada, M.A. y Vidal, C. (1995): Variabilidad de los perfiles de playa: forma y distribución granulométrica. *Ingeniería del Agua* (nº extraordinario), 2: 133-142.
- Merefield, J.R. (1984): Modern cool-water beach sands of south-west England. *Journal Sedimentary Petrology*, 54: 413-424.
- Moiola, R.J. y Weiser, D. (1968): Textural parameters: an evaluation. *Journal Sedimentary Petrology*, 38: 45-53.
- Mycielska-Dowgiallo, E. y Ludwikowska-Kędzia, M. (2011): Alternative interpretations of grain-size data from Quaternary deposits. *Geologos*, 17: 189-203.
- Oehmig, R. y Michels, K. H. (1993): The isolation of settling velocity fractions of sand-size material: new possibilities for the settling tube technique. *Journal Sedimentary Research*, A64: 687-689.
- Passega, R. y Byramjee, R. (1969): Grain size image of clastic deposits. *Sedimentology*, 13: 233-252.
- Pedreiros, R., Howa, H.L. y Michel, D. (1996): Application of grain size trend analysis for the determination of sediment transport pathways in intertidal areas. *Marine Geology*, 135: 35-49.
- Pilkey, O. H., Morton, R. W. y Luternauer, J. (1967): The carbonate fraction of beach and dune sands. *Sedimentology*, 8: 311-327.
- Pinazo Ojer, J. M<sup>a</sup> (2010): *Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto*. Serie "Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización". IDAE. Madrid. 125 p.
- Pye, K. (1982): Negatively skewed aeolian sands from a humid tropical coastal dunefield, northern Australia. *Sedimentary Geology*, 31: 249-266.
- Pye K. y Tsoar H. (1990): *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Unwin Hyman, London. 396 p.
- Rasilla, D., García Codrón, J.C. y Hernández Gimena, A. (2004): Las mareas atmosféricas en la costa norte de la península Ibérica. En: *El Clima entre el Mar y la Montaña* (J.C. García Codrón, C. Diego Liaño, P. Fernández Arróyabe, C. Garmendia Pedraja y D. Rasilla Álvarez, eds.). Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria (Santander). Serie A, 4: 135-144.
- Ruiz-Villarreal, M., González-Pola, C., Díaz del Río, G., Lavín, A., Otero, P., Piedracoba, S y Cabanas, J.M. (2006): Oceanographic conditions in North and Northwest Iberia and their influence on the *Prestige* oil spill. *Marine Pollution Bulletin*, 53: 220-238.
- Storlazzi, C.D. y Field, M.E. (2000): Sediment distribution and transport along a rocky, embayed coast: Monterey Peninsula and Carmel Bay, California. *Marine Geology*, 170: 289-316.
- Sunamura, T. y Horikawa, K. (1971): Predominant direction of littoral transport along Kujyukuri Beach, Japan. *Coastal Engineering of Japan*, 14: 107-117.
- Tait, J.F. y Revenaugh, J. (1998): Source-transport inversion: An application of geophysical inverse theory to sediment transport in Monterey Bay, California. *Journal Geophysical Research*, 103, NO. C1: 1275-1283.
- Tanner, W. F. (1995): *Environmental Clastic Granulometry*. Florida Geological Survey. Special Publication, 40. Compilado por J.H. Balsillie. Lecture Notes. 144 p.
- Trindade, J. y Ramos-Pereira, A. (2009): Sediment textural distribution on beach profiles in a rocky coast (Estremadura-Portugal). *Journal of Coastal Research*, SI 56: 138-142.
- Voulgaris, G. y Collins, M.B. (2000): Sediment resuspension on beaches: response to breaking waves. *Marine Geology*, 167: 167-187.

MANUSCRITO RECIBIDO EL 14-01-2014

RECIBIDA LA REVISIÓN EL 5-09-2014

ACEPTADO EL MANUSCRITO REVISADO EL 23-09-2014

