

# ASPECTOS MORFOLOGICOS, DINAMICOS Y SEDIMENTOLOGICOS DEL ESTUARIO DEL NALON (ASTURIAS, NOROESTE DE ESPAÑA)

G. FLOR, R. CABRERA CEÑAL, M. SUAREZ GONZALEZ Y M. A. IGLESIAS ORTEGA

TRABAJOS DE  
GEOLOGIA



Flor, G.; Cabrera Ceñal, R.; Suárez González, M. e Iglesias Ortega, M. A. Aspectos morfológicos, dinámicos y sedimentológicos del estuario del Nalón (Asturias, noroeste de España). *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 20, 3-37.

En este estuario somero y meandriforme, las mezclas de aguas fluviales y marinas determinan tipos verticalmente homogéneos, más frecuentemente, en que las ondas mareales siguen una evolución sincrónica. Se estudian las características dinámicas al objeto de establecer el esquema de circulación general del estuario, destacando el papel preponderante de los procesos fluviales; durante la mayor parte del ciclo mareal, el flujo de agua marina entrante se produce por el borde occidental y el agua de mezcla tiende a salir por el oriental. A gran escala, la zonación geomorfológica longitudinal de este estuario confinado por una barrera arenosa se articula en cuatro grandes sectores, que desde la influencia marina a la fluvial son: complejo de desembocadura, bahía arenosa, llanuras fangosas y canal meandriforme superior. Para la playa externa y oleajes del NO (dominantes), se ha deducido la posición de las corrientes de resaca actuantes en los extremos de la playa y la deriva playera constante hacia el E. La sedimentación de este estuario está dominado por la dinámica fluvial, reducida al sistema de playa/dunas costeras, canal principal (representado por el lecho sumergido y las barras longitudinales y de meandro), llanura mareal y llanuras halofíticas testimoniales. La distribución sedimentaria superficial, representada por los parámetros granulométricos, muestra las variaciones entre los ambientes sedimentarios principales aludidos; tamaños gruesos en el canal principal que disminuyen en playas, llanura arenosa y dunas en este orden; peores clasificaciones en las llanuras arenosa y fósil y en el canal principal, mejorando en las playas y más en las dunas; cifras negativas son propias de los ambientes más energéticos (aportación fluvial y barras fluviomareales), pasando a positivas hacia las dunas eólicas; la agudeza de las curvas varía muy irregularmente. Se enfrenta la media a los restantes parámetros para deducir los mecanismos de transporte dominantes: transporte por suspensión gradada con algo de rodamiento en los tamaños menores de 0,00  $\phi$  (CS= 1 mm), el de rodamiento con algo de suspensión gradada entre 1 mm y 2,83 mm (-1,50  $\phi$ ) y arrastre sobre el fondo para las fracciones superiores; el punto de inflexión se sitúa en 1,90  $\phi$  (0,27 mm), en que los tamaños mayores toman peores clasificaciones y asimetrías por encima del cero (suspensión intermitente), mientras que los tamaños inferiores a 1,90  $\phi$  se transportan por suspensión uniforme.

*Palabras clave:* Estuario, dinámica, morfología, sedimentación, NO España.

This shallow, narrow, and meandering estuary develops prevailing vertically homogeneous and synchronic dynamic types. Circulation patterns that allow to establish the general scheme, with an important role of fluvial processes, are studied; during the most tidal cycle, flood currents enter by the western side and ebb flux is extruded by the eastern side. Longitudinal morphologic zonation in this shallow barrier-confined estuary consists of four units: mouth complex (sandy shoal, beach/colian dune system and inlet), sandy bay (main channel and tidal flats), mud flats (main channel, marsh and tidal creeks) and upper meandering channel. Exposed beach, for dominant NW fetchs, is affected by two rip currents and eastward longshore currents. The estuarine sedimentation is controlled by fluvial processes, and its is reduced to the beach/eolian dune system, main channel (submerged channel and longitudinal and point bars), tidal flat and marshes mostly reclaimed. Surficial sedimentary distribution is represented by textural parameters; coarser sand sizes occur in the main channel, decreasing to the beache,

sand flats and eolian dunes; poor sorting is represented in the sand flats, fossil marsh and main channel, growing better in beach and eolian dunes; negative curves are typical of more energetic environments (fluvial contribution and tidal bars), evolving to positive ones towards the eolian dunes; the kurtosis changes irregularly. Plots of medium grain size against the other textural parameters facilitates to infer several sedimentary mechanisms of transport: graded suspension with subordinate rolling for grain sizes finer than  $0.00 \phi$  ( $CS=1 \text{ mm}$ ), rolling with subordinate graded suspension for grain sizes between  $1 \text{ mm}$  and  $2.83 \text{ mm}$  ( $-1.50 \phi$ ), and rolling for coarse grain sizes;  $1.90 \phi$  ( $0.27 \text{ mm}$ ) is the truncation point, so that the coarser grain sizes show the worst and positive skewness (intermittent suspension), while grain sizes finer than  $1.90 \phi$  are transported by uniform suspension.

*Key words: Estuary, dynamics, morphology, sedimentation, NW Spain.*

*Germán Flor, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, 33005 Oviedo. Manuscrito recibido el 11 de junio de 1994; revisado el 14 de noviembre de 1994.*

## INTRODUCCION

El estudio sobre estuarios actuales ha tomado un impulso notable desde la década de los ochenta, apareciendo aportaciones capitales que están sentando las bases para su mejor comprensión geológica. Una dedicación especial se ha centrado en estudios dinámicos, geomorfológicos y sedimentológicos, tanto en la caracterización de ambientes superficiales, siempre muy escasos, como en las secuencias de relleno. Por nuestra parte, desde los primeros trabajos de Vázquez Argüelles (1974), hemos desarrollado una metodología adecuada al tamaño de los estuarios cantábricos para el estudio de la dinámica (ondas mareales y salinas, velocidades y sentidos de corrientes y esquemas de circulación) y sedimentación superficial (granulometrías, composición y definición de los ambientes y subambientes superficiales), correlacionando tales procesos con los productos sedimentarios (Encinar y Flor, 1983; Flor y Cambor, 1990; Flor *et al.*, 1992).

En este trabajo, se aborda el estudio de los sistemas morfodinámicos y sedimentarios ligados al estuario del Nalón, incluyendo las playas arenosas (Los Quebrantos o de San Juan de La Arena) y sistemas dunares asociados y próximos (Bayas). En el caso de la playa de Los Quebrantos, se pretende establecer la distribu-

ción sedimentaria superficial de los depósitos que contienen y la dinámica general en condiciones de calma o con perfiles de equilibrio. Para las dunas, precisar la tipología morfológica y las características sedimentarias en superficie.

Por lo que respecta al estuario del Nalón, los objetivos perseguidos se concretan en determinar los esquemas de las mezclas de agua y los sistemas de circulación más frecuentes, a lo largo de un ciclo mareal. Se propone la zonación morfológica estuarina a gran escala y se definen las unidades morfosedimentarias principales. Por otra parte, se pretende conocer la distribución sedimentaria superficial de los depósitos más móviles, como son las fracciones arenosas, y su correlación con la dinámica (sistemas de corrientes principales en un ciclo mareal) en el estuario. Se completa con el análisis de muestras arenosas fluviales hasta el límite superior de acción de la onda mareal para determinar su influencia sedimentaria sobre el estuario.

## SITUACION Y RELIEVE

El estuario del Nalón se encuentra en el área centro-occidental de Asturias (Fig. 1), dentro de un relieve moderado, cuyas alturas no sobrepasan los  $400 \text{ m}$ . Está dominado por planicies cos-

terras: *rasas*, que enlazan hacia el S con sierras (acantilados antiguos), adoptando en conjunto una alineación E-O. El encajamiento de la red

fluvial del Nalón ha permitido una incisión del estuario perpendicular, con una dirección N-S, que se abre dentro de una costa acantilada.

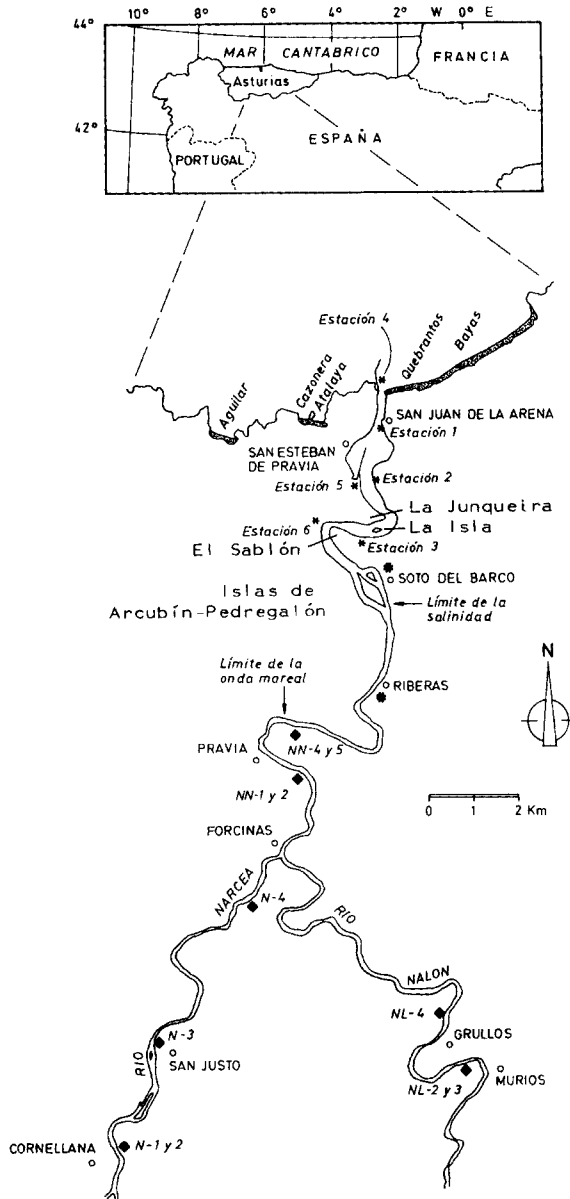


Fig. 1.- Esquema de situación del estuario del Nalón en el área centro occidental de Asturias (NO de España). Se incluyen los puntos de recogida de las muestras arenosas (◆) en los tramos bajos de los ríos Narcea y Nalón, así como las estaciones de fijas (\*) de tomas de datos físicos (onda mareal, salinidades y velocidades y sentidos de corriente) en el estuario. Estación 1: San Juan (muelle); estación 2: N del Castillo de San Martín; estación 3: Soto del Barco (puente); estación 4: San Esteban (espigón); estación 5: San Esteban (desguace); y estación 6: recodo de El Sablón.

En esta zona, se diferencian tres niveles de rasas de acuerdo con la altitud: entre 90-140 m, 160-180 m y 200-220 m (Fig. 2). Hacia el S, reposan unos 6 m de sedimentos fluviales sobre este último arrasamiento (Flor, 1983 a; Flor, 1989). En el margen izquierdo del estuario, se identifican tres niveles de terrazas fluviales: 7 m, 55 m y entre 70 y 80 m, esta última correlacionable con un estacionamiento del nivel del mar (Mary, 1979 y 1983).

La cuenca hidrográfica del río Nalón comprende dos grandes subcuencas, la del Nalón

como colector principal y la del Narcea, que confluyen a menos de 1 km aguas arriba de la influencia mareal. De acuerdo con Fernández Martínez (1989), la cuenca Nalón-Narcea drena 4.827 km<sup>2</sup> (46,01% de la superficie asturiana); el Nalón tiene una longitud de cuenca de 145 km, mientras que el Narcea de 123 km. Los estiajes son propios del verano, siendo mínimos en julio, agosto y septiembre, pudiéndose extender a los meses siguientes. Por el contrario, las avenidas se alcanzan en diciembre, enero, febrero, mayo y abril, siendo mayores en febrero.

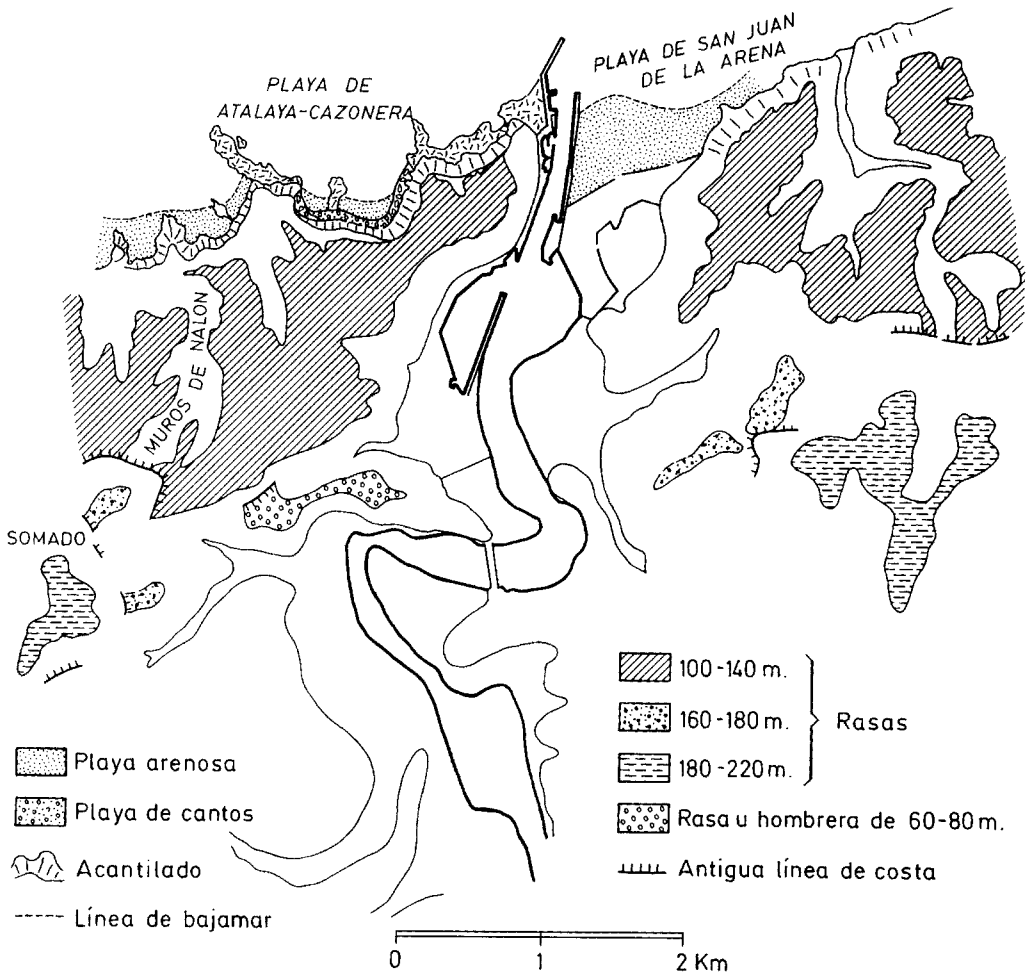


Fig. 2.- Distribución de las diferentes superficies de rasas en el entorno del estuario del Nalón en el que se destacan alguno de los tramos en que se conserva la antigua línea de costa (borde acantilado antiguo). El nivel de la rasa superior en este área contiene depósitos aluviales. El contorno del estuario activo queda marcado con trazado grueso continuo.

GEOLOGIA

El estuario del Nalón se encuentra en el límite de dos zonas geológicas: al E, se extiende la Zona Cantábrica y, al O, la Zona Asturoccidental-leonesa. Ambas están separadas por una superficie de cabalgamiento (NE-SO) situada en la parte central del playón de Bayas, que cruza el estuario en diferentes puntos y es desplazada por fallas ONO-ESE (Aller *et al.*, 1989).

El sustrato rocoso de los márgenes septentrionales y de la parte media occidental está constituido por areniscas feldespáticas con numerosas vetas de recristalización de la Formación Cándana (Cámbrico). En el área comprendida entre los meandros estuarinos, afloran areniscas ferruginosas y limolitas de tonos rojizos del tránsito Silúrico-Devónico (Areniscas de Furada) y desde estas zonas hacia el S, en ambas márgenes, materiales del Complejo de Rañeces: limolitas, calizas y dolomías, y margas, frecuentemente fosilíferas. La alineación del es-

tuario, cuyo eje toma una componente prácticamente N-S, corta oblicuamente las estructuras, tanto tectónicas (E-SO y ONO-ESE) como estratigráficas (NE-SO) (Fig. 3).

METODOLOGIA

Los estudios sobre la dinámica estuarina se separan según se pretenda conocer la influencia de las ondas mareal y salina y las mezclas de agua. Se seleccionaron situaciones con mareas vivas y medias y caudales fluviales de estiaje, que permitieran extrapolar cualquier circunstancia extrema. Para ello, se establecieron 6 estaciones fijas de muestreo (Fig. 1) con el registro simultáneo de las ondas mareales, ondas salinas y velocidades y sentidos de las corrientes de las masas de aguas, a lo largo de un período algo menor (unas 10 horas consecutivas) a un ciclo mareal completo (tiempo entre dos mareas sucesivas: aproximadamente, 12 horas y 40 minutos). Se controlaron cada 15 minutos con medi-

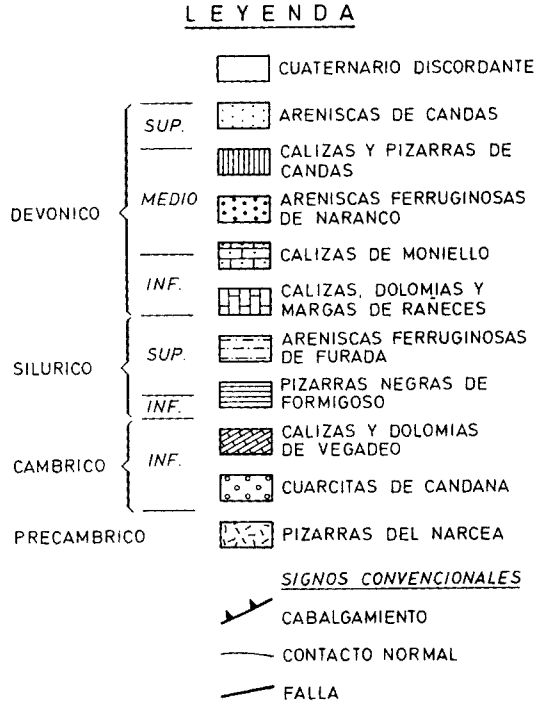
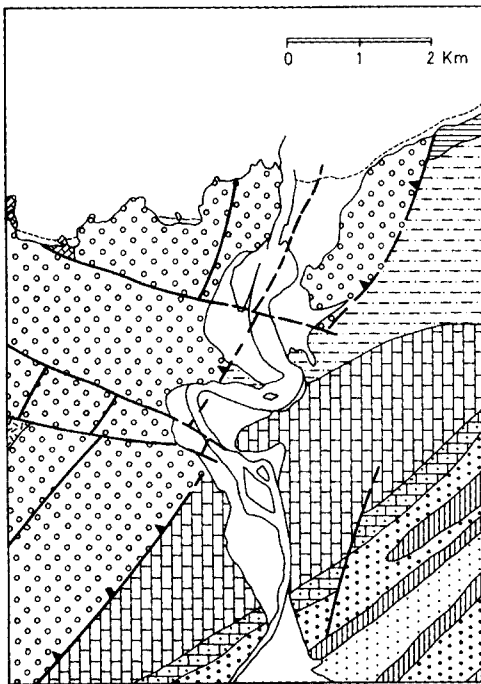


Fig. 3.- Esquema geológico de los alrededores del estuario del Nalón (tomado de Aller *et al.*, 1989).

ciones efectuadas en el mismo día o en dos días sucesivos.

Las mezclas de agua se registraron en la vertical de la columna de agua, en una embarcación a motor, según una serie de puntos de toma en transectos transversales durante al menos un ciclo mareal; generalmente, tres controles por transecto y numerosas tomas de datos en función de su variabilidad y de la profundidad del agua. Se tomaron varios tipos de datos: salinidad, velocidad y sentido de la corriente y profundidad de cada uno de ellos.

La toma de muestras arenosas se efectuó de forma diversa, dependiendo de la zona. En la playa de Los Quebrantos, se practicaron seis perfiles perpendiculares al agua separados entre sí por una distancia de 100 m, recogiendo las muestras superficiales, representativas de condiciones de calma de oleaje del NO, excepto el más occidental que se encuentra a 50 m del más próximo, con recogida cada 25 m, con un total de 35 muestras. En la duna, se tomaron 52 muestras superficiales separadas entre sí 25 m, en áreas representativas de crestas y surcos, siguiendo cinco perfiles perpendiculares a la línea del agua y, en las dunas antiguas dentro del área urbana, aisladamente donde se conservaban «in situ» arenas eólicas. Se han incluido los datos elaborados por Bercial (1989) para el playón de Bayas.

Los muestreos sedimentológicos en el estuario se centraron sobre granulometrías arenosas, mayoritarias en el conjunto (alrededor del 90% del total), mientras que los fangos se restringen al 9% (fundamentalmente en la ensenada de San Esteban de Pravia) y tan sólo cantos y gravas alcanzan el 1% (en áreas de la cola y dispersas por el canal). Se tomaron un total de 66 muestras arenosas distribuidas por todo el estuario (lecho del canal: 34; barras longitudinales: 14; barras de meandro: 13; llanura mareal: 7 y llanura aluvial inactiva: 2).

En el estuario, la mayor parte de las muestras se recogió con una draga tipo Petersen sobre una embarcación, determinándose el tipo de fondo y su profundidad en el momento de la

operación. En las barras de meandro, barras longitudinales, llanuras de marea y en ciertos márgenes, se tomó la muestra directamente sobre las superficies emergidas al objeto de detallar la distribución de tamaños y de las estructuras sedimentarias superficiales.

Se partió de 100 gramos de muestra arenosa lavada, tamizándose a intervalos de 0,50  $\phi$ . Se obtuvieron las curvas acumuladas en papel probabilístico y se calcularon los parámetros granulométricos de rango y de relación: media (Mz), clasificación ( $\sigma_1$ ), asimetría ( $Sk_1$ ) y angulosidad ( $K_G$ ) de Folk y Ward (1957).

Se confeccionaron planos de parámetros granulométricos para inferir la dinámica sedimentaria. Se enfrentaron los diferentes parámetros granulométricos: centil, clasificación, asimetría y angulosidad con la media, al objeto de definir las modalidades de transporte de las poblaciones sedimentarias y el tamaño límite entre cada una de ellas (velocidad crítica), determinando, cualitativamente, el ajuste entre las nubes de puntos.

La correlación entre los agentes dinámicos en cada caso y la distribución sedimentaria se llevó a cabo siguiendo los criterios de Flor (1979) para playas arenosas del cabo de Peñas (Asturias), y de Encinar y Flor (1983), Flor y Cambor (1990) para estuarios. Se basa en las distribuciones de los diferentes parámetros granulométricos e incluyendo en algunos casos el componente carbonatado como parámetro dinámico, representados en mapas de isolíneas y considerando, además, las estructuras sedimentarias mayores en playas o las grandes unidades morfodinámicas en estuarios. Dado que el componente carbonatado es inferior al 1% (Flor, 1977), no se tiene en cuenta para los estudios sedimentológicos.

Para calcular el volumen mareal que entra al estuario en un ciclo mareal se llevó a cabo una planimetría de las superficies activas sobre la fotografía aérea (1/33.000, vuelo americano del 9-X-1956). Como referencia se construyó la onda mareal teórica para cada día de muestreo (predicción mareal) a partir de las tablas de marea del Servicio de Puertos de Asturias.

## ASPECTOS DINAMICOS

La dinámica sedimentaria del campo dunar depende mayoritariamente de la acción de los componentes de viento, aunque está condicionada por el anclaje vegetal y la humedad ambiental. Los reinantes proceden del NO, siguiéndoles los del NE, que son más intensos, y los del O, E y N. Los del SO, con ser importantes, únicamente remobilizan las arenas dunares influyendo escasamente en la sedimentación final.

En playas, son los oleajes los principales responsables de los movimientos sedimentarios. Los oleajes dominantes durante todo el año en el Mar Cantábrico son del NO, tanto de calma como de tormenta, mientras que los del NE, que se instalan en condiciones anticiclónicas, son propios del verano (Flor, 1979). Las alturas medias son de 1 m y períodos de 8 a 20 segundos, llegando los de tormentas (componente N) a 4 m (Losada *et al.*, 1989). Los oleajes de calma provocan una recuperación de la sedimentación, llegando a diferenciarse las áreas de talud intermareal y terraza de bajamar y reconstruyéndose las barras de vaivén («swash»). Los de tormenta erosionan fuertemente la parte alta de las playas e incluso de los frentes dunares; actúan du-

rante unas pocas horas, pero sus efectos se dejan sentir durante períodos prolongados.

La dinámica estuarina está regida por los efectos fluviales y mareales, fundamentalmente. De acuerdo con las estaciones de aforo de la Confederación Hidrográfica del Norte (Dirección General de Obras Hidráulicas, 1976), el Nalón, en el curso bajo, tiene un caudal absoluto medio anual de 56,54 m<sup>3</sup>/s y un caudal específico de 20,91 l/s/km<sup>2</sup>, mientras que el Narcea drena 42,41 m<sup>3</sup>/s, con un caudal específico de 25,17 l/s/km<sup>2</sup>; en la confluencia de ambos, las cifras son de 80,73 m<sup>3</sup>/s y 16,95 l/s/km<sup>2</sup>, respectivamente (Tabla I; Fernández Martínez, 1989). En el Nalón, los caudales máximo y medio se refieren a los 44 años de aforo, mientras que los mínimos únicamente para el período 1970-71 y en el Narcea a un total de 12 años.

Las mareas son semidiurnas, variando de acuerdo con Davies (1964) de micromareales (rango mareal alrededor de 1,0 m) a mesomareales (máximos de 4,20 m), en lo que a rangos o amplitudes se refiere. Durante 267 días (73,13% del año), el estuario se encuentra sometido a mareas con un rango superior a los 2 m, mientras que los 98 días restantes (26,87%) representan mareas inferiores a esa cifra. Siguiendo los criterios de Hayes (1975), se puede

TABLA I. Caudales fluviales en las estaciones de aforo de los ríos que drenan al estuario del Nalón

RIO	Aforo	Períodos	Q <sub>máx</sub> /día	Q <sub>mín</sub> /día	Q <sub>medio</sub> /año
NARCEA	Cornellana	1972-73 1981-82 (10 años)	(m <sup>3</sup> /seg) 475,00	(m <sup>3</sup> /seg) 0,36	(m <sup>3</sup> /seg) 43,41
CUBIA	Grado	1970-71, 1973-74, 1979-80 y 1981-82 (7 años)	94,50	0,27	4,93
NALON	Peñaflor	1912-13 a 1930-31; 1943-44 a 1956-57; 1958-59 a 1966-67; 1969-70 a 1970-71 (44 años)	1.250,00	3,40	56,40

considerar como un estuario *mesomareal*. La onda mareal se amortigua aguas arriba, llegando las máximas registradas hasta el molino de Bances (N de Pravia) y las mareas muertas hasta el recodo de El Castro (Fig. 1), siendo menor su avance cuando aumenta la descarga fluvial.

Es a partir del control de las ondas mareal y salina, así como de las mezclas de aguas, mediante los registros de salinidad y de la velocidad y sentido de las corrientes en toda la columna de agua, que se puede tener un conocimiento preciso de la dinámica estuarina. Para determinar el comportamiento general del estuario, se calcula la relación entre los caudales fluviales y mareales ( $Q_F/Q_M$ ). De esta forma, se conocerá la influencia de cada una de las masas de agua que se deberán mezclar en el ámbito estuarino y su asimilación a alguno de los tipos dinámicos propuestos por Pritchard (1955), estableciéndose los tipos principales de estructura dinámica.

Los caudales máximo y mínimo diario que puede entrar en el estuario del Nalón, sumando los caudales medios anuales de cada uno de los afloros en los tres ríos citados (Tabla I), son de

1.819,50 m<sup>3</sup>/s y 4,03 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. El caudal medio anual es de 105,74 m<sup>3</sup>/s. Para un ciclo mareal completo, los caudales máximo, mínimo y medio son, respectivamente: 82.969.200 m<sup>3</sup>/12 h 40', 183.768 m<sup>3</sup>/12 h 40' y 4.821.744 m<sup>3</sup>/12 h 40'. Los caudales mareales, correspondiente a mareas vivas y muertas, son, en el primer caso, de 6.907.641 m<sup>3</sup>, mientras que en el segundo se limita a 4.201.155 m<sup>3</sup>. En mareas medias, el caudal es de 5.554.398 m<sup>3</sup>.

Si se contrastan los caudales fluviales y mareales ( $Q_F/Q_M$ ), deberán tenerse en cuenta los caudales máximos, mínimos y medios del río Nalón al introducirse en el estuario y los caudales mareales en mareas vivas, muertas y medias (Tabla II).

De acuerdo con los criterios de Simmons (1955) y Silvester (1974), se deduce que el comportamiento de este estuario oscila entre los dos extremos posibles: circulación con una estratificación horizontal o en cuña salina y estuario del tipo verticalmente homogéneo o de mezcla total. Comoquiera que las condiciones de caudal de estiaje son las más frecuentes a lo largo del año, la oscilación mareal permite que también se repitan

TABLA II. Relaciones entre los caudales fluviales y mareales

Caudal fluvial máximo y caudal mareal en mareas vivas $Q_F/Q_M = 12,011$	<b>Altamente estratificado</b>
Caudal fluvial máximo y caudal mareal en mareas muertas $Q_F/Q_M = 0,0197$	<b>Verticalmente homogéneo</b>
Caudal fluvial máximo y caudal mareal medio $Q_F/Q_M = 14,937$	<b>Altamente estratificado</b>
Caudal fluvial mínimo y caudal mareal en mareas vivas $Q_F/Q_M = 0,027$	<b>Verticalmente homogéneo</b>
Caudal fluvial mínimo y caudal mareal en mareas muertas $Q_F/Q_M = 19,749$	<b>Altamente estratificado</b>
Caudal fluvial mínimo y caudal mareal en mareas medias $Q_F/Q_M = 0,033$	<b>Verticalmente homogéneo</b>
Caudal fluvial medio y mareas vivas $Q_F/Q_M = 0,698$	<b>Altamente estratificado</b>
Caudal fluvial medio y mareas muertas $Q_F/Q_M = 1,148$	<b>Altamente estratificado</b>
Caudal fluvial medio y mareas medias $Q_F/Q_M = 0,868$	<b>Altamente estratificado</b>



ambas mezclas extremas de aguas, según se trate de mareas muertas y vivas, respectivamente.

### ONDA MAREAL

El control permite deducir la disminución del rango mareal y su desfase desde unos puntos a otros del estuario, la asimetría de la onda mareal en su interior, o la influencia del caudal fluvial por el cual la onda salina no viaja tanto, aguas arriba, como en estiaje, etc.

Para mareas muertas, la onda mareal se disipa bruscamente algo al S del recodo o meandro de Riberas, en que el río adquiere una pendiente fuerte, mientras que para mareas vivas llega hasta el molino de Bancos (N de Pravia) (Fig. 1). En general, se comprueba cómo las formas de las curvas mareales, en cada una de las estaciones de registro, se asemejan mucho a la de la onda teórica (Fig. 4). Desde la desembocadura hasta las islas de Arcubín y Pedregalón, la onda pierde rango, pero muy escasamente: 90 cm (25-X-88) en mareas vivas y 26 cm (18-XI-88) en mareas muertas, por lo que, de acuerdo con Le Floch (1961), se asimila a un modelo de estuario sincrónico. Se observan pequeñas irregularidades en la curva dibujada, particularmente en las estaciones de la desembocadura, consistentes en protuberancias y depresiones de unos pocos centímetros; este fenómeno es puesto de manifiesto por Martínez Cedrún (1984) quien lo interpreta como procesos de taponamiento y sucesiva extrusión por estrechamientos morfológicos, si bien pueden atribuirse exclusivamente a la propia dinámica de la onda mareal (ondas estacionarias menores) y al movimiento del agua superficial que divaga en su camino hacia la desembocadura. Durante las bajamareas, la forma de la curva es mucho más irregular, especialmente en el tramo situado aguas arriba de las islas del Pedregalón y Arcubín, ya que los procesos fluviales ejercen ahora un control mucho más destacado sobre la onda mareal. También en estos intervalos, se produce un desfase en el momento exacto de la bajamar, produciéndose primero en la desembocadura y después hacia la cola (del orden de algo menos de media

hora el 25-X-88, para las estaciones 1, 2 y 3), hecho que se repite durante las pleamares pero con diferencias mucho menores. Aquí esta onda es muy asimétrica, especialmente en los momentos de la bajamar, con rangos mareales, en mareas medias a vivas y caudales de estiaje, del orden de 1,88 m (rango mareal teórico de 3,26 m).

### ONDA SALINA

Las ondas salinas superficiales muestran distribuciones muy irregulares, mayores cuanto más hacia el interior del estuario. Lógicamente, en las áreas externas las cifras de salinidad son más altas, disminuyendo hacia el interior. La única ley general es la de una disminución de la salinidad desde la desembocadura hacia la cola, con diferencias entre las estaciones situadas en el margen derecho en que las salinidades son comparativamente más bajas. Para mareas muertas y caudales de estiaje, las curvas, dentro de la irregularidad apuntada, son de tendencia bimodal, con un máximo mayor de salinidad antes y/o durante la pleamar, un mínimo bien a media marea (estaciones 2 y 4, 18-XI-88), durante la media marea descendente (estación 5, mismo día) y un máximo menor en bajamar, que hacia el interior puede producirse algo antes (estación 5) o incluso durante la bajamar (estación 6, siempre el mismo día).

Para mareas vivas y caudales de estiaje, las ondas salinas superficiales siguen la misma tendencia asimétrica, pero ahora mucho más regularmente entre sí. Las salinidades máximas perduran durante mucho tiempo, coincidente con períodos máximos de unas cuatro horas antes y otras tres después de la pleamar. Después de que los mínimos se produzcan tan sólo una hora después de bajamar, los máximos se consiguen en un intervalo muy corto de tiempo (alrededor de dos horas después del mínimo). En profundidad, la distribución de las ondas salinas es muy similar a los casos inmediatamente antes descritos, con la diferencia de que los gradientes de cambio desde los máximos a los mínimos se hacen más suaves a medida que disminuye la profundidad (Fig. 5 y 6).

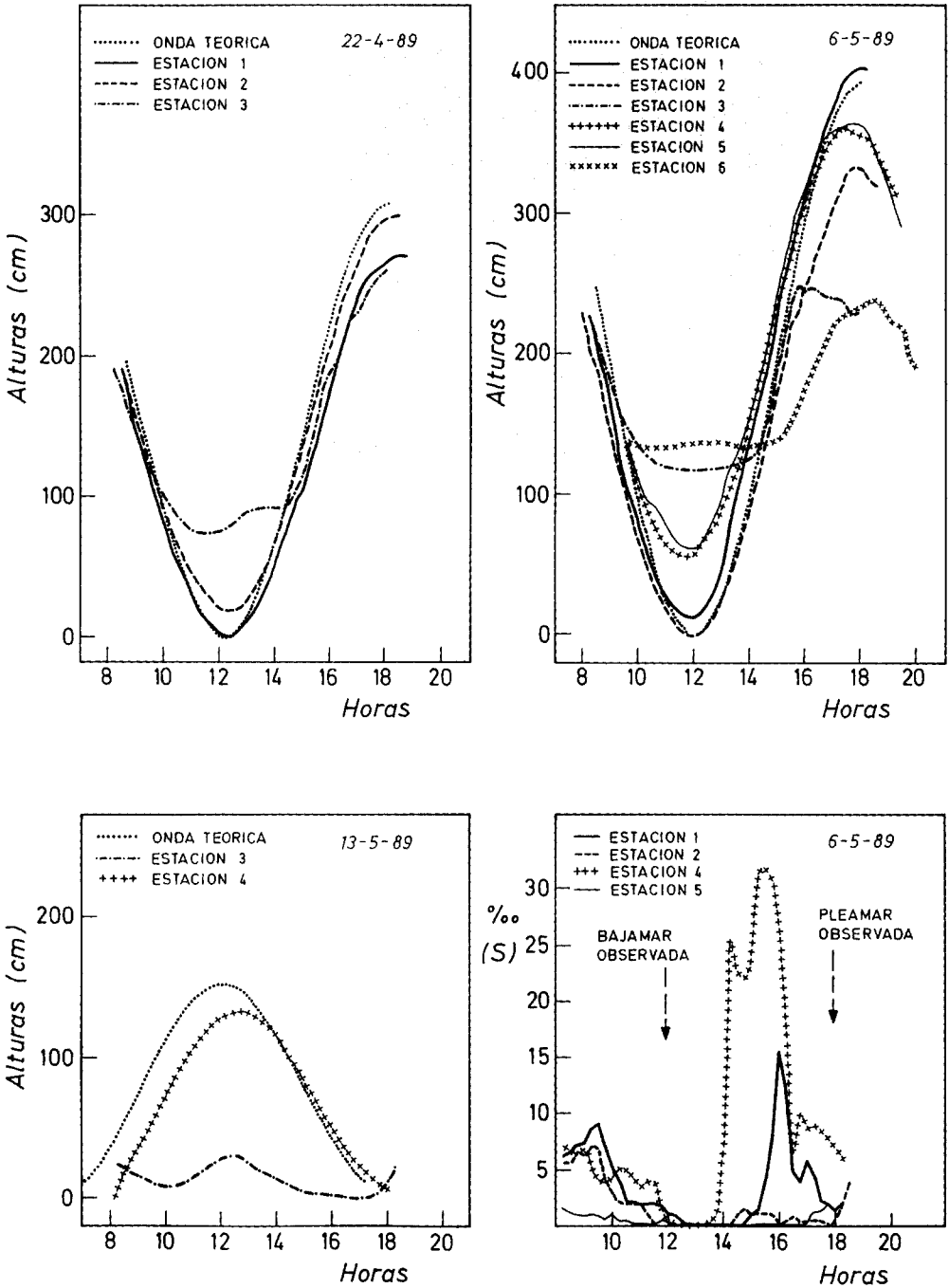


Fig. 4.- Las ondas mareales registradas en las estaciones fijas en tres días diferentes: 22-4-89 y 6-5-89 (mareas vivas) y 13-5-89 (mareas muertas) muestran una disminución paulatina del rango y una mayor asimetría de la curva hacia el interior del estuario. Las ondas salinas superficiales tienden a la forma sinusoidal, pero con una distribución muy irregular.

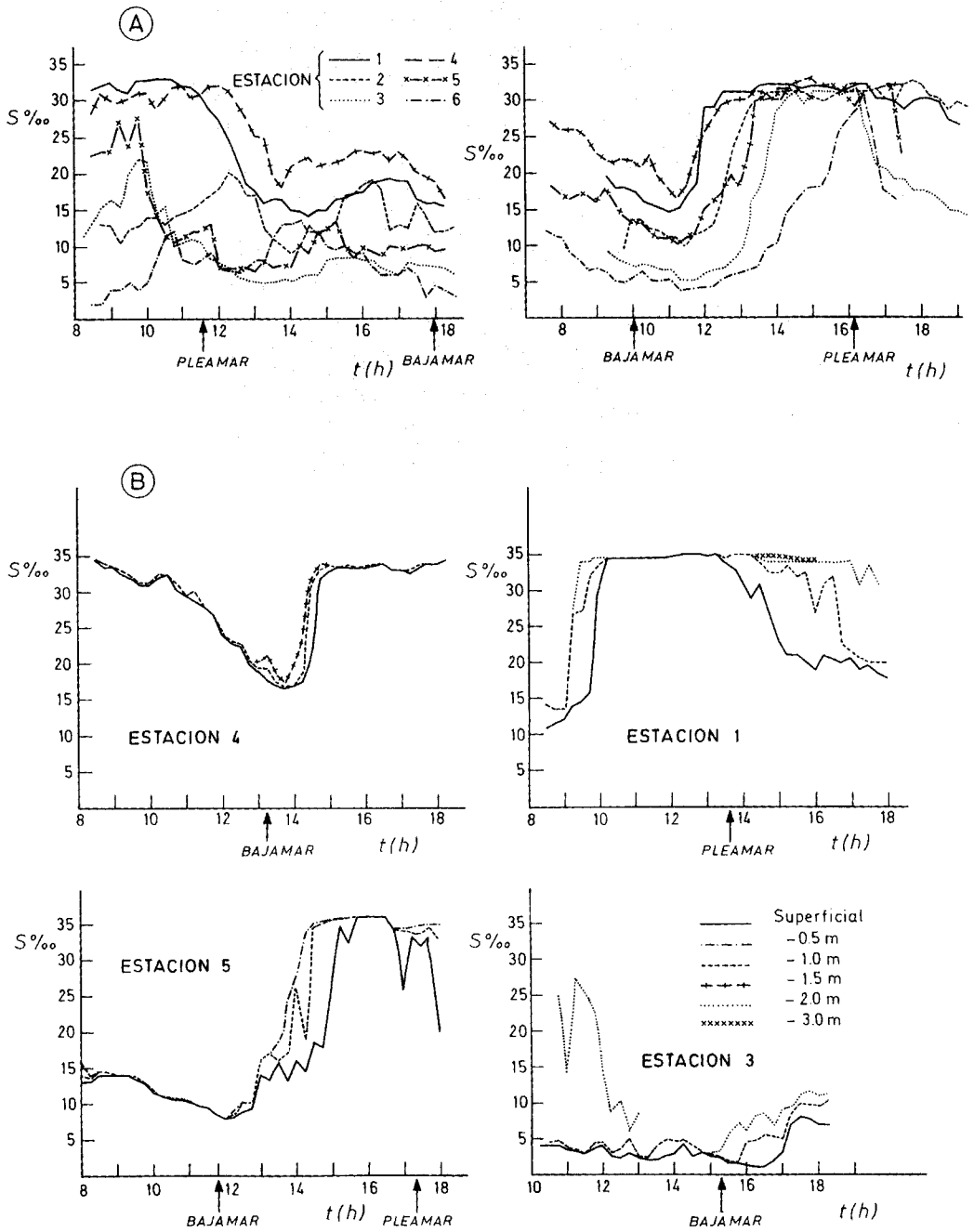


Fig. 5.- Las ondas salinas registradas en las estaciones fijas en superficie (A) son muy asimétricas con relación a la onda mareal en mar abierta, más irregulares cuanto más hacia la cola, y en la columna de agua (B) a intervalos de 0,5 m, también muy asimétricas y relativamente uniformes con la profundidad.

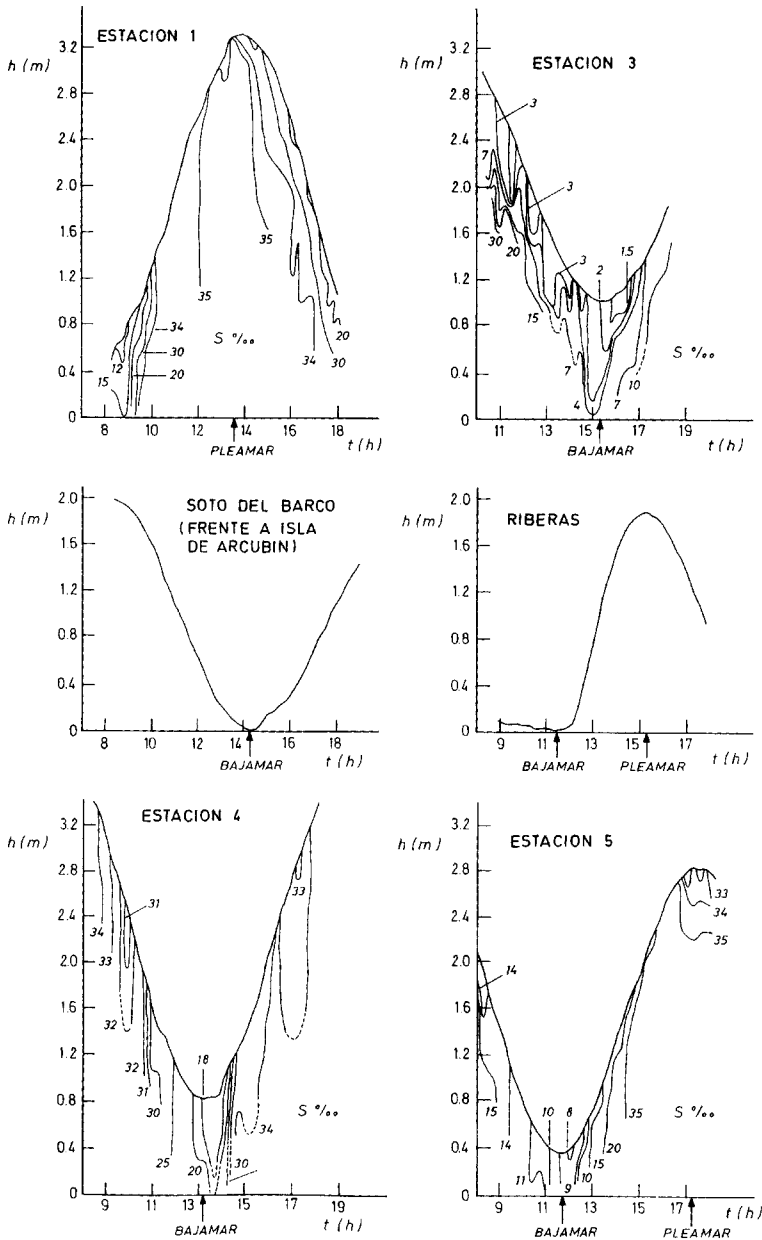


Fig. 6.- La combinación de la onda marcal y las salinidades en profundidad muestran la evolución de las mezclas de agua dulce y salada a lo largo del intervalo de registro. En la porción externa del estuario, durante las bajamareas, las mezclas se realizan de acuerdo con una mezcla parcial, mientras que en la media marea ascendente y pleamar es verticalmente homogénea, disminuyendo la salinidad media desde el momento culminante de la pleamar. Se detecta una clara asimetría antes y después de la pleamar. En la parte media del estuario (estaciones 2 y 5), las mezclas de agua tienden a verticalmente homogéneo, pero con salinidades más bajas que en el caso anterior y con mezclas parciales en intervalos muy cortos. Las estaciones internas, que sufren el proceso de la onda marcal, registran aguas exclusivamente fluviales. Dos nuevas estaciones se fijaron en este caso, la de Soto del Barco (frente a las islas de Arcubín y Pedregalón) lugar hasta donde llega la onda salina, y la de Riberas (ver Fig. 1).

## CORRIENTES MAREALES

En el borde externo del paso, las corrientes mareales máximas son de 0,24 m/s en condiciones de reflujo y en superficie, mientras que en flujo no sobrepasan los 0,18 m/s, también en superficie. Desde antes de la media marea descendente hasta la bajamar, las masas de agua cambian de flujo a reflujo; desde la bajamar hasta una hora después, las masas de agua quedan estacionarias, para comenzar, a continuación un flujo más o menos sostenido, tanto en superficie, donde las velocidades son ligeramente mayores, como en profundidad (Fig. 7).

En el borde interno del paso, las corrientes son máximas, tanto en superficie como en profundidad, a media marea ascendente y descendente, y mínimas en pleamar y bajamar. Son muy variables cuantitativamente en una u otra profundidad según el momento de la marea. Las de flujo alcanzan cifras de hasta 0,30 m/s, mientras que las de reflujo, particularmente las superficiales, llegan hasta 0,54 m/s. No obstante, caben esperarse cifras aún mayores en otras condiciones como hemos registrado recientemente en el estuario de Villaviciosa. Los perfiles de velocidad pueden ser uniformes o con una tendencia a un incremento o disminución en profundidad o superficie, o variables a lo largo del ciclo mareal, debido a que pueden coexistir masas de agua estratificadas que viajan en sentidos opuestos o, si éstos tienen la misma trayectoria, viajar con velocidades distintas. Así, se manifiestan corrientes de reflujo superficiales y de flujo en profundidad antes de la pleamar y después de la pleamar.

En la porción interna del estuario, dominan prácticamente las corrientes superficiales, tanto en flujo como en reflujo, alcanzando valores altos: máximos de 0,44 m/s en reflujo y de 0,20 m/s en flujo. De pleamar a bajamar, las curvas se reparten según dos máximos, separados por un mínimo que tienen lugar unas dos horas antes de la bajamar. Unos minutos antes y después de ésta, la capa de agua representativa de

medio metro de profundidad viaja más deprisa que la superficial, siendo la de fondo la más lenta; este fenómeno se repite hacia la media marea ascendente, pero de bajamar a pleamar. Durante la bajamar, las corrientes evolucionan desde un máximo de reflujo, ocurrido con anterioridad, a otro máximo, pero ya de flujo. El reflujo permanece durante casi hora y media después de la bajamar, a partir del cual comienzan a dejarse sentir los procesos de flujo que, primero son más intensos en superficie y después en la capa intermedia de agua. En las áreas con influencia únicamente de la onda mareal (aguas arriba de hasta donde llega la onda salina), el cambio de las condiciones de reflujo a flujo se produce alrededor de hora y media antes de la pleamar.

## ESQUEMAS DE CIRCULACION

Se han confeccionado una serie de esquemas representativos de los cuatro momentos extremos de la marea: bajamar (Fig. 8.A), media marea ascendente (Fig. 8.B), pleamar (Fig. 8.C) y media marea descendente (Fig. 8.D). Se incluyen curvas isohalinas a intervalos de 1 m de profundidad y los vectores representativos de los sentidos e intensidad de las corrientes. Cada intervalo representa períodos de tiempo de alrededor de dos horas, es decir, una hora antes y otra hora después de cada caso considerado.

**Bajamar:** Las aguas dulces llegan hasta el recodo de El Sablón, con componentes de reflujo de agua en toda la columna de agua cuyas velocidades superan en algunos casos los 0,60 m/s. A pesar de estar en el momento de máxima extrusión de agua del estuario, se detectan procesos de entrada de agua muy mezclada por el borde occidental; incluso, se evidencian bolsas de agua de mezcla en profundidad (al S de las ensenadas de San Esteban y El Arenal), moviéndose de forma retardada con relación al resto, que provendrían de las aguas saladas que se alojaron en el fondo del canal principal en las áreas de la cola y en depresiones del mismo, co-

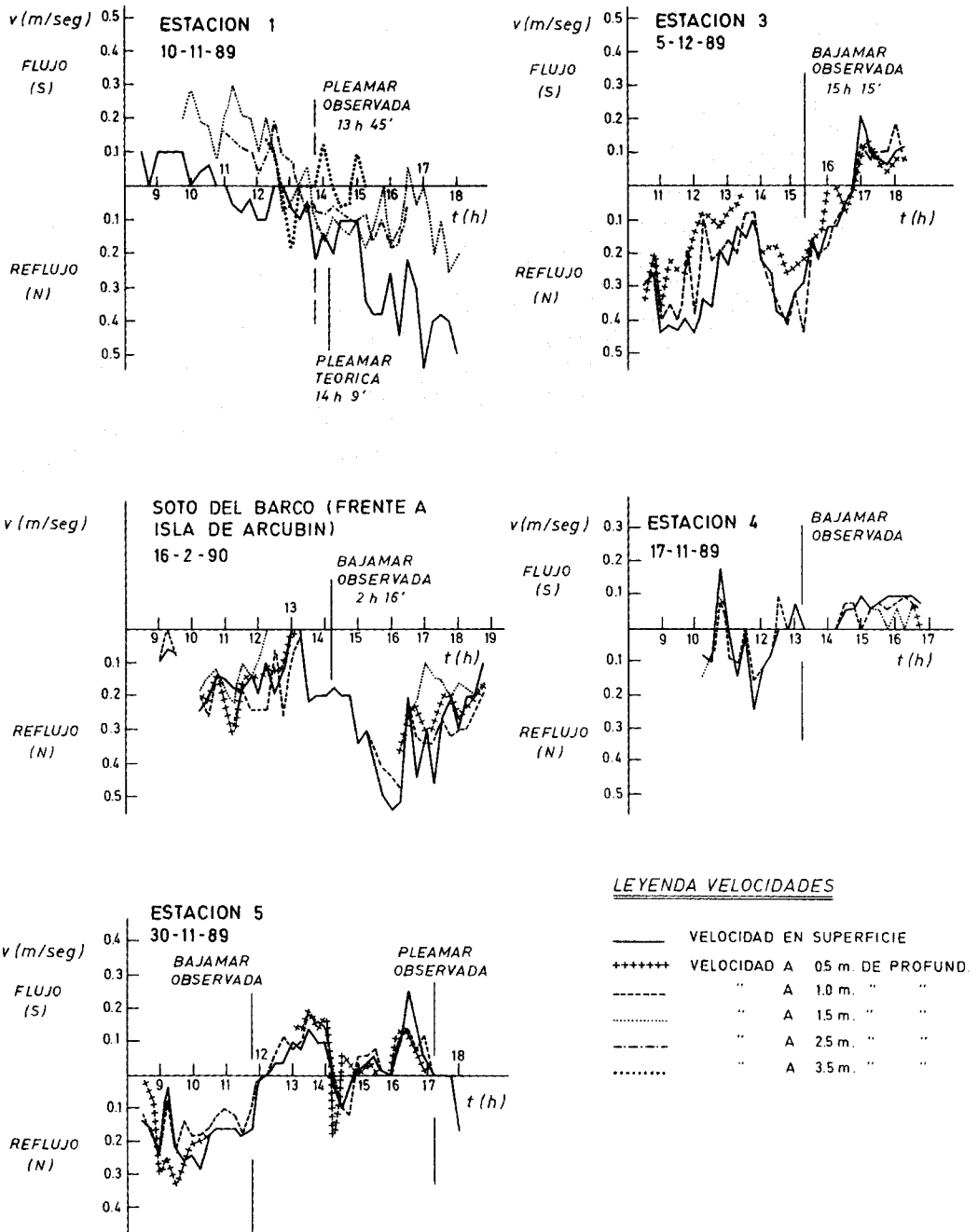


Fig. 7.- Las velocidades y sentidos de las corrientes mareales (flujo y reflujo) son, generalmente, mayores en superficie, tendiendo a disminuir en profundidad, pero no regularmente en todas las estaciones y momentos.

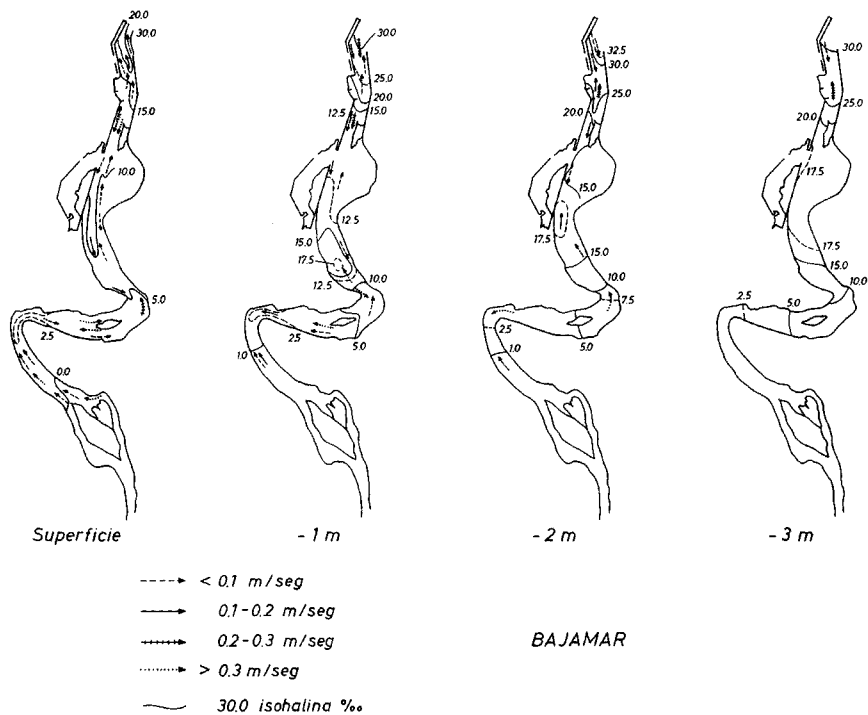


Fig. 8.A.— Durante la bajamar, el vaciado del estuario es general, si bien se detectan corrientes contrarias en determinados segmentos, particularmente en la subsuperficie hasta dos metros de profundidad. Las isohalinas permiten determinar la distribución de las aguas salinas por el fondo en relación con las superficiales.

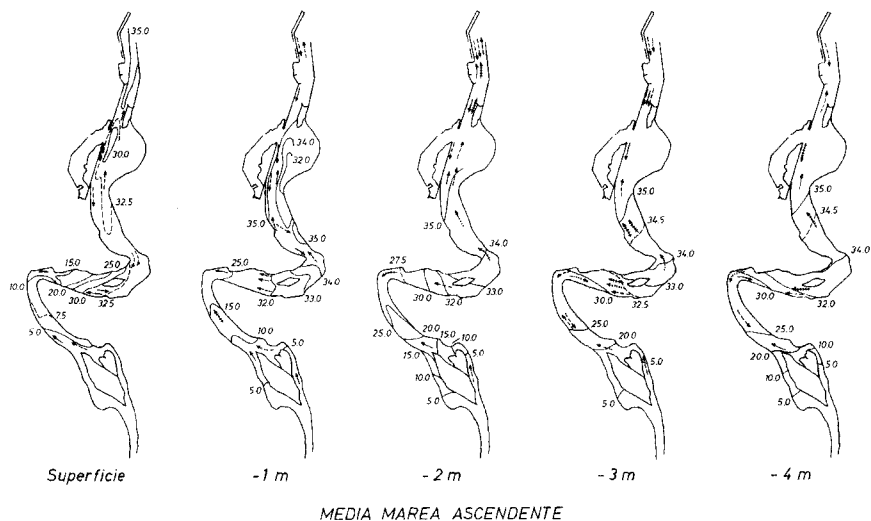


Fig. 8.B.— En la media marea ascendente, el flujo de agua entrante es muy evidente, salinizándose el estuario de una forma muy intensa. El agua de mezcla tiende a salir por los márgenes derechos del canal principal.

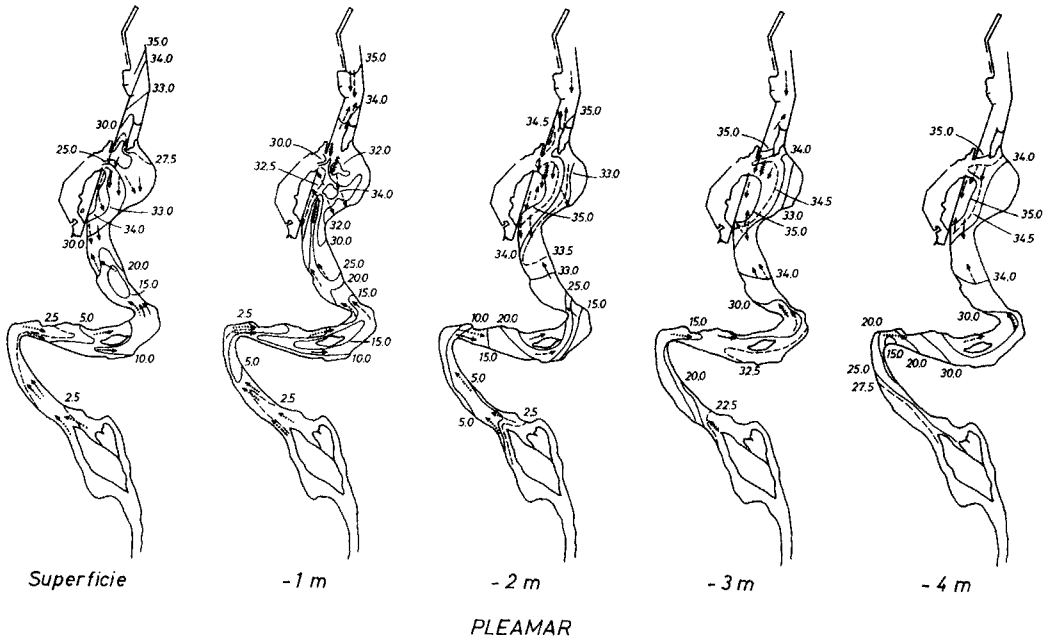


Fig. 8.C.— El vaciado se inicia antes de la pleamar, siendo muy evidente en la mitad interna estuarina en toda la columna de agua, pero sigue entrando agua marina en profundidad en el paso y canal principal en la bahía de San Esteban de Pravia y San Juan de La Arena.

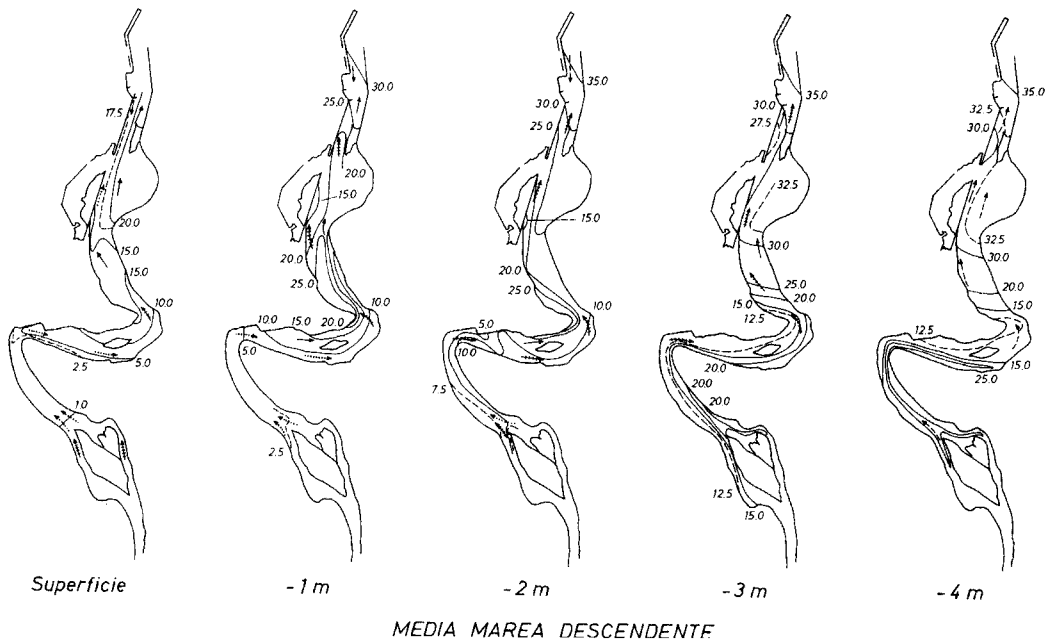


Fig. 8.D.— Durante la media marea descendente, el proceso de vaciado se intensifica, conservándose aguas de mezcla por el fondo en la mitad interna, más salinas por el margen derecho.



Sablón. Obviamente, las aguas se tornan más saladas hacia el fondo, pero siempre con valores muy bajos, lo que es indicativo de los intensos procesos de mezcla de las aguas habidos con anterioridad a la bajamar. Solamente en la desembocadura, los gradientes son muy rápidos a salinidades más altas.

**Media marea ascendente:** La entrada de agua salada se efectúa por el borde occidental y el reflujó tiene lugar por el margen contrario. Las aguas marinas, en este momento, han avanzado hasta rebasar La Isla, de modo que, aguas arriba, los fenómenos de mezcla son muy intensos. Así, las aguas con salinidades medias (20‰) han alcanzado las islas de Arcubín y Pedregalón.

**Pleamar:** El momento culminante de la marea sigue manteniendo, a grandes rasgos, el esquema general de flujo por el borde occidental y reflujó por el oriental. Curiosamente, el intervalo anterior de media marea ascendente registra mayores salinidades que éste. Así, en los dos metros superficiales, el agua dulce rebasa, aguas abajo, el recodo de El Sablón. Las mezclas de aguas tienen ahora lugar entre los recodos de El Sablón y de La Junquera, así como en los canales que rodean las islas de Arcubín y Pedregalón. También, se deja sentir el desagué de la ensenada de San Esteban, aunque muy superficialmente y con mezclas de agua todavía saladas (25‰). La ensenada de El Arenal experimenta entradas de aguas saladas con sentido hacia el SE, aunque intensidades muy moderadas, disminuyendo moderadamente la salinidad hacia las orillas. La mitad septentrional del estuario registra ahora intensidades de corrientes sumamente altas, que parecen moderarse en la mitad meridional por el mayor volumen de agua almacenado, así como por el empuje que ejercen las corrientes de flujo todavía activas.

**Media marea descendente:** En superficie, las aguas tienden a dulces y de mezcla dulce hasta el recodo de La Junquera hacia la desembocadura. Los flujos de agua salada son muy escasos en todo este intervalo, limitándose

se a las áreas de la desembocadura. Todo hace pensar que el estuario intente desaguár el volumen de agua almacenada durante los momentos precedentes, por lo que en las secciones transversales se registran corrientes de reflujó, en algunos casos, de gran intensidad. En la ensenada de El Arenal, se mantienen salinidades altas en los metros inferiores, lo mismo que en los fondos de los canales desde La Isla hasta la cola estuarina, solamente que en este caso con salinidades de mezcla (20‰). Esta dinámica evidencia una mayor influencia de los procesos fluviales, donde el canal principal juega un papel decisivo ya que canaliza las aguas saladas a su través y, durante la bajamar, es el que permite el drenaje de las aguas almacenadas.

## ZONACION ESTUARINA

Recientemente, Dalrymple *et al.* (1992) clasifican los estuarios en dos categorías amplias, teniendo en cuenta los controles dinámicos (fluvial, mareal y oleaje): dominados por oleajes y dominados por mareas. La realidad morfológica de la mayor parte de los estuarios cantábricos aconseja seguir las ideas de Fairbridge (1980), encuadrando este estuario del Nalón en los de tipo confinado por una barra arenosa (sistemas de playa/dunas eólicas) y, dinámicamente (Hayes, 1975), como mesomareal por la fuerte repercusión morfosedimentaria de las mareas sobre las áreas de desembocadura.

Numerosos autores han definido una zonación tripartita de los estuarios en sentido longitudinal, de acuerdo con la predominancia de la influencia marina (tramo externo), fluvial (tramo interno) y propiamente estuarina (Oomkens y Terwindt, 1960; Bird, 1967; Allen, 1991; Nichols *et al.*, 1991; Shi y Lamb, 1991).

No obstante esta realidad dinámica, la respuesta morfosedimentaria es algo más compleja. Se propone para éste y otros estuarios similares una zonación en la que se incluyen los sistemas confinantes y los estuarinos propiamente dichos (Fig. 9; Tablas III y IV).

- \* **Complejo de desembocadura.** Está formado por la playa y dunas eólicas asociadas que confinan el estuario, el paso de desembocadura o tramo del canal principal más externo, que permite el intercambio de las masas de agua y sedimentos y, finalmente, la barra de desembocadura situada en el extremo mar afuera del paso y la porción occidental de la playa submareal.
- \* **Bahía.** De naturaleza arenosa y fuertemente modificada por las obras de canalización y construcción de la ensenada artificial de San Esteban de Pravia, rellena por fangos. Está atravesada por el canal principal que pasa gradualmente a llanuras mareales arenoso-fangosas.
- \* **Llanuras.** Son fangosas y ocupan las superficies más amplias del estuario, pero que fueron reclamadas y reducidas a áreas activas testimoniales; están mayoritariamente colonizadas por vegetación halofítica. El canal principal, de carácter sinuoso, desarrolla barras de meandro y longitinales y lechos planos (éstos más numerosos).
- \* **Canal meandriforme superior.** Representado por el canal principal sinuoso encajado en llanuras anteriormente fangosas y halofíticas, sometido a la activi-

dad de las ondas mareales, pero con una predominancia de la influencia fluvial.

## SISTEMA DE PLAYA/DUNAS DE LOS QUEBRANTOS Y BAYAS

El sistema de playa/dunas de Los Quebrantos, que configura una barra arenosa extensa, cierra el estuario del Nalón, desembocando éste por el borde occidental (Fig. 1). Tiene una longitud de 3.750 m, de los cuales los 956 m occidentales corresponden a la playa de Los Quebrantos y los restantes 2.794 m al playón de Bayas. La primera tiene una anchura variable de 250 m en la zona O, para disminuir gradualmente a 125 m en el E y una extensión, desde el margen derecho del canal de desembocadura hasta la punta oriental de 956 m. Se construyó un dique exento oblicuo NE-SO a unos 200 m frente a la porción occidental de Los Quebrantos, en la zona submareal, y otro dique subperpendicular en el centro de la playa. El efecto resultante del primero favoreció el crecimiento de la playa hacia el mar, con un perfil convexo hacia afuera de tipo hemitómbolo. La línea que separa la playa de las dunas es irregular, con un entrante muy marcado con forma convexa hacia tierra, en el extremo occidental del espigón exento, consecuencia de la erosión por el oleaje en esa zona. El límite playa-duna está definido

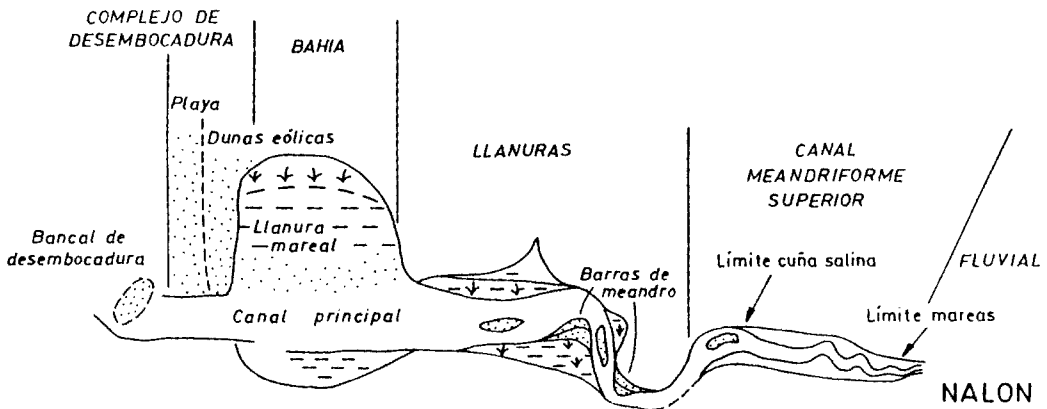


Fig. 9.— Zonación morfológica longitudinal del estuario del Nalón en la que se distinguen el complejo de desembocadura, la bahía arenosa, las llanuras fangosas y el canal meandriforme superior.

TABLA III. Relación de los agentes dominantes que actúan sobre las zonas morfológicas mayores y los ambientes sedimentarios

**NALON**

DINAMICA	Oleajes>reflujos	Oleajes/Viento Flujo y reflujo	Flujo y reflujo	Mareas y fluvial en reflujo	Fluvial>Flujo+ reflujo
E S T U A R I O					
Zona morfológica	<b>Complejo de desembocadura</b>		<b>Bahía</b>	<b>Llanuras</b>	<b>Canal meandriforme</b>
Ambiente sedimentario	Playa submareal Bancal de desembocadura	Sistema de playa/dunas Paso	* Llanura mareal Canal principal	* Llanuras halofíticas Canal principal meandriforme Canales mareales	* Canal principal Llanuras reclamadas

(\*) UNIDAD DOMINANTE

TABLA IV. Esquema de las características dinámicas, morfológicas y sedimentarias más importantes del estuario del Nalón

**ESTUARIO DEL NALON**

TRAZADO DEL EJE	Sinuoso
CONFINAMIENTO	Barra arenosa (playa/dunas eólicas)
ZONACION	Complejo de desembocadura-Bahía-Llanuras-Canal superior
MEZCLAS DE AGUA	Verticalmente homogéneo>Mezcla parcial>Cuña salina
ONDA MAREAL	Sincrónico
LITOLOGIA	Arenosa/Fangosa (inactiva)
BIOCLASTOS	Inapreciables
UNIDADES	Playa externa/dunas eólicas Canal principal: lecho barras longitudinales barras de meandro
MORFOSEDIMENTARIAS	Llanura mareal Llanura fangosa Llanuras halofíticas

por un escalón decimétrico a métrico que en la zona occidental del dique perpendicular de la playa tiene un marcado carácter erosivo, desarrollándose, en ocasiones, bandas de dunas eco, mientras que en la occidental el paso es gradual.

La zona intermareal puede subdividirse en un talud intermareal superior de cierta pendiente y estrecho (unas decenas de metros), y una terraza de bajamar de carácter subplano (unas centenas de metros), con un canal desagüe interno y un bancal externo. Al abrigo del dique exento, en la mitad occidental, se forman dos sistemas de bancal/canal.

La totalidad del campo dunar de Los Quebrantos ocupa una superficie triangular con un frente límite extendiéndose a lo largo de 1.130 m y una anchura media de 220 m; es más ancha en el borde del canal, llegando hasta los 600 m. Las dunas de La Arena se pueden separar en dos grandes conjuntos. El campo interno está representado por un sistema de dos *cordones dunares* alineados NE-SO, uno de mayores dimensiones y gran continuidad longitudinal, que está más elevado y próximo a las dunas actuales (alturas de 5-7 m y anchuras de más de 100 m), sobre el que se asienta la población de San Juan de La Arena y otro más interno, desarrollado en la mitad occidental de la población. Estas dunas son más antiguas y se debieron formar con anterioridad a la canalización. El campo externo es irregular, con escaso relieve en el que se distinguen sucesivas crestas y surcos (alturas de 1 a 1,50 m y anchuras de 40-50 m), pertenecientes a dunas también del tipo de cordón lunar, las cuales, en este caso, podrían denominarse *dunas paralelas*. Se separa un cordón externo, próximo a la playa, orientado E-O, y dos conjuntos más elevados en la zona oriental y otro independizado en la occidental, que tienden a diverger del anterior, alcanzando una dirección NE-SO. Están muy colonizados por vegetación de tipo herbácea, conteniendo multitud de Gasterópodos de los géneros *Helix* sp. y *Theba pisana*. Son los vientos del NO los principales protagonistas en el emplazamiento de tales dunas.

Por lo que respecta a las dunas de Bayas, que afloran mayoritariamente en el extremo oriental de la playa, también se pueden discriminar dos grandes conjuntos, el más interno de mayores dimensiones. Se distinguen *dunas remontantes* en las laderas que enlazan con el acantilado; también grandes *dunas lingüiformes* y un gran *cordón dunar* del que solamente se conserva el extremo más interno. El límite entre este conjunto y el externo lo constituye una pared subvertical de erosión. Las dunas externas responden a la tipología de incipientes, entre las que se destaca un gran sistema de cordón dunar (Flor, 1983 b).

## MORFOLOGIA ESTUARINA

Este estuario somero y estrecho tiene un trazado sinuoso, en planta, que se instala sobre un modelado de meandros fluviales encajados, debido a la fuerte influencia fluvial. La cola estuarina se establece en el límite de la intrusión salina en la zona meridional de las islas de Arcubín y Pedregalón frente a Soto del Barco (Fig. 1), lo que supone una longitud de unos 7.625 m. Además del sistema de playa y dunas, se consideran como unidades morfológicas, dinámicas y sedimentarias más importantes del estuario del Nalón, el canal principal fluviomareal, con los tres subambientes mayores: lecho del canal, barras longitudinales y barras de meandro, la llanura mareal arenosa de El Arenal y las llanuras halófticas muy reducidas por la reclamación habida hasta el presente.

El paso, a medida que se aproxima hacia la desembocadura, pierde calado, de manera que en la playa sumergida, lugar donde tiene lugar la desembocadura efectiva, se forma un bancal arenoso irregular. La anchura del canal principal en la desembocadura (paso o «inlet»), limitado por escolleras, es de 125 m en una longitud de 1.100 m. Afuera del estuario, se ha construido un largo espigón N-S (denominado barra de San Esteban) para impedir la entrada de arenas, procedentes de la deriva litoral (trayectoria hacia el E). El lecho del canal, además, sigue la misma

tendencia sinuosa, pero de forma mucho más acentuada por cuanto se encaja entre los fondos arenosos y fangosos. Se generan barras de meandro (La Junquera y El Sablón) y barras longitudinales de planta fusiforme y superficie relativamente plana con formas de lecho mayores (megaripples) y menores (ripples de corriente linguoides y de cresta recta). Otras barras longitudinales solapadas desarrollan superficialmente grandes formas de lecho: megaripples y ondas de arena con multitud de ripples de corriente de cresta recta y linguoides, así como transiciones entre unos y otros. Enlaza con el canal fluvial del Nalón de una forma paulatina.

Al S de San Juan de La Arena en el margen derecho se abre una amplia ensenada, El Arenal, la cual, previamente a la construcción del dique de encauzamiento, representaría una sedimentación de bancal deltaico (Cabrera Ceñal y Flor, 1993). Actualmente, únicamente se diferencia el canal principal en posición occidental en cuyo costado oriental se desarrolla una serie de barras longitudinales solapadas en el sentido del reflujó y una llanura arenosa en dicha ensenada, que pasa insensiblemente a una banda estrecha de unas pocas decenas de metros de fangos hacia la posición de las pleamares. En la llanura arenosa se forman multitud de ripples de corrientes, muchos de ellos de interferencia, siendo también de importancia los de oleaje en determinadas áreas y momentos. Es muy intensa la bioturbación en su interior debida a bivalvos: *Scrobicularia plana* y *Cerastoderma edule*, éstos como formas juveniles, y a anélidos: *Nereis diversicolor*. Tanto la *Scrobicularia* como el *Nereis*, dejan, además, abundantes pistas en la superficie como resultado de su actividad. Abundan los restos de conchas de dichos bivalvos en toda la superficie de la llanura mareal. En el margen izquierdo se abre la ensenada de San Esteban de Pravia que, junto con la llanura arenoso-fangosa de El Arenal, alcanzan una anchura de 875 m.

Se calcularon las superficies en metros cuadrados de los diferentes subambientes estuarinos, refiriéndolos a porcentajes: llanuras marea-

les, marismas, canal fluviomareal de sedimentación activa (barras de meandro y longitudinales) y de relleno, incluyendo las llanuras aluviales hasta Pravia, así como del sistema playa/dunas de Los Quebrantos (Fig. 10, Tabla V).

## SEDIMENTACION

En el estuario del Nalón, el material arenoso constituye el volumen mayoritario, en parte por los aportes de las cuencas fluviales del Nalón y del Narcea, tanto naturales como artificiales (actividad minera e industrial: Flor *et al.*, 1990).

En la Fig. 11, se engloban las familias de curvas acumuladas para dunas, playa y estuario, éste con los diferentes subambientes considerados. Las de la playa de Los Quebrantos tienen pendientes importantes, indicativas de buenas clasificaciones y de transportes por suspensión uniforme en la mayor parte de las poblaciones granulométricas. Las de dunas se desplazan ligeramente hacia los finos en relación con las contiguas de la playa. Las representativas del estuario son mucho más tendidas y, consecuentemente, peor clasificadas, con participación destacada de los transportes por tracción de fondo (poblaciones más gruesas), que pueden rebasar el 5% de la distribución.

Una visión global de las distribuciones texturales superficiales en el estuario se obtiene a partir de los mapas de isolíneas de los diferentes parámetros considerados (Fig. 12). Para la playa de Los Quebrantos, los tamaños del centil son máximos en el extremo occidental y en la parte baja de la mitad O de la playa oriental; los mínimos se centran en el talud intermareal de la zona central. Existe una cierta tendencia a que decrezcan desde bajamar a pleamar y de O a E, hasta el espigón oblicuo. También desde la bajamar al E de dicho espigón hacia la pleamar de la parte oriental. Las medias tienden a disminuir desde la zona submareal a la supramareal. Asimismo, los tamaños de grano son mayores hacia la esquina oriental, consecuencia de la mayor exposición al oleaje en ese mismo sentido. La zona de la playa adosada al margen derecho del

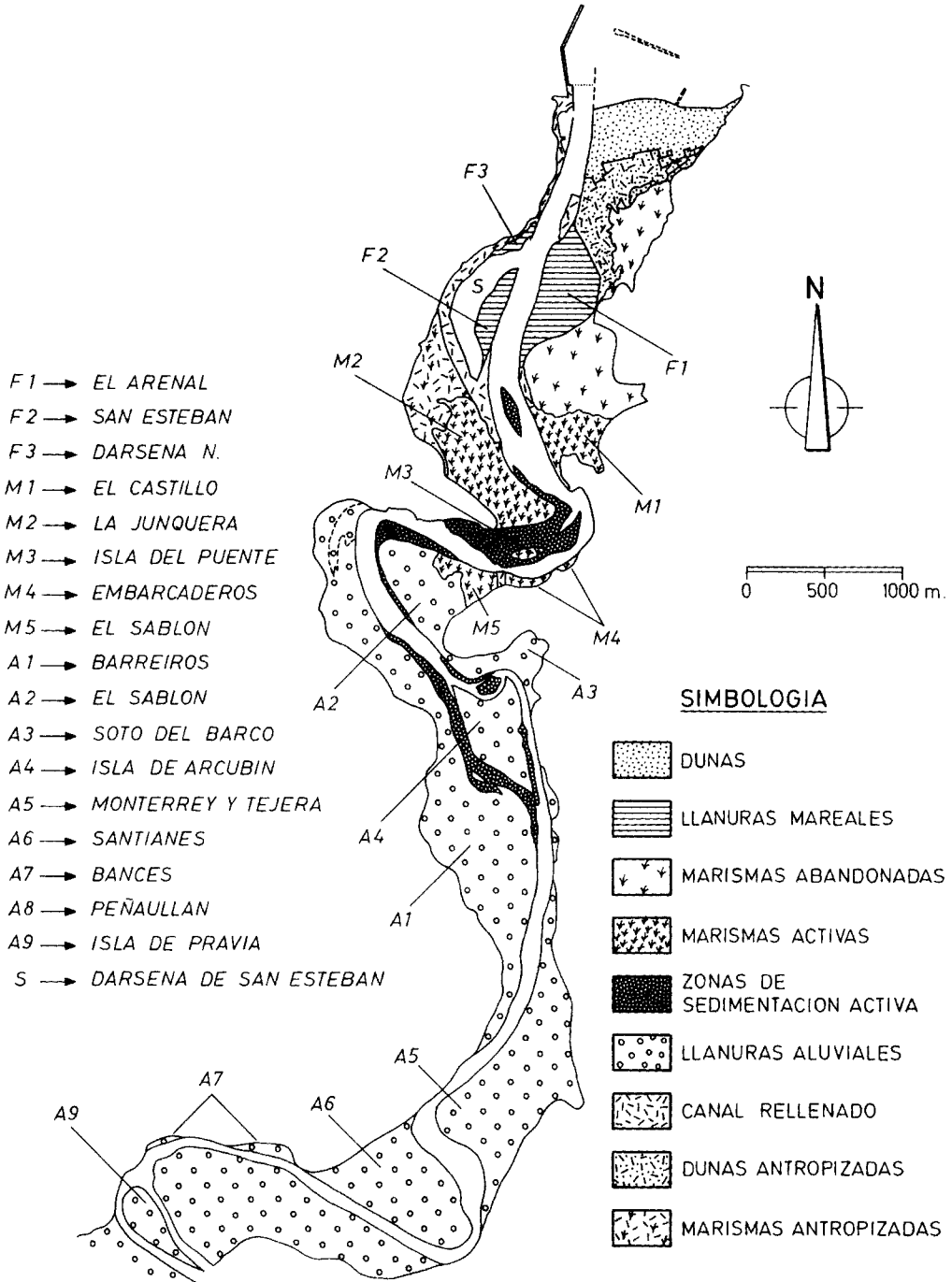


Fig. 10.- Cartografía de las unidades morfosedimentarias más importantes en el estuario del Nalón, separando las superficies activas y las reclamadas, estas últimas constituyéndose en las más extensas. Las cifras de tales superficies, expresadas en metros cuadrados y relación porcentual se complementan con la Tabla I.

TABLA V. Extensión superficial de las diferentes zonas morfológicas estuarinas

	m <sup>2</sup>	%
<b>Llanuras mareales</b>		
F1 El Arenal	242 048	2,65
F2 San Esteban	68 808	0,75
F3 Dársena N	16 104	0,18
Total parcial	326 960	3,58
<b>Marismas</b>		
Antigua (San Juan)	527 040	5,77
Activas:		
M1 El Castillo	137 616	1,50
M2 La Junquera	293 288	3,21
M3 Isla del Puente	15 128	0,17
M4 Embarcaderos	19 520	0,21
M5 El Sablón	65 392	0,72
Antropizadas (San Esteban)	275 232	3,01
Total parcial	1 333 216	14,60
<b>Dársena de San Esteban (S)</b>	135 664	1,49
<b>Canal principal</b>		
Lecho	1 815 568	19,88
Barras de meandro y longitudinales	385 520	4,22
Canal rellenado	128 832	1,41
<b>Llanuras aluviales</b>		
A1 Barreiros	1 172 286	12,84
A2 El Sablón	354 288	3,88
A3 Soto del Barco	75 141	0,82
A4 Islas de Arcubín y Pedregalón	211 792	2,32
A5 Monterrey y Tejera	890 802	9,76
A6 Santianes	569 547	6,24
A7 Bances	38 115	0,42
A8 Peñaullán	1 022 571	11,20
A9 Isla de Pravia	118 701	1,30
Total parcial	4 485 884	49,12
<b>Dunas</b>		
Activas y fosilizadas	357 704	3,92
Antropizadas	195 725	2,14
Total parcial	553 429	6,06
<b>TOTAL</b>	9 132 432	100,00

canal de intercambio representa una área de mayor tamaño medio de grano y, consecuentemente, de energía más fuerte. Se observa una tendencia a mejorar la clasificación hacia la zona supramareal en la parte central de la playa y desde el canal (clasificaciones moderadamente buenas) hasta la parte central de la playa (muy bien clasificadas), para hacerse bien clasificadas hacia el E. El extremo occidental tiende a dar curvas negativas lo mismo que en la parte alta de ésta y de la zona central. Los valores son más

positivos o menos negativos desde la bajamar a la pleamar. También, se comprueba que son más positivos hacia el borde oriental, como resultado del efecto de decantación de finos por la corriente residual (corriente de deriva de playa), con un sentido hacia el E. El borde occidental de la playa se mueve dentro de la clase de curvas mesocurtósicas; la parte centro occidental está representada por curvas platicurtósicas que pasan, hacia la bajamar y hacia el E, a curvas con ligera tendencia leptocurtósica.

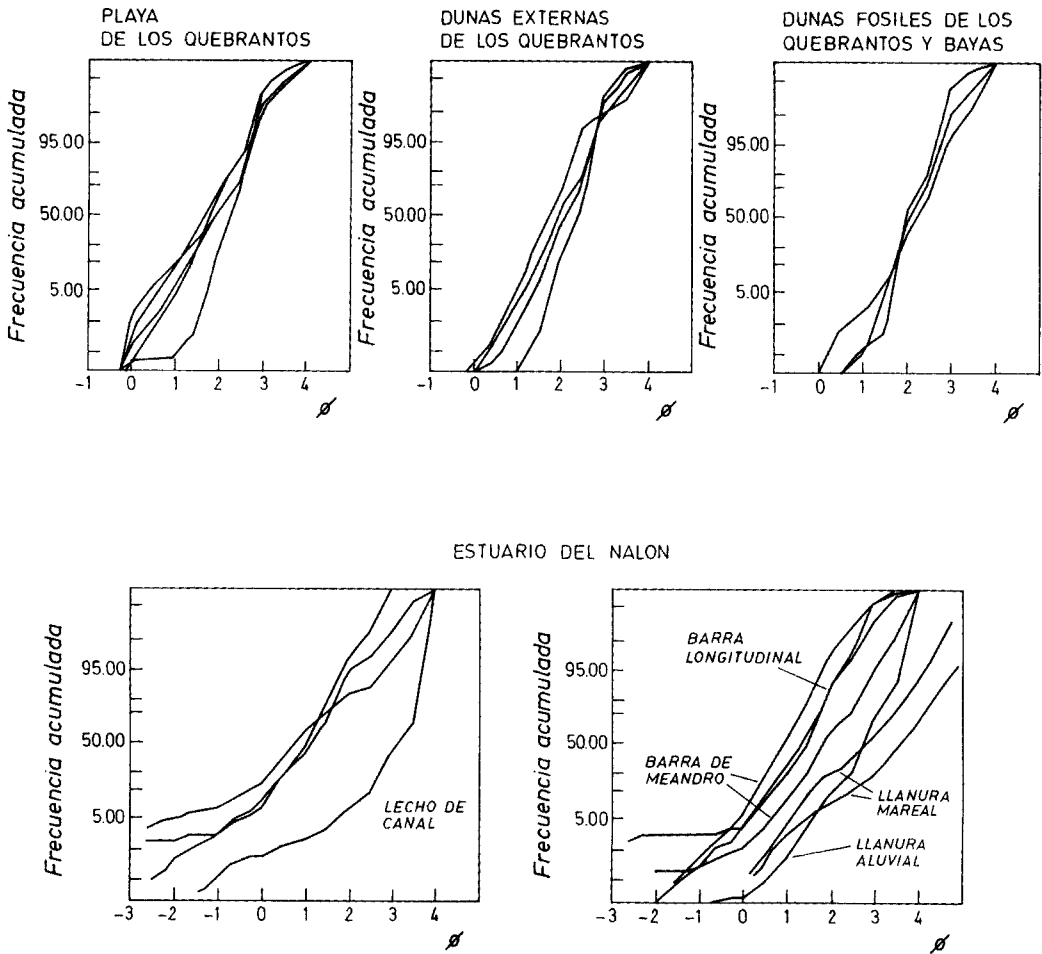


Fig. 11.—Curvas acumuladas de las litologías arenosas en papel probabilístico del sistema confinante de playa/dunas de Los Quebrantos y Bayas y del estuario propiamente dicho. Curvas mejor clasificadas (mayor pendiente) y medias granulométricas finas (más en las dunas) caracterizan el sistema confinante. Las peor clasificadas (más suaves y abarcando un espectro más amplio de poblaciones) y medias más altas definen el estuario, mejor representado por el canal principal.



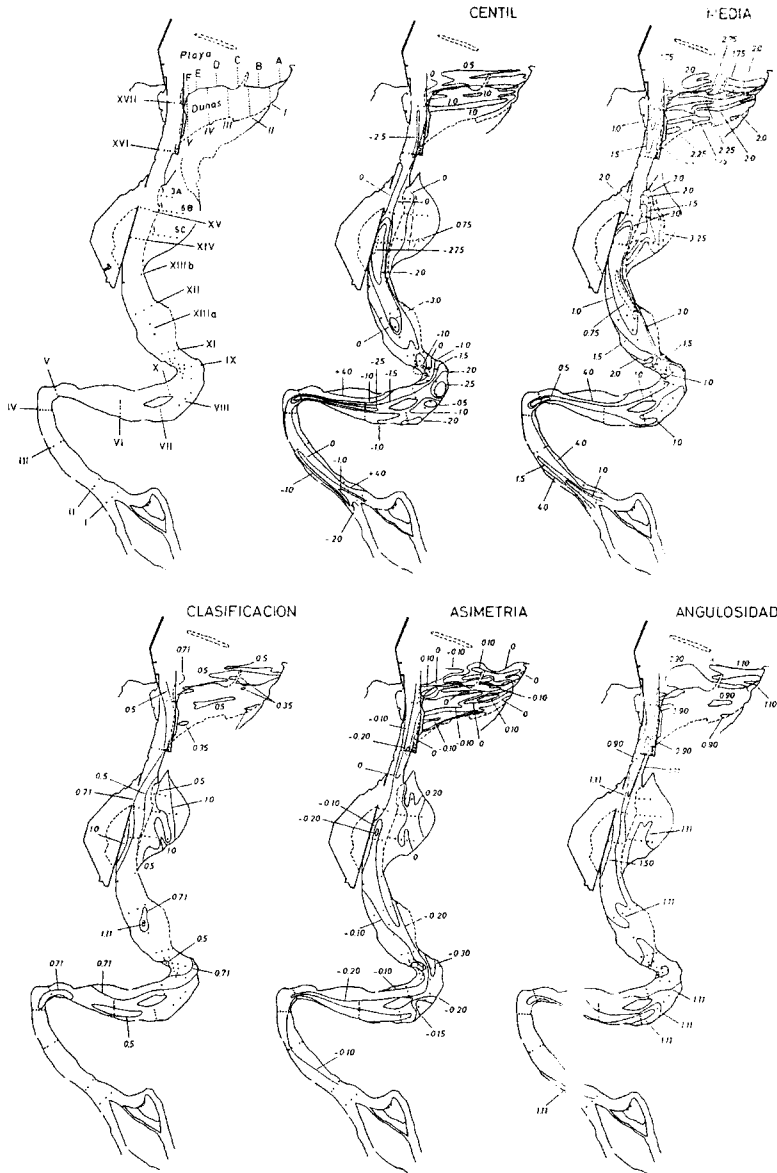


Fig. 12.- Muestras superficiales arenosas del sistema de playa/dunas de Los Quebrantos y del estuario y mapas de los diferentes parámetros granulométricos de rango (centil) y relación (media, clasificación o calibrado, asimetría y angulosidad). Los tamaños máximos del centil y la media aparecen en el canal principal y en la parte alta intermareal de la playa, mientras que los mínimos se reparten por la ensenada de San Esteban de Pravia y hacia el interior de la llanura mareal de El Arenal, siendo destacables en el margen derecho del canal principal hacia la cola. Las clasificaciones mejores se desarrollan en la playa y dunas y aisladamente en barras de meandro y lechos activos, así como en la llanura mareal externa, predominando en el estuario clasificaciones moderadamente buenas y, localmente, moderadas. Las asimetrías negativas son generales en todos los ambientes, más acentuadamente en el canal principal y cercanas al 0 e incluso positivas en playas y dunas, así como en la parte interna de la llanura mareal. Las angulosidades varían irregularmente dentro de valores medios, con una tendencia al achatamiento en playas y dunas y segmento externo del canal principal.

En las dunas de esta misma playa, los centiles se reparten paralelamente entre sí, con una dirección E-O en la porción externa y ENE-OSO en la interna. Se alternan dentro de un margen estrecho de valores, pero, a mitad del campo, se separan dos grandes bandas a partir de los tamaños gruesos 0,65 y 0,90  $\phi$ ; la más externa tiene unos 145 m de anchura y la interna variable entre 250 m en el borde occidental y 80 m en el oriental. Las medias se separan netamente en las dos bandas superficiales, a partir de medias de tamaños de 1,66 y 1,98  $\phi$ . Parece que las áreas occidentales retienen tamaños medios comparativamente más finos, probablemente por el efecto de sombra de esta zona. Las variaciones espaciales de las clasificaciones son muy tenues, discriminándose las dos bandas aludidas por un ligero empeoramiento de la clasificación, marcado por la isolínea de 0,50  $\phi$  en una banda alargada E-O, en el centro de la superficie dunar. En cuanto a la asimetría se refiere, la mayor parte de los datos son claramente negativos. Las angulosidades varían escasamente, estando marcada la línea de separación de las bandas por un ligero aumento de la angulosidad (0,95 a 0,99).

En general, dada la morfología alargada del estuario en función del canal principal, que actúa de eje energético, la distribución de las curvas de isolíneas sigue esta misma tendencia (Fig. 12). El centil máximo se ciñe al lecho del canal principal, con valores comprendidos entre  $-2,89$  y  $1,25 \phi$ , disminuyendo hacia los márgenes más o menos paulatinamente, de forma que cuando se encuentran taludes fangosos los valores descienden hasta  $4,00 \phi$ , como cifra representativa del límite arena muy fina con limo grueso. La media sigue la misma tendencia, con valores máximos de  $3,07 \phi$  y mínimos de  $0,50 \phi$ , que se relacionan estrechamente con el lecho del canal, consecuencia de la mayor energía media. Las clasificaciones oscilan entre  $0,42 \phi$  y  $1,20 \phi$ , estando ligadas las moderadas a buenas a las barras de meandro y a los bordes sumergidos del canal. Las asimetrías son en su mayor parte negativas, comprendidas entre máximos

de  $0,08$  y mínimos de  $-0,28$ ; generalmente, son más negativas en el lecho del canal principal como resultado de procesos más intensos de lavados de finos y concentración de gruesos. Las angulosidades varían desde  $0,55$  a  $1,33$ ; las curvas son más angulosas en el lecho del canal interno y en el tramo que corre pegado al dique de San Esteban de Pravia; marcan una clara asimetría si se tienen como referencia los perfiles transversales, con curvas generalmente más chatas en el margen derecho y más picudas en el izquierdo; en conjunto, mejoran en el tramo de desembocadura.

Los valores promedios parciales y globales de los diferentes parámetros granulométricos, para todos los ambientes involucrados, incluyendo los relativos a las arenas fluviales se recogen en la tabla VI.

Los contrastes entre la media y los restantes parámetros se plasman en las Figuras 13 (sistema de playa/dunas) y 14 (estuario propiamente dicho). A partir de la gráfica C-Mz, las nubes de puntos dentro del tramo RQ definido por Passega (1957) y Passega y Byramjee (1969) representan un transporte por suspensión gradada (saltación) o suspensión intermitente, como lo define Middleton (1976), con algo de rodamiento (dunas eólicas, playas, parte de las barras de meandro, barras longitudinales y lecho sumergido y la totalidad de la llanura mareal); el CS se separa aproximadamente en  $0,00 \phi$  ( $1,00$  mm), de modo que la nube restante se mueve por suspensión intermitente con algo de rodamiento, mientras que los tamaños mayores lo hacen por rodamiento (casi exclusivamente representadas por muestras del lecho sumergido).

En los contrastes de la media con la clasificación y la asimetría, la distribución de los puntos tienden a concentrarse según una V invertida, con el tamaño medio límite en  $2,00 \phi$ , que representaría la velocidad crítica de separación del transporte por suspensión intermitente, en los finos, y rodamiento sobre el fondo, en los gruesos. Los tamaños más finos y más gruesos a dicho valor, muestran tendencias lineales por las cuales a medida que el tamaño se hace más

pequeño, las clasificaciones mejoran y las asimetrías se hacen más negativas. En el contraste de la media con la angulosidad, no se sigue ninguna ley que permita establecer una tendencia definitiva.

La sedimentación fluvial en los cursos del Nalón y Narcea es muy diferente a la que tiene lugar en el estuario, de modo que en aquéllos las granulometrías son mucho mayores que en éste. Las fracciones arenosas gruesas y medias son, junto con las de gravillas, gravas y cantos de naturaleza cuarcítica, las más representativas. Dada la alta energía de estos agentes fluviales, los fangos apenas si se estabilizan en cauces y márgenes, de manera que tienden a ser arrastrados constantemente por suspensión, aguas abajo. La naturaleza mineralógica de estos sedimentos es mayoritariamente cuarzoza, pero con participación destacada de pizarras carbonosas, carbón y escorias de las térmicas (Flor et al., 1990).

Son las granulometrías arenosas las que interesan en nuestro caso, ya que, por una parte, van a conseguir quedar retenidas en el estuario o, si éste se encuentra saturado, ser transportadas hasta las playas próximas de Los Quebrantos y Bayas, e incluso extender su influencia al menos hasta las proximidades del cabo de Peñas, situado a 20 km en línea recta, por efecto del transporte de deriva costera.

Como punto de referencia se tienen en cuenta las diferentes muestras arenosas recogidas en los bordes de los cauces del Nalón, desde el N de Murios (NL-2, 3 y 4) y del Narcea en Cornellana (N-1, 2, 3 y 4), así como las del tramo Forcinas-Bancos, siendo éste el límite más interno de influencia de la onda mareal (NN-1, 2, 4 y 5), para tener una aproximación de la distribución de las cargas contaminantes que entran en el estuario (Fig. 1). Los parámetros granulométricos de cada muestra y la media total se han reunido en la Tabla VII.

TABLA VI. Medias globales de los parámetros granulométricos en los ambientes y subambientes sedimentarios más representativos del estuario del Nalón

NALON	Centil		Media		Clasif.	Asimetría	Angulos.
	ø	mm	ø	mm			
<b>Dunas eólicas de La Arena</b> (n=52)	1,04	0,49	2,17	0,22	0,44	0,02	0,85
<b>Dunas eólicas de Bayas</b> (n=17)	1,08	0,47	1,81	0,28	0,35	0,14	1,08
<b>Dunas fósiles de Bayas</b> (n=21)	1,16	0,45	1,97	0,25	0,39	0,16	0,97
<b>Playa de Los Quebrantos</b> (n=35)	0,70	0,61	1,92	0,26	0,49	0,04	0,97
<b>Playón de Bayas</b> (n=8)	1,06	0,48	1,79	0,29	0,35	0,13	1,18
<b>Canal principal</b>							
Lecho (n=34)	-1,02	2,03	1,10	0,47	0,65	0,13	1,12
Barra longitudinal (n=14)	-0,82	1,76	1,30	0,41	0,61	-0,08	1,08
Barra meandro (n=13)	-0,44	1,36	1,28	0,41	0,60	-0,08	1,11
<b>Llanura arenosa</b> (n=7)	0,82	0,57	2,65	0,16	0,77	0,07	1,08
<b>Llanura fósil</b> (n=2)	0,56	0,68	2,17	0,22	0,72	0,00	1,17
<b>Aportación fluvial</b> (n=11)	0,39	0,76	2,09	0,23	0,65	-0,08	0,98

TABLA VII. Granulometrías de cada una de las muestras y media de las muestras recogidas en los ríos Nalón y Narcea

Río	Muestra	C		Mz		$\sigma_1$	$Sk_1$	$K_G$
		$\phi$	mm	$\phi$	mm	$\phi$		
Nalón	NL2	0,31	0,81	2,39	0,19	0,94	-0,28	0,70
Nalón	NL3	-0,02	1,01	1,42	0,37	0,66	0,09	1,19
Nalón	NL4	0,25	0,84	1,61	0,33	0,60	0,08	1,14
TOTAL parcial		0,18	0,88	0,54	1,81	0,73	-0,04	1,01
Narcea	N1	-0,02	1,01	1,97	0,25	0,74	0,02	0,88
Narcea	N2	0,78	0,58	2,26	0,21	0,52	-0,20	0,88
Narcea	N4	0,32	0,80	2,29	0,20	0,65	-0,20	0,93
Narcea	N5	0,62	0,65	2,41	0,19	0,68	0,04	0,98
TOTAL parcial		0,42	0,75	2,23	0,21	0,65	-0,08	0,92
Nalón+Narcea	NN1	0,65	0,64	2,39	0,19	0,54	-0,33	1,06
Nalón+Narcea	NN2	0,65	0,64	2,40	0,19	0,63	-0,19	1,11
Nalón+Narcea	NN4	0,42	0,75	2,23	1,91	0,59	0,10	0,97
Nalón+Narcea	NN5	0,36	0,78	1,92	0,26	0,62	0,02	0,93
TOTAL parcial		0,52	0,70	2,15	0,22	0,59	-0,10	1,02
<b>TOTAL</b>		0,39	0,76	2,09	0,23	0,65	-0,08	0,98

## RELACION DINAMICA SEDIMENTACION

Las litologías arenosas son más importantes en las áreas externas, donde los agentes dinámicos son más agresivos, con influencia del oleaje (sistemas de desembocadura) y de las mareas (bahía), así como en los canales principal y menores. Por el contrario, los fangos se estabilizan en las áreas de cola, lugar en que se produce decantación de finos durante las pleamares, y en las ensenadas laterales.

Land y Hoyt (1966) al estudiar la sedimentación en un estuario meandriforme, en buena parte aplicable al del Nalón, encuentran que las corrientes de reflujo son las principales responsables de la sedimentación; su efecto se deja sentir en la misma dirección que las estructuras sedi-

mentarias, tanto en superficie como internamente. También señalan que únicamente hay dos factores que pueden determinar las diferencias entre depósitos de meandro fluviales y estuarinos: el flujo mareal reversible y el agua marina opuesta a la fluvial; el flujo reversible produce orientaciones polares que pueden llegar a dar corrientes opuestas de 180°, pero sin demasiada dispersión. Ello es debido a que la tracción de corriente en reflujos es mayor que la de flujo y, comúnmente, la marea de reflujo tiene una duración mayor. También, las corrientes que actúan durante la pleamar no se colocan estrictamente paralelas a la dirección de elongación de las barras. Se forman ondas de arenas asimétricas sobre la superficie de las barras, cuya migración se manifiesta en las estratificaciones cruzadas en surco con láminas de arcilla. Las arenas se dis-

tribuyen en el lecho fluvial y en los márgenes del canal, destacando su abundancia en El Arenal, que se comporta como una llanura de mareas de dimensiones muy reducidas; el material arenoso se deposita en el contacto con el canal fluvial evolucionando insensiblemente hacia la parte alta intermareal a fangos con alto contenido en materia orgánica. En la ensenada portuaria de San Esteban de Pravia son estables amplias extensiones de limos arenosos y fangos, siendo este componente escaso en todo el estuario activo, pero no así en las amplias superficies reclamadas. Su sedimentación es importante durante pe-

ríodos de estiaje en que se decantan capas milimétricas de fangos sobre las márgenes del canal e incluso en determinados segmentos más profundos del canal principal.

De acuerdo con la distribución de los parámetros en la superficie de la playa, se puede deducir el régimen de circulación, así como caracterizar los diferentes subambientes dinámicos (Figs. 12 y 15). El extremo occidental de la playa desarrolla una corriente de resaca que no abarca una superficie demasiado amplia, pero que se extiende afectando a todo el talud intermareal y a la parte alta de la terraza de bajamar,

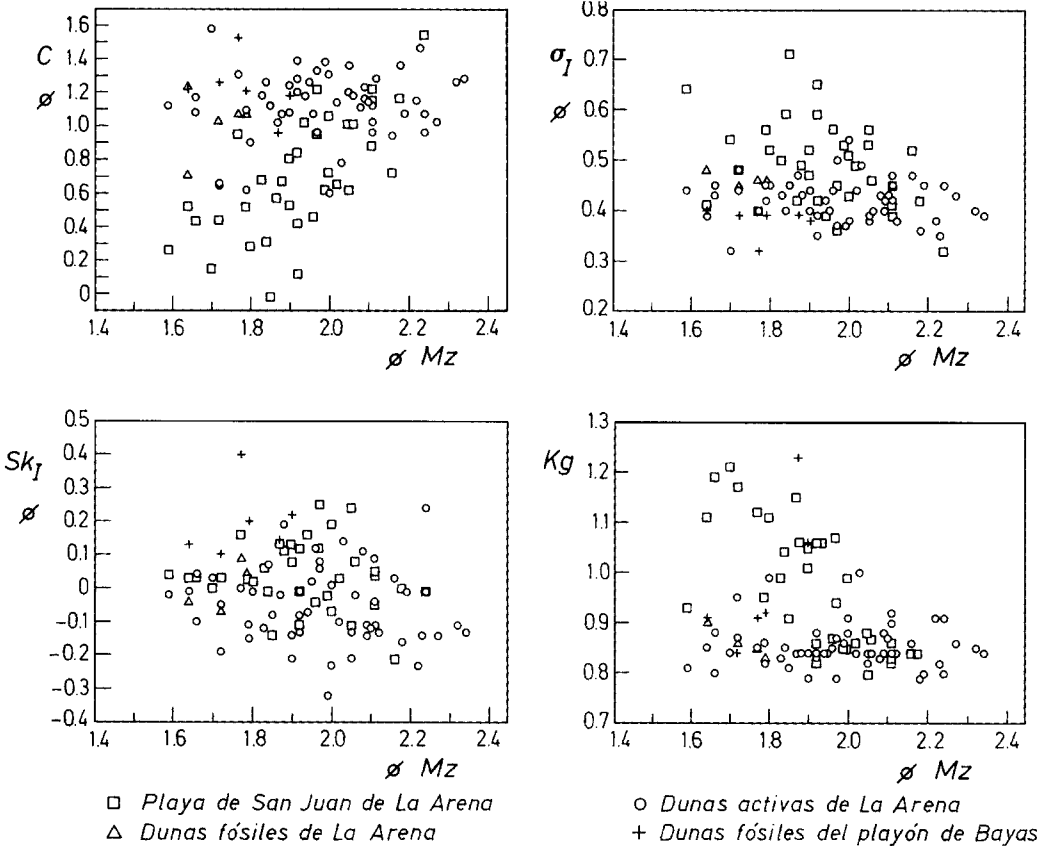


Fig. 13.- Contrastes entre la media y los restantes parámetros de playas y dunas de La Arena y de Bayas (activas y fósiles). La dispersión irregular de los puntos del gráfico media-centil impiden inferior los codos de separación entre los transportes involucrados. En los contrastes media-clasificación y asimetría, las nubes de puntos tienden a una V invertida con el punto de inflexión en 1,90  $\phi$ , aproximadamente, con peores clasificaciones y asimetrías por encima del cero para las arenas playeras. Los tamaños más finos a 1,90  $\phi$  de media se transportan por suspensión uniforme, mientras que los mayores lo hacen por suspensión intermitente. La dispersión de los puntos en el contraste media-angulosidad impide hacer cualquier tipo de valoración.

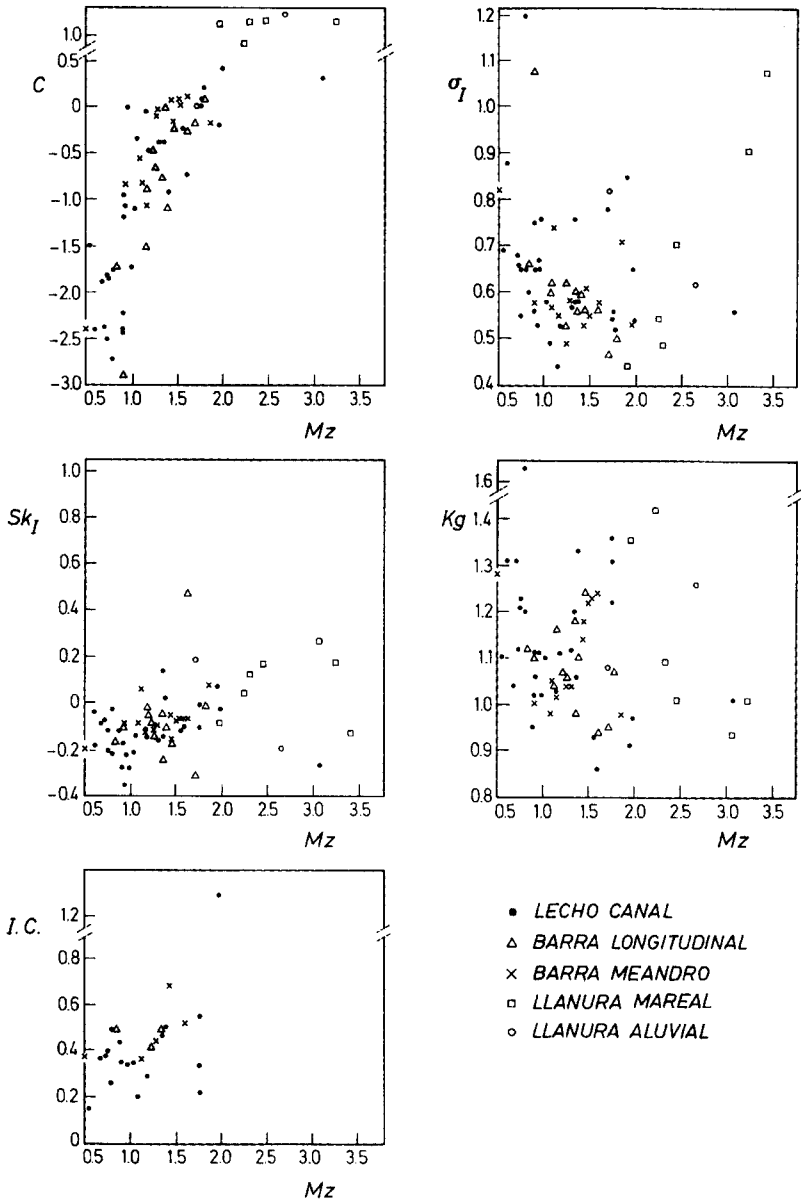


Fig. 14.- En el caso del estuario, el contraste media-centil permite separar el transporte por suspensión gradada con algo de rodamiento en los tamaños menores de  $0,00 \phi$  (1 mm) de centil (llanura mareal, buena parte de arenas de las barras de meandro y escasamente de las barras longitudinales y lecho del canal); el transporte por rodamiento con algo de suspensión gradada (buena parte del lecho de canal y barras longitudinales y escasamente de las barras de meandro) tendría efecto entre 1 mm y 2,83 mm ( $-1,50 \phi$ ); las fracciones superiores lo harían por arrastre sobre el fondo (fundamentalmente, las pertenecientes al lecho del canal). Los contrastes de la media con la clasificación, asimetría y angulosidad no revelan ninguna tendencia definida ya que la mayor parte de los puntos se concentran muy estrechamente en tamaños más gruesos de  $2,00 \phi$ , aunque es probable que alrededor de este valor se sitúe el punto de inflexión entre los aludidos, que se transportarían por suspensión intermitente, mientras que los menores lo harían por suspensión uniforme.

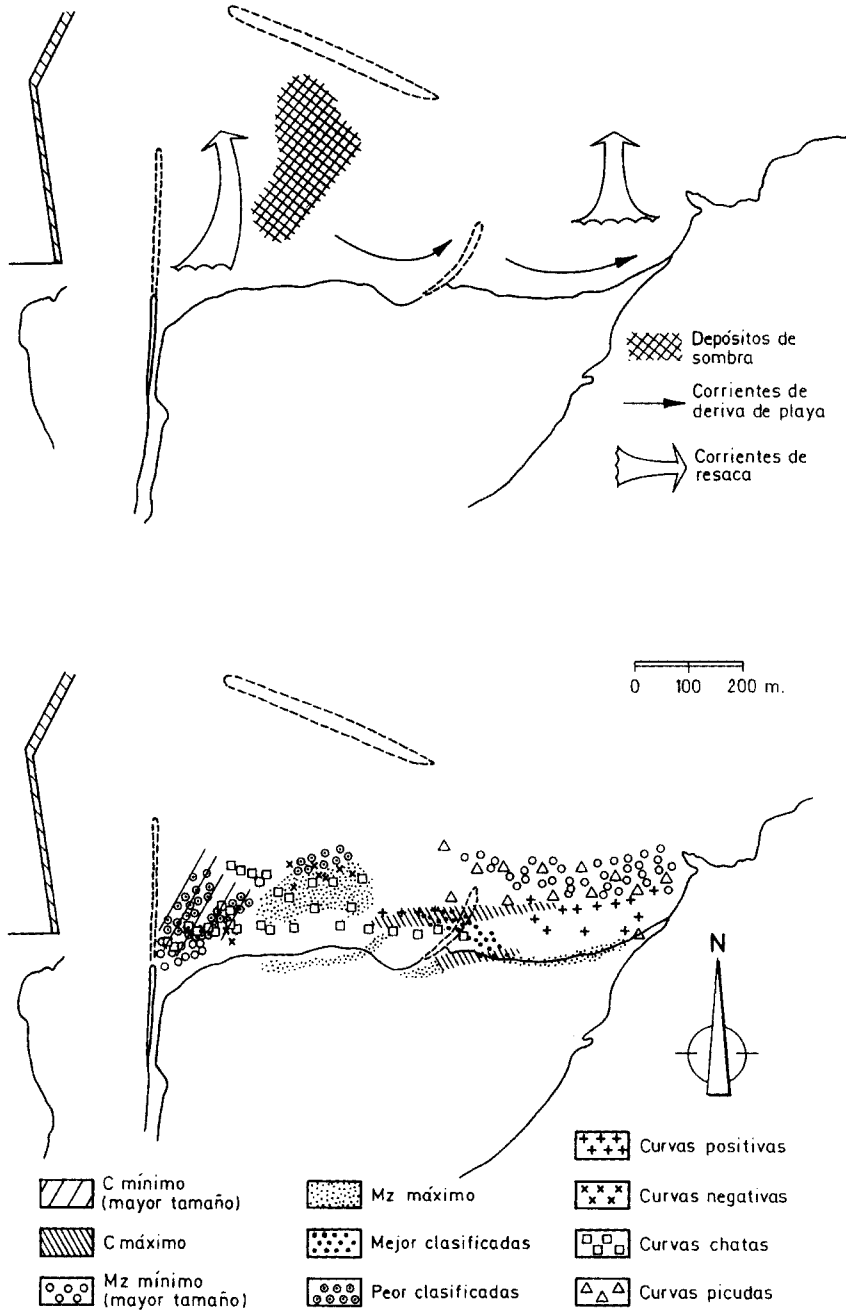


Fig. 15.- Interpretación de la circulación en la playa de Los Quebrantos para oleaje de calma del NO, a partir de la distribución superficial de los parámetros granulométricos, considerando los extremos (máximos y mínimos). Las corrientes inducidas por el oleaje en el rompiente, actuando en toda la columna de agua, se compensan mayoritariamente por la formación de dos corrientes de resaca situadas en los extremos playeros; las corrientes de deriva residuales se mueven hacia el borde oriental. El dique exento provoca la formación de depósitos de sombra, adquiriendo una morfología en hemitómbolo.

produciendo la concentración de tamaños gruesos, representados por tamaños máximos del centil y la media, clasificaciones males y curvas negativas y chatas. En la zona central comprendida entre este área occidental y el dique oblicuo o exento, se manifiestan condiciones de decantación por el abrigo de dicho dique; los tamaños de la media son menores, la clasificación es peor, las asimetrías negativas y las curvas chatas. En el extremo oriental de esta porción, se produce una corriente de deriva local, que actúa mejor sobre la parte alta de la playa, con tamaños finos para el centil y la media, las curvas son predominantemente chatas y menos frecuentemente picudas y las asimetrías positivas, como corresponde a un fenómeno residual con acumulación de finos corriente abajo. La zona situada al E del dique exento está afectada por una corriente de deriva en la parte alta de la playa y otra amplia de resaca en prácticamente toda la terraza de bajamar; la corriente longitudinal se mueve hacia el E como se deduce de los tamaños finos de la media, y valores tendentes a positivos de la asimetría y curvas picudas; la corriente de resaca muestra tamaños gruesos del centil y la media, clasificaciones medias y curvas positivas y picudas. Es en esta zona de la playa donde la energía, derivada de la actuación de esta corriente, es mucho más intensa; podría representar el área donde deja de tener efecto el abrigo (zona de sombra) del dique externo occidental o barra de San Esteban.

En todos los pasos de desembocadura, la morfología del lecho arenoso depende estrechamente de ciertos factores, como el oleaje, las corrientes y la propia geometría del canal, con una influencia estacional muy marcada. En realidad, se trata de una zona compleja en la que se distinguen un canal más o menos estrecho, que se excava en el fondo arenoso en función de la velocidad de corriente durante el reflujos mareal, y una serie de banales o barras alargadas en el sentido del flujo y reflujos situadas en posición central y lateral. Si atendemos a los estudios de Losada *et al.* (1989) para el estuario de Orio (Guipúzcoa), durante el invierno o en momen-

tos de oleajes de tormenta, en que las olas alcanzan mayor altura, el canal arenoso se profundiza, en parte motivado por la mayor descarga fluvial que permite una erosión más intensa durante el reflujos; y durante el verano, extensible a los momentos con oleajes de calma, el canal pierde profundidad y se someriza, debido a una entrada de material arenoso desde la playa, transportado por las corrientes inducidas por el rompiente de oleaje.

La dinámica del estuario interno es relativamente simple, debido a que el canal principal se constituye en la unidad morfológica, dinámica y sedimentaria esencial; así, el lecho del canal y las barras longitudinales y de meandro tienen un desarrollo extraordinario. De acuerdo con el esquema dinámico propuesto (Fig. 9.A-D), durante la bajamar, el reflujos dominante provoca un trabajado de tipo fluvial que es el modelador fundamental del canal principal. La entrada de agua salada se efectúa por el fondo en caso de estratificarse con las menos saladas superficiales o bien con una diferenciación según un plano vertical: entrada por el borde occidental y salida por el oriental. La sedimentación de la llanura mareal de El Arenal tiene lugar con una pérdida de energía hacia el interior y, consecuentemente, del tamaño de grano, haciéndose las aportaciones desde el canal principal en sentido hacia el SE por desviación de las corrientes de flujo debido a la aceleración de Coriolis. Asimismo, en la ensenada de San Esteban de Pravia al abrigo del canal, se produce un crecimiento de una llanura fangosa desde el espigón hacia el margen occidental, aquí con mayor calado, en buena parte debido a que se conserva el trazado del canal principal antiguo y a los dragados periódicos en ese área.

Los tamaños máximos se asocian a las áreas más energéticas, siendo más importantes en el canal principal. El sedimento arenoso expulsado del estuario es de tamaño menor, estabilizándose las granulometrías mayores en la playa: parte de los sedimentos arenosos son deflacionados por el viento, que tiene una menor competencia energética y, consecuentemente, dejando los ta-



maños menores en los depósitos dunares eólicos. En este mismo sentido evolucionan los valores de la clasificación, mejores en los sedimentos eólicos, y, localmente, en las barras de meandro y lecho sumergido del canal, siendo moderadamente buenas y simplemente moderadas en la mayor parte del interior estuarino. Los procesos intensos de lavado de finos, debido a niveles altos energéticos, en todo el estuario activo, así como en el sistema de playa y dunas eólicas, determinan cifras negativas de la asimetría, mayores en el canal principal; sólo en algunas áreas playeras y más en los campos dunares y la llanura mareal, se dejan sentir los efectos de una decantación de finos, que se manifiesta en asimetrías positivas. La distribución escasamente contrastada de las angulosidades, únicamente permite deducir valores de curvas chatas en el sistema de playa/dunas eólicas y en el canal principal externo.

### CONCLUSIONES

- Las mezclas de aguas fluviales y marinas en el estuario inducen circulaciones del tipo verticalmente homogéneo o de mezcla total, que es el mecanismo más frecuente, y de tipo horizontal o en cuña salina.
- La evolución de las ondas mareales por el interior del estuario se rige por un mecanismo de tipo sincrónico.
- Las ondas salinas tanto en superficie como en profundidad se comportan con una marcada asimetría. La entrada de agua marina se produce desde algo después de la bajamar, salinizándose rápidamente el estuario, y durante la mayor parte del ciclo mareal.
- Las distribuciones de las corrientes mareales en las áreas de desembocadura muestran una cierta simetría tanto durante los momentos de flujo como de reflujó, este último aunque es más importante, experimenta variaciones sustanciales hacia el interior.
- Durante la bajamar, el estuario se vacía aunque existen corrientes de flujo en determinados segmentos. En la media marea ascendente, el agua de mezcla tiende a salir por las márgenes derechas del canal principal. El vaciado se inicia antes de la pleamar, particularmente en la mitad interna del estuario en toda la columna de agua, aunque siga entrando agua salada en profundidad en el paso y el canal principal de la bahía. Durante la media marea descendente, el proceso de vaciado se intensifica, conservándose aguas de mezcla por el fondo, más salinas en el margen derecho de la mitad interna.
- Se propone una zonación longitudinal para estuarios confinados por barras arenosas: complejo de desembocadura (sistema de playa/dunas, barra y paso de desembocadura), bahía esencialmente arenosa, llanuras fangosas y canal meandri-forme superior o interno.
- Del estudio de la sedimentación playera, se han deducido los sistemas dinámicos de Los Quebrantos en los casos más usuales para oleajes del NO. Se identificó la posición de las corrientes de resaca actuantes en los extremos de la playa, así como una deriva playera constante en sentido hacia el vecino playón de Bayas, situado al E.
- La sedimentación de este estuario está dominada por la dinámica fluvial, que se deja sentir con mayor intensidad durante las bajamares y más acentuadamente para caudales de avenida. Las obras de encauzamiento y reclamación de las llanuras halófitas dejaron reducido el estuario al canal principal, que es de naturaleza arenosa y en el que se individualizan el lecho permanentemente sumergido, y barras longitudinales y de meandro. Las llanuras mareales de la bahía, también afectadas por dichas obras, y las superficies de marismas testimoniales reciben

aportes sedimentarios laterales desde el canal principal con predominio de los procesos de decantación.

- Los análisis granulométricos globales revelan las diferencias entre los ambientes y subambientes considerados. Tamaños gruesos en el canal principal y en las áreas con aportaciones fluviales directas (cola estuarina), estas últimas abarcando un espectro mucho más amplio, disminuyendo en playas, llanura arenosa y dunas por este mismo orden. Las peores clasificaciones se registran en las llanuras arenosa y fósil y en el canal principal, mejorando en las playas y aún más en las dunas asociadas. Las curvas ligeramente desviadas a cifras negativas son propias de los ambientes más energéticos (aportación fluvial y barras fluviomareales), pasando a positivas hacia las dunas eóli-

cas. La agudeza de las curvas varía muy irregularmente.

- En el gráfico media-centil se separa el transporte por suspensión gradada con algo de rodamiento en los tamaños menores de 0,00  $\phi$  (1 mm), el de rodamiento con algo de suspensión gradada entre 1 mm y 2,83 mm ( $-1,50\phi$ ) y arrastre sobre el fondo para las fracciones superiores. En los contrastes media-clasificación y asimetría, las nubes de puntos dibujan una V invertida con el punto de inflexión en 1,90  $\phi$  de media con peores clasificaciones y asimetrías por encima del cero las de tamaños mayores (suspensión intermitente): los tamaños inferiores a 1,90  $\phi$  se transportan por suspensión uniforme. La dispersión de los puntos en el contraste media-angulosidad impide hacer cualquier tipo de valoración.

## AGRADECIMIENTOS

El estudio se llevó a cabo gracias a las subvenciones de los Ayuntamientos de Muros de Nalón y Soto del Barco y, sustancialmente, por la Universidad de Oviedo a través de un proyecto de Temática Asturiana (TA 89/1538).

También queremos expresar nuestro agradecimiento a los geólogos Roberto Menéndez Fidalgo y Luis Alfonso Fernández Pérez, que colaboraron desinteresadamente en los muestreos en embarcación, tanto para la recogida de sedimen-

tos como para los registros de salinidad y corrientes. A uno de los revisores anónimos que se ha ocupado concienzudamente de la corrección del original, permitiendo mejorarlo sustancialmente para su publicación definitiva. A D. Alfonso González, laborante del Departamento de Geología, que realizó diversos análisis granulométricos para completar los efectuados anteriormente por el equipo redactor. Por último, a D. Manuel Coca Prados por su excelente labor de delineación.

## BIBLIOGRAFIA

- Allen, G. P. (1991). Sedimentary processes and facies in the Gironde estuary: a recent model for macrotidal estuarine systems. In: D. G. Smith, G. E. Reinson, B. A. Zaitlin y R. A. Rahmani (Eds.), *Clastic Tidal Sedimentology*. Canadian Soc. Petrol. Geol. Mem., 15, 29-40.
- Aller, J.; Bastida, F.; Cabal, J.; Pérez-Estaún, A. (1989). Geología del sector Cabo Vidio-San Juan de La Arena-Tineo (Zona Asturoccidental leonesa, NO de España). *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 18, 95-111.
- Bercial, A. (1989). *Estudio Granulométrico y Caracterización de las Dunas Eólicas del Playón de Bayas*. Informe Interno del Área de Estratigrafía. Facultad de Geología. Universidad de Oviedo.
- Bird, E. C. F. (1967). Coastal lagoons of southeastern Australia. In: J. N. Jennings y J. A. Mabbutt (Eds.), *Landform Studies from Australia and New Guinea*. Cambridge Univ. Press, 365-386.

- Cabrera Ceñal, R. y Flor, G. (1993). Evolución del estuario del Nalón (Asturias). *Cuaternario y Geomorfología*, 7, 23-24.
- Camblor, C. y Flor, G. (1985). Dinámica y sedimentación en el estuario de Ribadesella (Asturias, NO de España). *Actas de la I Reunión do Cuaternario Iberico*. Vol. I, 193-203.
- Dalrymple, R. W.; Zaitlin, B. A. y Boyd, R. (1992). Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Jour. Sed. Petrol.*, 62, 1.130-1.146.
- Davies, J. L. (1964). A morphogenetic approach to world shorelines. *Z. Geomorph.*, 8, 27-42.
- Dirección General de Obras Hidráulicas (1976). *Aforos 1. Cuenca del Norte de España. Período 1970-71 a 1973-74*. M.O.P.U.
- Encinar, M. V. y Flor, G. (1983). Aportaciones para el conocimiento de la dinámica y sedimentación de la ría del Eo. *Cuadernos del CRINAS*, 5, 51 pp.
- Fairbridge, R. W. (1980). The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: E. Olausson e I. Cato (Eds.), *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Wiley and Sons, Inc., 1-16.
- Fernández Martínez, M<sup>a</sup> V. (1989). IV. Hidrografía de Asturias. In: Silverio Cañada (Ed.). Gijón, *Geografía de Asturias. Tomo X. Enciclopedia Temática de Asturias*, 125-178.
- Flor, G. (1977). Los carbonatos biogénicos en los depósitos arenosos de las playas del litoral asturiano. *Brev. Geol. Astúrica*, Univ. de Oviedo, 21, 51-62.
- Flor, G. (1979). *Depósitos Arenosos de las Playas del Litoral de la Región de Cabo Peñas: Sedimentología y Dinámica*. Tesis Doctoral (inérita). Facultad de Geología. Universidad de Oviedo, 514 pp.
- Flor, G. (1983 a). Las rasas asturianas: ensayos de correlación y emplazamiento. *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 13, 65-81.
- Flor, G. (1983 b). Las formaciones dunares eólicas del litoral asturiano. *Ástura*, 1, 9-19.
- Flor, G. (1989). La Costa Asturiana. In: Silverio Cañada (Ed.). Gijón, *Geografía de Asturias. Tomo X. Enciclopedia Temática de Asturias*, 23-56.
- Flor, G. y Camblor, C. (1990). Características dinámica y sedimentológicas del estuario de Ribadesella (Asturias, N de España). *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 18, 13-36.
- Flor, G.; Fernández Pérez, L. A. y Cabrera Ceñal, R. (1992). Características dinámicas y sus relaciones sedimentarias en la ría del Eo (Galicia-Asturias, noroeste de España). *Rev. Soc. Geol. España*, 5, 7-25.
- Flor, G.; Cabrera Ceñal, R.; Suárez González, M. A. e Iglesias Ortega, P. J. (1990). Contaminación sólida en el estuario del Nalón (Asturias). *Actas de la IV Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, 165-180. Gijón.
- Folk, R. L. y Ward, W. C. (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Petrol.*, 27, 3-26.
- Hayes, M. O. (1975). Morphology of sand accumulation in estuaries: an introduction to the Symposium. In: L. E. Cronin (Ed.), *Estuarine Research, V. II. Geology and Engineering*. Academic Press, 3-22.
- Land, S. L. y Hoyt, J. H. (1966). Sedimentation in a meandering estuary. *Sedimentology*, 6, 191-207.
- Losada, M. A.; Medina, R. y Desiré, J. M. (1989). The Orío Inlet: A case of study from the North Coast of Spain. *Jour. Coast. Res.*, 5, 137-145.
- Martínez Cedrún, P. (1984). Dinámica y sedimentación en el estuario del Asón (Cantabria). *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 14, 175-197.
- Mary, G. (1979). *Evolution de la Bordure Côtière Asturienne (Espagne) du Néogène à l'Actuel*. Thèse de Doctorat. Univ. de Caen. 284 pp.
- Mary, G. (1983). Evolución del margen costero de la cordillera Cantábrica en Asturias desde el Mioceno. *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 13, 3-35.
- Middleton, G. V. (1976). Hydraulic interpretation of sand size distributions. *Journal Geology*, 84, 405-426.
- Nichols, M. M. (1991). Zonation and sedimentology of estuarine facies in an incised valley, wave-dominated, microtidal setting. New South Wales, Australia. In: D. G. Smith, G. E. Reinson, B. A. Zaitlin y R. A. Rahmani (Eds.), *Clastic Tidal Sedimentology, Canadian Soc. Petrol. Geol. Mem.*, 15, 41-85.
- Oomkens, E. y Terwindt, J. H. J. (1960). Inshore estuarine sediments in the Haringvliet (Netherlands). *Geologie in Mijnbouw*, 39, 701-710.
- Passaga, R. (1957). Texture as characteristic of clastic deposition. *AAPG Bull.*, 41, 1952-1984.
- Passaga, R. y Byramjee, R. (1969). Grain-size image of clastic deposits. *Sedimentology*, 13, 233-252.
- Pritchard, D. W. (1955). Estuarine circulation pattern. *Am. Soc. Civil Engineers Proc.*, 81 (717), 1-11.
- Shi, z. y Lamb, H. F. (1991). Post-glacial sedimentary evolution of a microtidal estuary, Dyfi Estuary, west Wales, U. K. *Sedimentary Geology*, 73, 227-246.
- Silvester, R. (1974). Coastal Engineering, II. Sedimentation, estuaries, tides, effluents, and modelling. *Develop. in Geotech. Engin. 4B*. Elsevier, 338 pp.
- Simmons, H. B. (1955). Some effects of upland discharge on estuarine hydraulics. *Amer. Soc. Civil Engineers Proc.*, 81 (792), 1-20.
- Vázquez Argüelles, M. P. (1974). *Dinámica y sedimentación en la ría de Villaviciosa*. Tesis de Licenciatura (inérita). Departamento de Geología. Universidad de Oviedo, 156 pp.

