

## Actividades de campo en estuarios como recurso educativo

### *Field activities in estuaries as educational resource*

**GERMÁN FLOR Y GERMÁN FLOR-BLANCO**

Área de Estratigrafía. Departamento de Geología. Grupo de investigación GeoQUO (Geomorfología y Cuaternario, Universidad de Oviedo). C./Jesús Arias de Velasco, s/n. 33005. Oviedo. E-mail: [gflor@geol.uniovi.es](mailto:gflor@geol.uniovi.es); [gfb@geol.uniovi.es](mailto:gfb@geol.uniovi.es)

**Resumen** Las experiencias en actividades de campo para docentes acerca de las distribuciones morfológicas y sedimentarias de diferentes ambientes costeros, particularmente en estuarios, constituyen un recurso educativo del mayor interés. En los estuarios mesomareales en Portugal, costa andaluza occidental, Galicia y costa cantábrica, es posible identificar la zonación morfológica de estos ambientes de transición y las principales unidades morfo-sedimentarias. Las barreras confinantes constituyen de por sí elementos singulares que incluyen la playa expuesta y el campo eólico dunar, dentro del cual se instalan comunidades vegetales características. Se trata de reconocer numerosas estructuras sedimentarias superficiales y subsuperficiales de origen dinámico (ondas de arena, ripples de corriente, oleaje e interferencia, marcas de vaivén, arroyada, arrastre, depósitos residuales, etc) y biogénico (pellets de digestión, marcas y trazas de locomoción, burrows y galerías entre otros), así como de organismos bioturbadores (infauna). También se pretende comprobar la estratificación de la vegetación en sentidos longitudinal y transversal que se traduce en la formación de extensos espacios de marisma. Los problemas derivados del manejo antrópico son una práctica habitual en muchos estuarios, como la desnaturalización, dragados, canalizaciones, construcciones de puertos deportivos, etc, que han supuesto la alteración de un hábitat exclusivo desde los puntos de vista geológico y biológico.

**Palabras clave:** Biota, estructuras sedimentarias, estuarios, salida de campo, unidades morfo-sedimentarias.

**Abstract** *Educational field trips related to morphology and sedimentary distributions of different coastal environments, particularly in estuaries, constitute an interesting educational resource. In mesotidal estuaries of Portugal, western Andalusie, Galicia and coasts of the Cantabrian Sea, it is possible to identify the morphological zonation of these transitional environments and the main morpho-sedimentary units. The confining barriers constitute the only elements, including exposed beach and the aeolian dune field, within which characteristic plant communities have developed. The goal is to recognize a great number of surficial and subsurficial sedimentary structures of dynamic origin (sand ripples, current, waves and interference ripples, swash marks, rill marks, drag, lag deposits, etc) and biogenic origin (digestion pellets, surficial trails and tracks, burrows, galleries, among others), as well as the specific organisms that remove the sediment (infauna). The task consists in checking the vegetational stratification in longitudinal and transverse direction, which gives rise to the formation of large marsh spaces. The problems of anthropic management are common in many estuaries: reclamation, dredging, channelisation, construction of marinas, etc. They have caused changes in a habitat that is unique from the geological and biological points of view.*

**Keywords:** *Biota, estuaries, field trip, morpho-sedimentary units, sedimentary structures.*

### INTRODUCCIÓN

Los estuarios se constituyen en los medios costeros intermedios más representativos en cuanto a la transición entre los procesos continentales y marinos, que conlleva los consiguientes cambios en

las dinámicas de los agentes involucrados, los sedimentos aportados en cada caso y las morfologías resultantes. Por otra parte, animales y plantas se han adaptado a cada subambiente o facies con el consiguiente estrés que se manifiesta entre los cam-

bios extremos de salinidad, tiempos de exposición a condiciones subaéreas por las mareas y diferentes tipos de fondos sedimentarios. De hecho, son varios los kilómetros que se requieren para pasar desde ámbitos continentales en que predominan las descargas fluviales, pasando por el propio ámbito estuarino, donde las aguas dulces se mezclan con las salinas por efecto de las mareas y de las descargas fluviales, hasta los propiamente marinos donde las playas expuestas están dominadas por los oleajes incidentes y en caso de que haya excedentes arenosos, se desarrollan campos dunares.

Algunas propuestas para desarrollar actividades de campo han sido elaboradas y publicadas para su materialización como parte de la docencia en el ámbito de las Ciencias de la Tierra, partiendo de la puesta en contacto directo con el propio medio (Brusi, 1992). Se articulan como complementos de carácter didáctico (Compiani y Carneiro, 1993), integrándolas con las tareas en el aula o en el laboratorio (Jaén García y Bernal Martínez, 1993) sobre las que se han sugerido las metodologías adecuadas para un mejor aprendizaje (García de la Torre, 1994). Otro nivel lo constituyen las excursiones científicas en relación con congresos, como las incluidas en el XI Simposio sobre la Enseñanza de la Geología (Barba Regidor, 2004) y las georrutas, como las enfocadas a espacios protegidos (Carcavilla, 2007; Catana y Caetano Alves, 2009). Más ambicioso resulta para los estudiantes de Geología, Ciencias del Mar, Ciencias Ambientales y Geografía la oferta formativa de mayor envergadura por sus contenidos y días programados en el Delta del Ebro (Fregenal Martínez, 2009). Finalmente, el último monográfico sobre actividades de campo debe ser un referente de con-

sulta obligado que, como detallan los coordinadores (Morcillo y Bach, 2011), dan cabida a iniciativas numerosas y novedosas puestas en marcha desde hace pocos años.

En este trabajo, se marcan las pautas para la realización de itinerarios en estuarios mesomareales españoles (Fig 1), con mayor énfasis en los aspectos geomorfológicos y sedimentológicos, particularmente en lo que concierne a estructuras sedimentarias de carácter físico y biogénico. Gran parte del trabajo a realizar es extrapolable a los estuarios portugueses y atlánticos, en general por su semejanza e incluso a otros con características mareales distintas (micro y macromareales), aunque gran parte de las estructuras y unidades sedimentarias que se exponen, serían distintas.

Las rías gallegas, también presentan ciertas similitudes con los estuarios propiamente dichos, por lo que el trabajo es también equivalente, aunque la parte más externa es completamente diferente. Hay casos de estuarios dentro de las propias rías, como el de la Ramallosa (Vigo, NO de España) y por lo tanto, el procedimiento aplicable es idéntico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se detallan las pautas necesarias a seguir para, mediante la realización de itinerarios y puntos de observación, atender a los objetivos planteados. Se desgranan una serie de contenidos que sean el soporte para elaborar unas actividades de campo sobre alguno de los estuarios que se encuentren dentro de un ámbito geográfico relativamente próximos a los centros de enseñanza.

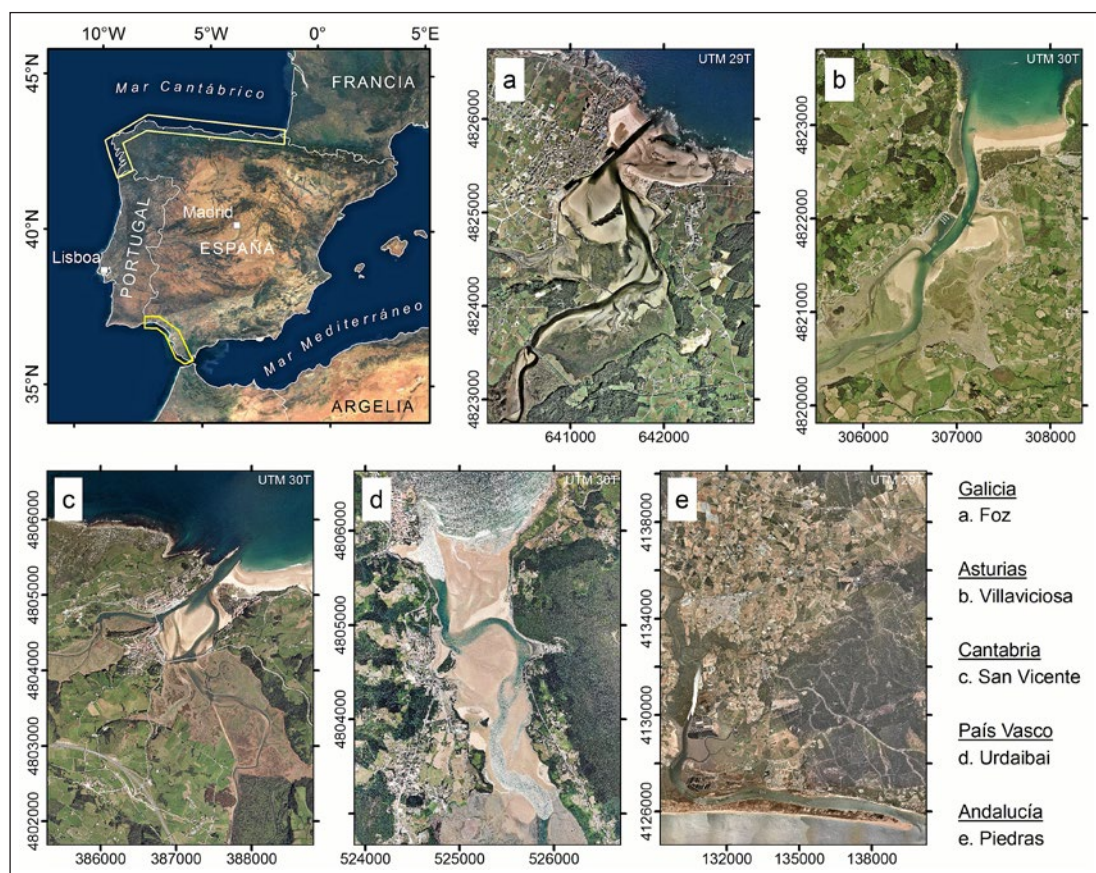


Fig. 1. Sector de costa española donde se desarrollan estuarios y rías, mostrando un estuario característico de cada Comunidad Autónoma: a) Foz (Galicia), b) Villaviciosa (P. Asturias), c) San Vicente de la Barquera (Cantabria), d) Urdaibai (País Vasco), e) Piedras (Andalucía).

Los trabajos previos consistirán en adquirir las ortofotos recientes del Instituto Geográfico Nacional (visor *iberpix 2* IGN) y de satelitales tipo Google Earth o BingMaps, en este caso, accediendo a las históricas desde principios de siglo XXI, para tener una primera visión vertical del estuario y de las áreas externas objeto de los itinerarios. También se dispondrá de juegos de fotografías aéreas verticales, que permitan una actividad con el estereoscopio en el gabinete, pudiendo identificar las áreas representativas y marcar así los recorridos: playa y campos dunares de la barrera confinante, canal principal y sus barras asociadas, deltas mareales de flujo y/o de refluo, llanuras arenosas, playa y dunas estuarinas, canales mareales, etc.

La elección de un estuario lleva consigo la posibilidad de visitar aquellos espacios que descubre la bajamar y a los que se puede llegar sin mayores dificultades, pero también mostrar determinados contenidos que sistemáticamente aparecen bien representados; es deseable que tengan una cierta variedad de motivos geomorfológicos, sedimentológicos y biológicos de interés, así como la posibilidad de una singular vegetación y avifauna. En este sentido, es imprescindible sondear detalladamente con carácter previo las posibilidades que ofrece, elaborando itinerarios que permitan completar los objetivos.

Los entornos de la barrera se pueden visitar en cualquier momento, mientras que los del interior estuarino requieren intervalos de bajamar; las actividades se centrarán mejor sobre fondos arenosos o con gravas y arenas que queden descubiertas durante un intervalo amplio de tiempo. Los medios fangosos deben contemplarse marginalmente, tanto por la problemática de pisar sobre estos fondos blandos, como por contener comunidades vegetales de gran interés para su conservación (p.e., *Zostera* spp.)

En primer lugar, se deberá consultar la tabla de mareas del año en curso para elegir algún día en que tenga lugar una bajamar viva, mejor que coincida con la mañana o primeras horas de la tarde. El método habitual apela al uso de las tablas editadas para cada año por los Servicios autonómicos de Puertos y Pesca, o bien por alguna entidad de carácter privado o de otra procedencia.

En los enlaces de internet para cada Puerto del Estado más cercano al estuario: [http://www.puertos.es/oceanografia\\_y\\_meteorologia/redes\\_de\\_medida/index.html](http://www.puertos.es/oceanografia_y_meteorologia/redes_de_medida/index.html). *Predicciones*. Nivel del mar), se dispone de la marea correspondiente al día elegido. También si se marca en el buscador simplemente "tablas de marea" y se rastrea el relativo al puerto más cercano, que exhibirá la tabla correspondiente al año en curso, detallando el día de cada mes; p.e. el caso del puerto de Santander: [http://www.puertosantander.es/cas/tabla\\_mareas.aspx](http://www.puertosantander.es/cas/tabla_mareas.aspx) Las horas indicadas corresponden al meridiano de Greenwich (hora solar), por lo que para determinar la hora oficial, se debe sumar +1 hora en el horario de invierno y +2 horas en el de verano.

Si hubiera algún status de protección de ese espacio, se deberá solicitar el permiso a la autoridad encargada de su gestión (Director-Conservador o cargo asimilado), motivo por el cual se deberá cursar de una manera oficial, con la antelación suficiente, un escrito a la Consejería que tenga esas competencias. Generalmente, se acompañará en el mismo

de una serie de datos, como el número de alumnos, las horas de estancia y un esquema relativamente detallado de los recorridos, suscribiendo que se evitarán las zonas de mayor sensibilidad.

Al interior de la bahía arenosa se deberá acceder una hora o media hora antes de la bajamar, provistos de botas de agua o katiuskas, mejor que lleguen un poco por debajo de la rodilla, escarpines o sandalias de goma con el objeto de evitar cortes en la planta del pie y efectuar el recorrido con una cierta celeridad para evitar que la marea llenante inunde las áreas de regreso.

El tutor llevará consigo un palote o pala rígida que servirá para hincar y extraer cuidadosamente los centímetros de la capa superficial, examinando la laminación y estructuras físicas, como la esponjosa de escape de aire y algún organismo en posición de vida: bivalvos como el berberecho (*Cerastoderma edule*), equinodermos (*Echinocardium cordatum*), anélidos tubícolas (*Owenia fusiformis*, *Diopatra napolitana*) o las practicadas por algún organismo bentónico, como tubos (*Nereis diversicolor*) o galerías (*Callianassa subterranea*), etc.

Los itinerarios sobre la barrera confinante requieren únicamente calzado adecuado para caminos pedregosos y de madera, así como directamente sobre la superficie arenosa de la playa y las dunas; se acompañará con una mochila que contenga botella y/o cantimplora. También ropa de abrigo y chubasquero por si las condiciones meteorológicas lo requirieran. Esta misma indumentaria servirá para la observación de otros hitos adicionales que completan la visión del espacio en otros lugares representativos con el fin de visualizar las marismas marginales o el canal superior.

Sobre la playa y campos dunares, se podrán detallar las geometrías de las dunas y de las zonas de playa en sentido transversal, así como la vegetación autóctona y de implantación. En el itinerario intermareal y de la bahía, se podrán identificar las megaformas del fondo arenoso: canal secundario, delta mareal de flujo, playa y dunas estuarinas, etc, de manera más detallada. Se tratará de mostrar las estructuras sedimentarias superficiales dinámicas y biogénicas y se accederá a las producidas en la capa subsuperficial mediante la extracción mecánica.

El cuaderno de campo, junto con bolígrafo y lápices, recogerá la información de detalle más oportuna, en el que se incluirá la realización de perfiles y esquemas, cuya localización puede efectuarse con un GPS. Alguna muestra de conchas sueltas, restos vegetales, etc requerirá una bolsa etiquetada para su traslado al centro. En la toma de fotografías digitales es recomendable incluir un objeto o escala gráfica. Además, esta información servirá como material para ser expuesto y discutido en el aula y para elaborar una base de datos a partir de la que se desarrollen otras actividades complementarias en el aula, la cual se incrementará en sucesivas visitas para nuevos escolares.

## ESTUARIOS: POTENCIAL DIDÁCTICO

Habitualmente se reserva el término de estuarios para valles fluviales que se excavaron en las etapas de nivel bajo del mar y que, posteriormen-



te, fueron rellenados con sedimentos durante la transgresión holocena, más concretamente con el máximo Flandriense (hace aproximadamente 4.500 años), y la estabilización del nivel a lo largo del Holoceno.

Siguen, generalmente, trayectorias perpendiculares al perfil costero y son alargados y estrechos, motivo por el cual la transición de los procesos continentales (fluviales) a marinos (costeros) necesitan recorridos de escala kilométrica y tienen una estructura de corrientes bidimensionales (flujo o llenante y reflujos o vaciante). Son los mayoritarios entre una gama que debe incluir también a los vinculados a islas barrera, donde el carácter micro (costa E de USA) o mesomareal bajo (Algarve, Portugal), fundamentalmente, dentro de costas bajas o sedimentarias, que responden a una tipología diferente por cuanto se extiende subparalelamente a la línea del agua.

Por otra parte, los estuarios de valle fluvial en que el sistema de drenaje de la cuenca hidrográfica marca una configuración unidireccional, determina una planta alargada del sistema que ha dado en llamarse en embudo (*funnel-shaped*) o trompeta. El relleno sedimentario tiende a adquirir una configuración adaptada a la planta del valle original, incluso con bahías de tributarios, como respuesta a los agentes dominantes, y teniendo en cuenta que, en todos los casos, se produce un intercambio de agua y sedimentos continentales (vía fluvial) y costeros (vía mareal y por el oleaje).

Los estuarios de valle inundado pueden desarrollarse sobre fondos rocosos (*rock-bounded*), como es la casi totalidad de los andaluces, portugueses, gallegos y cantábricos o sedimentarios (*coastal-plain incised valley*).

### Clasificación de estuarios

No existe una clasificación que tenga una validez universal para estos ambientes costeros, si bien para el caso que nos ocupa debe primar la perspectiva geomorfológica. Así, nuestros estuarios son considerados como estuarios barrera (*bar-built estuaries* según Pritchard, 1967) ya que se confinan por un conjunto sedimentario constituido por una playa expuesta que culmina cuando el sistema está bien evolucionado, con un campo dunar y el tipo fisiográfico básico de estuario confinado por una barrera (Fairbridge, 1980). Siguiendo un criterio morfogénético (Perillo, 1995), se trata de un estuario primario, generado a partir de un valle fluvial.

Otros criterios han servido para clasificar los estuarios pero representan más bien características asociadas a la predominancia de un proceso dinámico. Definiciones como: un cuerpo costero de agua parcialmente confinado que tiene una conexión directa con mar abierto, en el cual se mezclan o diluyen las aguas fluviales con las marinas, son muy habituales en las publicaciones científicas (Cameron y Pritchard, 1963; Schubel and Pritchard, 1971; Perillo, 1995; UNESCO en Sinha *et al.*, 2008. Kjerfve, 1994). Basándose en los anteriores, se considera que un estuario es un valle fluvial continental o una sección de una llanura costera inundado por el mar que invadió el curso bajo de un río durante la subida del nivel del mar durante el Holoceno. Éste contiene agua marina diluida apreciablemente por el drenaje

continental, está afectado por mareas y, usualmente es más somero que 20 m.

Según sean las mezclas de agua, una primera clasificación se basó en la relación entre aguas fluviales (dulces) y marinas (saladas), según Pritchard (1952): *positivos*, si la descarga de agua dulce excede la pérdida por evaporación, en cuyo caso los estuarios contienen aguas mixohalinas; *neutros*, cuando la entrada de agua dulce es igual a la que se evapora y el estuario es eurihalino (Estrecho de Georgia, British Columbia); finalmente, es *negativo* o inverso, si es superior la evaporación al aporte de agua dulce (Laguna Madre en Texas).

Otra clasificación tiene en cuenta la circulación y estructura de la estratificación de ambos tipos de agua (Pritchard, 1952, 1955; Simmons, 1955; Dyer, 1973): 1) altamente estratificado, 2) de mezcla parcial (subtipos de *onda estacionaria*, de *onda progresiva* y de *mezcla parcial típico*), 3) de mezcla total o verticalmente homogéneo (subtipos *lateralmente homogéneo* y *lateralmente no homogéneo*) y 4) de tipo fiordo. Una actualización la propone Tomczak (1996), quien agrupa los estuarios de acuerdo con sus propiedades derivadas de la circulación y la distribución asociada del equilibrio dinámico de la salinidad: *de cuña salada*, *altamente estratificado*, *ligeramente estratificado*, *verticalmente mezclado*, *inverso e intermitente*.

En función del rango o amplitud mareal (Hayes, 1975), según la incidencia directa sobre la geometría sedimentaria de la bocana, el estuario puede ser: *micromareal*, donde dominan los cuerpos arenosos sometidos a tormentas de oleaje: abanicos de tormenta (*washover fans*), deltas de flujo y reflujos, etc; *mesomareal*, en que los deltas mareales y los meandros sobre el canal principal son los principales cuerpos sedimentarios; y *macromareal*, con una geometría embudiforme amplia, donde dominan las barras lineales localizadas en las porciones centrales externas, que son construidas por corrientes mareales de flujo y reflujos.

Según que dominen los procesos a gran escala del oleaje y/o las mareas Dalrymple *et al.*, (1992) proponen: *estuarios dominados por el oleaje*, que poseen una zonación tripartita bien definida y que están constituidos por un cuerpo arenoso bajo la forma de una barrera y el conjunto estuarino interno. Y *estuarios dominados por la marea*, asimilable a los macromareales.

Según la propagación de la onda mareal desde la bocana a la cola estuarina (Le Floch, 1961) ésta puede ser: *hipersincrónica*, *sincrónica* e *hiposincrónica*, que actualiza Dyer (1995), este último representado en Villaviciosa en que el rango mareal es máximo en la bocana y disminuye progresivamente aguas arriba. Nguyen (2008) lleva a cabo una revisión de estuarios, incluyendo nuevas ideas y actualizaciones sobre la clasificación, en la línea detallada en párrafos precedentes.

También se ha recurrido al criterio biótico, que atiende a las entradas de energía a los ecosistemas, relacionadas con las bandas climáticas y geográficas, incluyendo aquellos estuarios afectados por el hombre (Odum *et al.*, 1974). Otras citas son recogidas por Perillo (1995) cuyos contenidos son biológicos y ecológicos. Por su parte, Telesh (2004) indica que la transición tierra-mar en la cual se desarrollan los

ecosistemas acuáticos, actúan frecuentemente como filtros marginales caracterizados por una variedad de factores interrelacionados bióticos y abióticos.

La biocenosis de un estuario comprende un conjunto de especies propias de este medio, tanto de origen marino como aquéllas que muestran una osmorregulación que les permite moverse desde o hacia hábitats dulceacuícolas (Paturej, 2008). También constituyen fondos ideales como guardería de ciertos estadios larvarios del necton costero, que garantizan un medio protegido y con abundante comida. Determinadas especies migratorias de peces (diáromos), como el salmón, la lamprea, el sábalo, el reo y la anguila aprovechan los cuerpos de agua estuarinos desde salinos a dulces para su ciclo vital. Se mencionan tres tipos de productores principales: macrofitos y micrófitos bentónicos y fitoplancton.

### Agentes dinámicos

La modelización dinámica se resume en la actuación de diferentes agentes que dejan su impronta sobre estos ambientes intermedios. Por una parte, el sistema fluvial tiene una componen unidireccional hacia la costa, buscando evacuar los caudales de agua dulce y los sedimentos. Éstos experimentan un transporte más efectivo durante las avenidas de corta duración por lo que muestran una estacionalidad asimétrica muy marcada.

Los oleajes, a largo plazo, actúan en sentido contrario por cuanto provienen desde mar abierto hasta su disipación en la orilla, con un mayor protagonismo en la construcción de la barrera confinante (playa expuesta) y en la removilización de la barra de desembocadura; obviamente, su ciclicidad con periodos cortos de olas de tormenta se manifiesta en la erosión de la playa expuesta, y la reconstrucción durante los periodos dilatados a partir de olas de menor magnitud, incluyendo el transporte longitudinal por deriva de playa.

Las mareas introducen un prisma de agua salada durante cada ciclo mareal (semidiurno en la Península Ibérica: algo más de 12 horas), que debe ser evacuado, junto al caudal fluvial, hacia la bajamar, generando corrientes de doble sentido, mayores en el paso de desembocadura, donde se reduce la sección.

Finalmente, los vientos dominantes tienen precedencias muy diferentes según la zona geográfica, siendo en la costa cantábrica del NO, SO (más intensos) y NE. Su papel geológico más importante consiste en la deflación de las arenas secas en la playa expuesta para culminar el campo dunar. También durante las pleamares crean olas de viento en el interior de los estuarios que generan playas muy estrechas, que sirven de área fuente, durante las bajamares, para la sedimentación de las dunas estuarinas.

### Distribución sedimentaria

Los rellenos sedimentarios diversos se adaptan a la dinámica general y particular. Longitudinalmente, desde la bocana a la cola estuarina, se estabilizan los aportes arenosos debido al proceso selectivo del oleaje, un agente de alto nivel energético capaz de removilizar esta fracción y las de gravas. A medida que se penetra en el estuario, y de manera particular

en las márgenes del canal principal, se estabilizan los fangos (fracciones de arenas fina y muy fina y limos) y la materia orgánica. Donde la influencia fluvial es mayor, los arrastres de fracciones de gravas e, incluso, cantos durante las avenidas rellenan el canal principal, dejando llanuras laterales de composición arenosa y limosa con pasadas de gravas.

En sentido transversal desde el canal principal como unidad morfosedimentaria y dinámica de mayor energía, las fracciones son las más groseras, pasando hacia las márgenes a granulometrías progresivamente más finas. En las áreas internas, la meandrificación del canal genera márgenes erosivos, donde estas transiciones se truncan.

En algunos estuarios conectados a ríos cordilleranos, como los cantábricos del Navia, Sella (Flor y Cambor, 1989), Cares-Deva (Flor-Blanco, 2007), que aportan elevados volúmenes de gravas, los rellenos contienen grandes proporciones de estas fracciones en diferentes áreas. Las fracciones mineralógicas tienen, generalmente, una doble composición mineralógica. Son mayoritarios los aportes fluviales, caracterizados por el cuarzo en las fracciones de arena y limo, y cuarcita y pizarras en las gravas y cantos, de modo que algunos estuarios están rellenos exclusivamente por esta componente siliciclástica: Navia, Nalón, Sella, Cares-Deva, Nansa, Nervión en el Cantábrico, y Duero y Tajo en el Atlántico portugués, y Guadiana, Piedras, Tinto-Odiel, Guadalquivir y Guadalete, en el Golfo de Cádiz.

El borde costero suministra los bioclastos, que son mayoritarios en volumen sobre tramos de costa rocosa en el perfil vertical (supra, inter y submareal), donde las comunidades bióticas sintetizan el carbonato de los caparzones o partes duras. Son elevados en áreas muy localizadas de afloramiento costero (*upwelling*) o donde los nutrientes de los estuarios bien desarrollados con llanuras fangosas y marismas son evacuados durante las vaciantes al borde costero y favorecen un incremento del potencial biótico.

### Zonación geomorfológica

Si bien la mayoría de los autores admiten una zonación tripartita longitudinal (Dionne, 1963; Dalrymple *et al.*, 1992; Flemming, 2011) como respuesta a los niveles energéticos y sus correspondientes fracciones sedimentarias, no existe un acuerdo definitivo en cuanto a las subdivisiones mayores que deben incluirse en cada zona. Consecuentemente, si se atiende a la realidad morfológica, dinámica y sedimentaria de los estuarios desarrollados en costas mesomareales, son cuatro las zonas geomorfológicas (Flor, 1995), cuyas características se manifiestan en una variada gama de unidades morfosedimentarias y dinámicas, equivalentes a facies: *Complejo de desembocadura*, *Bahía*, *Llanuras mareales* y *Canal superior* (Fig. 2).

*Complejo de desembocadura.* La barrera confinante incluye la playa expuesta y los campos eólicos asociados y en algunos casos, puede estar constituida por gravas o gravas y arenas, en cuyo caso no se desarrolla un campo dunar culminante. El paso de desembocadura se continúa exento hasta conectar mar afuera con la barra de desembocadura o delta de reflujo con forma arqueada.

Existen algunos estuarios cuyo confinamiento principal se produce gracias a promontorios rocosos que avanzan hacia el eje estuarino (entre los mayores de la costa cantábrica: Eo, Niembro, Tina Mayor y Tina Menor, Ajo, Pasajes de San Juan). La barrera confinante se reduce a una estructura sedimentaria, que solamente emerge durante las bajamareas.

Dentro de los complejos de desembocadura, en aquellos dominados por olas muy energéticas, no desarrollan amplios deltas de reflujo, existiendo sólo barras de desembocadura con forma arqueada en el frente del paso de desembocadura (e.g. Navia, Villaviciosa, Tina Mayor o Guernica). En zonas donde el oleaje es de energía menor (estuarios del suroeste de España, e.g. Guadiana, Piedras o Punta Umbría) se pueden desarrollar deltas de reflujo completos, con lóbulos frontales bien desarrollados y *levees* que flanquean el canal principal de reflujo y que actúan como plataforma de batida desarrollando un amplio abanico de micro y mesoformas.

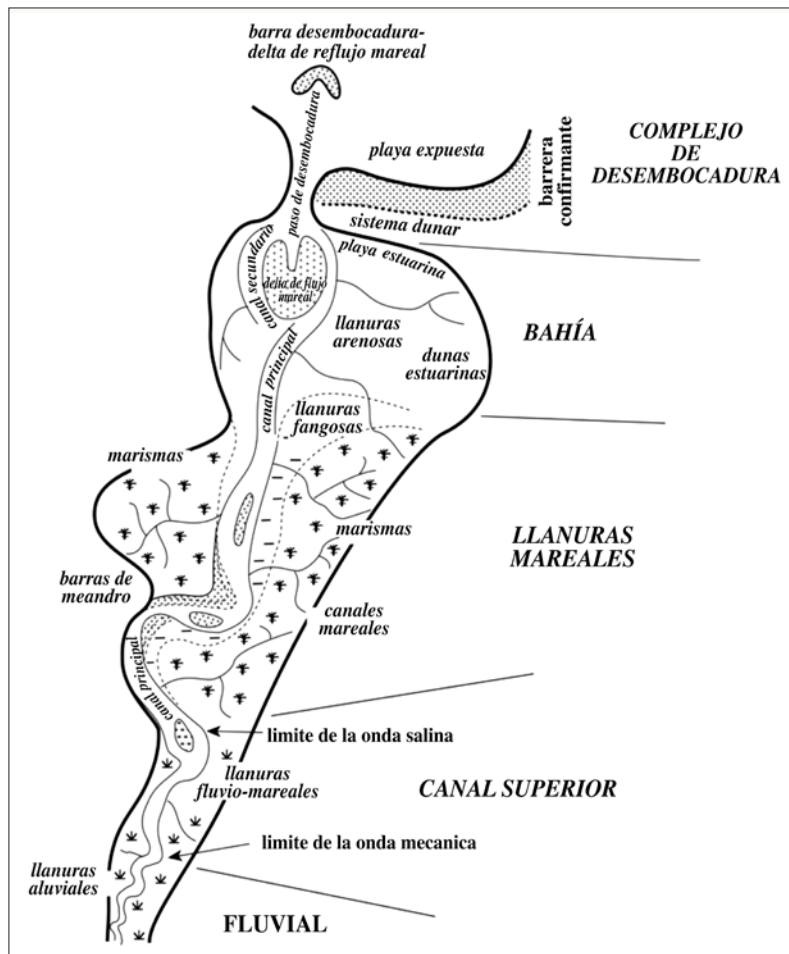
**Bahía.** Es un espacio amplio atravesado por el canal principal poco sinuoso con barras de meandro. Se generan bancales arenosos, individualizándose un delta de flujo con su rampa de alto flujo, barras horquilladas (*spill-over lobes*), llanuras arenosas, playas y dunas eólicas estuarinas. En el hemisferio N, durante las pleamares vivas se activan corrientes horizontales levóginas en el metro superficial de agua, actuando el canal secundario como parte del giro (Flor *et al.*, 1996). En las bajamareas,

los canales funcionan como fluviales.

**Llanuras mareales.** Son predominantemente fangosas y se colonizan por vegetación halofítica, que se estratifican desde los canales según la topografía ascendente hacia afuera del canal principal (de menor a mayor resistencia a la desecación) y, longitudinalmente, desde el extremo externo (mayor salinidad) al interno. Están surcadas por el canal principal, algo más sinuoso que en la bahía, y por una red de canales de drenaje (menores y mareales o *tidal creeks*). Desarrollan barras de meandros y longitudinales, donde predominan las fracciones de arena y fango; se incorpora una gran cantidad de cantos blandos y restos vegetales, donde la infauna dominante está representada por bivalvos filtradores y anélidos, algunos de cuyos restos se incorporan al sedimento como grandes bioclastos o individuos enteros. Las charcas mareales (*ponds*) ocupan canales mareales abandonados donde proliferan gasterópodos como *Hydrobia ulvae*.

**Canal superior.** El canal principal desarrolla meandros encajados en la misma llanura sedimentaria, tanto arenosos como fangosos, y atraviesa las llanuras fluvio-mareales. Aguas arriba se hacen más arenosos y aparece mayor cantidad de gravas y cantos angulosos. El límite de la cola estuarina se establece en el límite máximo al que llegan las ondas mareales o mecánicas en pleamares vivas y estiajes, aunque en algún estuario se ha modificado por la construcción de alguna presa o azud.

Fig. 2. Modelo de zonación geomorfológica longitudinal de estuarios barrera en costas mesomareales, incluyendo las unidades morfosedimentarias y dinámicas más relevantes (sin escala).



### Estructuras sedimentarias

Aunque el reconocimiento de las estructuras sedimentarias superficiales y subsuperficiales requiere un cierto grado de especialización, existen algunas publicaciones que incluyen la mayor parte de las desarrolladas actualmente en estuarios, playas y dunas, así como las que conforman los niveles más superficiales (Picard y High, 1973; Frey y Seilacher, 1980; Reineck y Singh, 1980; Allen, 1982; Howard y Frey, 1985; Ashley, 1990; Dalrymple y Rhodes, 1995; Flor, 2004; Flor-Blanco, 2007; Martinius y van der Berg, 2011).

Para la identificación de especies animales y vegetales, puede ser suficiente la consulta de guías de campo generalistas, como las de Campbell (1979), Ewald *et al.* (1993), Flechter y Falkner (1993) y Gibson (2008).

Es posible diferenciar gran variedad de unidades morfo-sedimentarias, que deberán tenerse en cuenta en una primera escala de importancia, mejor representadas en el interior del estuario: playas y dunas estuarinas, llanuras arenosas, canales principal, secundario y mareales, que pueden acompañarse de barras laterales, centradas y de meandro, márgenes erosivos, delta mareal de flujo, barras horquilladas (*spillover lobes*) y marismas marginales (Fig. 3).

Se generan estructuras de corriente sobre fondos arenosos, bien de gran escala, como *mega-ripples* y ondas de arena, y de menor escala como ripples de corriente de cresta recta, crescéticos y linguoides y de oscilación, éstos mejor en las llanuras arenosas durante las pleamares. Los objetos flotantes, preferentemente ramas, troncos y algas sueltas, pueden barrer la superficie sedimentaria,





Fig. 3. A) Dunas estuarinas vegetadas con *Halimione portulacoides*. B) Canal mareal de trazado sinuoso, relleno por fondos de arena. C) Transversal del canal secundario con el margen izquierdo desarrollando marcas de arroyada. D) Ondas de arena y ripples de corriente del arco distal del delta mareal. E) Barras de meandro en un canal mareal. F) Marcas de arrastre por un alga en una llanura arenosas; al fondo ripples de oscilación. G) Anélidos tubícolas sobre un lecho de canal y ripples linguoides. H) Campo de *Arenicola marina* con ripples transversales, que pasan a crescénticos. I) Charcas mareales en la marisma. J) Hiladas de *Hydrobia ulvae* en facies fangosas culminadas por *Enteromorpha* sp. K) Galería excavada por el cangrejo *Carcinus maenas* y un ejemplar abajo. L) Rastros de locomoción de un cangrejo que se ha enterrado en la arena. M) Marca superficial dendrítica del anélido *Nereis diversicolor*. N) Marcas estrelladas superficiales y dos ejemplares del bivalvo *Scrobicularia plana*. Ñ) Detalle del mismo en posición de vida con los rastros de los sifones. O) Montículo estrellado producido por una serie de peces mugílidos al depredar una pieza. P) Llanura de *Enteromorpha* sp., alineada por la corriente. Q) *Zostera noltii* con un *Modiolus* sp. fijado. R) Marcas de aletas ventrales de góbidos y blénidos sobre un fondo fangoso.

dejando marcas de arrastre que indican la direccionalidad de la corriente. También ante la presencia de obstáculos, como conchas y fragmentos vegetales, los flujos de agua generan marcas crescénticas que permiten deducir el sentido de la corriente.

En fondos de gravas, son habituales ondas de arena muy laxas, lóbulos estrechos alargados en la dirección de la corriente con longitud métrica y depresiones erosivas (*scour*), más frecuentes en los márgenes del canal principal.

Las estructuras de origen biogénico son referidas como estructuras etológicas por Gámez Vintanez y Liñán (1996), cuya interacción con el fondo sedi-

mentario se tipifican como bioturbación, bioerosión, biodepósito y bioordenación. El término pista (traza, huella o rastro) es independiente de los anteriores. Entre el abanico tan amplio de organismos, solamente se hace referencia a las más destacadas, como los responsables de estructuras en forma de tubos (*burrows*), practicadas en los centímetros superficiales (en ocasiones hasta 1 m, como las galerías de Callinásidos, como *Callianassa subterranea* y *Upogebia pusilla* o galeras) de anchura milimétrica, bien ramificados y con varias salidas (anélidos *Nereis diversicolor*, gusana fina o xorra, utilizada como cebo para pesca deportiva), que dejan marcas en la superficie



de tipo dendrítico, o en forma de U (*Arenicola marina*). Otros anélidos, que buscan áreas con una energía algo mayor, como canales de marea, fabrican sustancias mucilaginosas dentro de las que se instalan: *Owenia fusiformis* muy numerosos y *Diopatra napolitana* y distribuidos con menor densidad. Algunos bivalvos se entierran como los berberechos (*Cerastoderma edule*) de manera muy ubicua y dispersa, y la almeja de perro (*Scrobicularia plana*) sobre fondos fangosos; esta última imprime con sus sifones una marca estrellada sobre la superficie. Otros bivalvos de mayor porte, como *Solen*, *Ensis*, *Phollas* se instalan en los bordes de los canales.

El equinodermo *Echinocardium cordatum* se ubica por debajo de la superficie arenosa, mientras que el cangrejo de mar común o verde *Carcinus maenas* excava sus galerías de sección ovoidea en los márgenes de canales mareales, pero también deja marcas de enterramiento y de locomoción sobre la arena. Por otro lado, los rastros de gasterópodos en las superficies de arenas finas y fangos, como *Littorina littorea* (bígaro) e *Hydrobia* o *Peringia ulvae*, forman trazas sinuosas características de su reptación, que se pueden entrecruzar. Otro tipo de marcas en la superficie de arena y fango, son las de las aletas de peces góbidos y blénidos, que suelen ser numerosos, y ya más aisladamente, los montículos estrellados practicados por mugílidos.

Es importante identificar la seda de mar estrecha (*Zostera noltii*), ya que es una especie protegida por su vulnerabilidad ante la destrucción o alteración de su hábitat, que alberga bivalvos de *Tapes* ssp., *Modiolus barbatus* y gasterópodos muy escasos de *Littorina littorea*.

En estuarios meridionales, como los del Golfo de Cádiz, en las llanuras arenoso-fangosas se instalan crustáceos pequeños *Panopeus africanus* o cangrejo moro o moruno (intermareal medio e inferior) y *Uca tangeri* o barrilete (alta intermareal cerca de los canales mareales) (Rodríguez *et al.*, 1997), que practican agujeros circulares (1-2 cm de diámetro) y dejan gran cantidad de rastros y restos subsféricos rugosos de su actividad (coprolitos) en la superficie.

Para dar cuenta de la importancia de este tipo de hábitats, sería interesante completar las salidas con la identificación de pisadas de aves marinas: gaviotas, correlimos, zarapitos, etc, o agujeros de picoteo sobre la superficie para alimentarse de gusanos, así como restos de su digestión, que son comunes cuando los fondos emergen. También los rastros de escarabajos y lagartijas que, en las arenas dunares, se hacen más abundantes hacia el atardecer.

Elementos que explican la dinámica mareal o incluso los aportes sedimentarios dentro del mismo sistema son la concentración de ejemplares completos o fragmentados conchíferos en lo que constituyen depósitos residuales (*lag*), generalmente por eventos de cierta energía que elimina las fracciones finas.

## ACTIVIDADES DIDÁCTICAS

Cualquier iniciativa, ante la realización de un nuevo itinerario por alguno de los numerosos estuarios de la Península Ibérica, requiere una primera toma de contacto con el medio, primando la visita durante bajamares vivas con el análisis previo de las

fotografías aéreas de mayor calidad de las que se hayan tomado durante alguna marea también viva por el organismo correspondiente.

Se seleccionarán los puntos de entrada a las áreas intermareales, así como los recorridos por el conjunto emergido (campo dunar y playa supramareal) y aquellos hitos en algunas márgenes que sirvan para complementar el mejor conocimiento del estuario. También es importante la distribución de los motivos de mayor interés que serán susceptibles de ser incorporados a un listado, desde los de mayor escala (unidades morfosedimentarias y dinámicas) hasta las estructuras de corriente de mayor a menor escala. A partir de las geometrías de los megariples, ondas de arenas, ripples, etc, o de obstáculos con sus estructuras características, se deducirán los sentidos de las corrientes que las han generado. Si se trata de oleajes en el interior de las llanuras arenosas, las direcciones de los trenes de ondas, y si las geometrías culminan con crestas picudas o cepilladas, en este caso se deben a vaivenes de carácter erosivo algo posteriores a la formación de las estructuras.

Se hará especial hincapié en las estructuras bióticas de locomoción debidas a organismos, así como las moradas: agujeros, galerías, tubos de anélidos construidos, etc que incluso podrían manifestarse en superficie desde el interior. Seguidamente, se procederá a excavar minuciosamente con el palote o pala, haciendo aflorar el prisma de arena o fango que contenga algún motivo de bioturbación e, incluso, con la visualización del organismo. Simultáneamente, se puede tener una imagen de la laminación interna. Se procederá a restituir el espacio excavado en la medida de lo posible.

Como se ha comentado anteriormente, se pueden recoger conchas y fragmentos de bivalvos y gasterópodos, hojas y frutos de árboles de la cuenca hidrográfica, algas, etc, así como tomar instantáneas de la variedad de estructuras como recordatorio. Una información adicional importante puede centrarse en la identificación de especies vegetales en el campo, que redondeará los contenidos geológicos, así como de los organismos bioturbadores.

La toma de muestras de arena servirá para alguna actividad sedimentológica en el laboratorio, pasando por una primera fase de lavado cuidadoso y archivado. Si se pretende hacer una granulometría, se partirá de 100 g de muestra seca para su tamizado mecánico y el peso de las fracciones. Llevados los datos al 100%, se construirá la curva acumulada y se obtendrán los percentiles necesarios que permitan calcular los parámetros de relación. Un dato esencial es determinar el tamaño medio de la arena.

Bajo la lupa binocular, se analizarán los restos de organismos carbonatados (bioclastos) para familiarizarse con los grupos presentes más importantes: lamelibranchios, gasterópodos, equinodermos, distintos foraminíferos, briozoos, etc. Adicionalmente, podrían llevarse a cabo contajes para tener un dato cuantitativo, como una práctica habitual extrapolable a otros análisis.

En la fase de gabinete, se apoyarán en los manuales con fotos, esquemas y algún dibujo original por parte de los/as alumnos/as. En caso de tener soporte informático, sería bueno hacer una base de datos de las estructuras cartografiadas y ver la evolución del estuario utilizando distintos fotogramas



históricos, acompañados de ortofotos actuales, topografía y el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) si fuera necesario.

Con toda esta sucesión de datos, será posible realizar mapas temáticos de tendencias, morfológicos, sedimentológicos, ambientales etc, de manera tradicional o ya utilizando herramientas de dibujo u otras que permitan albergar bases de datos y dan mayor versatilidad en la generación de los mapas. Como aspecto no menos importante, está la necesidad de acercar a los alumnos las posibilidades de obtención de información procedente de internet para futuras salidas laborales o simplemente a modo de conocimiento general. Una serie de herramientas para previsión u obtención de datos climatológicos se adquirirían en las webs de organismos como la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y Puertos del Estado; mapas y ortofotos, en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), el visor Iberpix del Instituto Geográfico Nacional (IGN) o páginas de los distintos soportes cartográficos autonómicos; y por último, herramientas para obtener fotos satelitales u oblicuas que permiten tener una visión más cercana y actual de la zona que se visita, como es el caso de Google Earth o Maps y Bing Maps.

Los trabajos de campo, laboratorio y gabinete, unidos al soporte digital temático obtenido a través de la red, permiten dar una visión de calidad del trabajo encargado por el/la docente, pudiendo quedar un registro de cada estudiante que luego sirviera para comparar con otros/as alumnos/as en un futuro y así determinar las variaciones que ha habido en cada estuario. Este apartado final de evolución estaría orientado a realizar una actividad de debate acerca de la influencia antrópica y plantear modelos de gestión futura, individualmente o en grupo, con el apoyo de algún artículo científico, a través de la moderación de las intervenciones por parte del tutor/a y la posterior evaluación de la misma.

## BIBLIOGRAFÍA

Allen, J.R.L. (1982). Sedimentary structures, their character and physical basis. *Developments in Sedimentology*, 30A. 593 pp y y 30B. 663 pp. Elsevier. N.Y.

Ashley, G.M. (1990). Classification of large scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *Journal of Sedimentary Petrology*, 60, 160-172.

Barba Regidor, F. J. Coor. (2004). *Geocantabria. Itinerarios Geológicos*. Consejería de Medio Ambiente. Gobierno de Cantabria. 192 pp.

Brusi, D. (1992). Reflexiones en torno a la didáctica de las salidas de campo en Geología (I) y (II): aspectos funcionales. *Actas VII Simposio de Enseñanza de la Geología*. Santiago de Compostela, 363-407.

Cameron, W.M. y Pritchard, D.W. (1963). Estuaries. En: M.N. Hill (Ed.). *The Sea*, vol. 2, 306-324. Wiley-Interscience, N.Y.

Campbell, A.C. (1979). Guía de campo de la flora y fauna de las costas de España y Europa. Ed. Omega, S.A. 336 pp.

Carcavilla, L. (2007). La divulgación de la Geología en espacios protegidos: las geo-rutas del Parque Natural del Alto Tajo (Guadalajara). *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, 15 (1), 65-76.

Catana, M.M. y Caetano Alves, M.I. (2009). Los programas educativos para escuelas del Geopark Naturtejo

(Portugal): un aprendizaje en el campo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17 (1), 93-101.

Compiani, M. y Carneiro, C.D.R. (1993). Os papéis didáticos das excursões geológicas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1 (2), 90-98.

<http://redined.mecd.gob.es/xmlui/handle/11162/2216>

Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A. y Boyd, R. (1992). Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal Sedimentary Petrology*, 62, 1130-1146.

Dalrymple, R.W. y Rhodes, R.N. (1995). Estuarine dunes and bars. En: G.M.E. Perillo (Ed). *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Developments in Sedimentology* 53, 359-22. Elsevier.

Dionne, J.C. (1963). Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. *Zeitschrift Geomorphologie*, 7, 36-44.

Dyer, K.R. (1973). *Estuaries: A Physical Introduction*. John Wiley and Sons, Inc. Chichester. 140 pp.

Dyer, K.R. (1995). Sediment Transport Processes in Estuaries. En: G.M.E. Perillo (Ed.). *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Developments in Sedimentology*, 53, 423-449.

Ewald, G., Fechter, R., Grau, J. Reicholf, J. (1993). *Fauna y flora de las costas*. Guías de Naturaleza Blume. 288 pp.

Fairbridge, R.H. (1980). The estuary: its definition and geodynamic cycle. En: E. Olausson e I. Cato, Eds. *Chemistry and Biochemistry of Estuaries*, 1-16.

Flechter, R. y Falkner, G. (1993). *Moluscos*. Guías de Naturaleza Blume. 287 pp.

Flemming, B.W. (2011). Geology, morphology, and sedimentology of estuaries and coasts. En: E. Wolanski y D.S. McLusky (Eds.) *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, Vol 3, 7-38. Waltham: Academic Press.

Flor, G. (1995). Clasificación y caracterización de los estuarios asturianos. *Actas del IV Coloquio Internacional sobre Oceanografía del Golfo de Vizcaya*. Santander, 133-141.

Flor, G. (2004). *Geología Marina*. Librería SERVITEC. Oviedo. 654 pp.

Flor, G. y Cambor, C. (1989). Características dinámicas y sedimentológicas del estuario de Ribadesella (Asturias, N de España). *Trabajos de Geología*, 18, 13-36.

Flor, G., Fernández Pérez, L.A., Menéndez Fidalgo, R., Martínez Cueto-Felgueroso, M<sup>a</sup> E. y Rodríguez-Casero, G. (1996): Dynamics and sedimentation of the mesotidal estuary of Villaviciosa (Asturias, Northern Spain). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 9 (3-4), 205-225.

Flor-Blanco, G. (2007). *Características morfosedimentarias y dinámicas y evolución ambiental de los estuarios de Tina Mayor, Tina Menor y San Vicente de la Barquera (Costa occidental de Cantabria)*. Tesis Doctoral (inédita). Departamento de Geología. Universidad de Oviedo.

Fregenal Martínez, M<sup>a</sup> A. (2009). El Delta del Ebro: aula viva para la ecuación medioambiental y el análisis de riesgos costero. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17 (3), 325-337.

Frey, R.W. y Seilacher, A. (1980). Uniformity in marine invertebrate ichnology. *Lethaia*, 13, 183-207.

Gámez Vintanez, J.A. y Liñán, E. (1996). Revisión de la terminología icnológica en español. *Revista Española de Paleontología*, 11, 155-176.

García de la Torre, E. (1994). Metodología y secuenciación de las actividades didácticas de geología de campo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2 (2), 340-353.

Gibson, Ch. (2008). *Costas. Guías de Bolsillo*. Ed. Omega, S.A. 224 pp.

- Hayes, M.O. (1975). Morphology of sand accumulation in estuaries: an introduction to symposium. En: L.E. Cronin, Ed. *Estuarine Research, II, Geology and Engineering*, 3-22. Academic Press, Inc.
- Howard, J.D. y Frey, R.W. (1985). Physical and biogenic aspects of backbarrier sedimentary sequences, Georgia Coast, U.S.A. *Marine Geology*, 63, 77-127.
- Jaén García, M. y Bernal Martínez, J. M (1993). Integración del trabajo de campo en el desarrollo de la enseñanza de la geología mediante el planteamiento de situaciones problemáticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1 (3), 153-158.
- Kjerfve, B. (1994). Coastal Lagoons. En: B. Kjerfve (Ed.). *Coastal Lagoon Processes. Elsevier Oceanography Series*, 60, 1-8.
- Le Floch, P. (1961). *Propagation de la Marée dans l'Estuaire de la Seine et en Seine Maritime*. Thèse Doctorat d'État. Université de Paris. 507 pp.
- Martinius, A.W. y Van den Berg, J.H. (2011). *Atlas of sedimentary structures in estuarine and tidally-influenced river deposits of the Rhine-Meuse-Scheldt system: Their application to the interpretation of analogous outcrop and subsurface depositional systems*. EAGE Pub. Houten, 298 pp.
- Morcillo, J.G. y Bach, J. Coor. (2011). Las actividades geológicas de campo en la educación. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19 (1), 2-3.
- Nguyen, A.D. (2008). *Salt intrusion, tides and mixing in multi-channel estuaries*. Ph.D. Thesis, UNESCO-IHE Institute for water education, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands. 156 pp.
- Odum H.T., Copeland B.J. y McMahan E.A. Eds. (1974). *Coastal ecological systems of the United States*. The Conservation Foundation, Washington, D.C. 4 vols.
- Patirej, E. (2008). Estuaries-types, role and impact on human life. *Baltic Coastal Zone*, 12, 21-37.
- Perillo, G.M.E. (1995). Definitions and geomorphological classification of estuaries. En: G.M.E. Perillo (Ed). *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Developments in Sedimentology* 53, 17-47. Elsevier.
- Picard, M.D. y High, L.R. Jr. (1973). Sedimentary structures of ephemeral streams. *Developments in Sedimentology*, 17. Elsevier Science Publications. 223 pp.
- Pritchard, D.W. (1952). Estuarine hydrology. En: H.E. Landsberg (Ed.) *Advances in Geophysics*, 1, 243-280. Academic Press, N.Y.
- Pritchard, D.W. (1955). Estuarine circulation patterns. *Proceedings American Society Civil Engineers*, 81, 717/1-717/11.
- Pritchard, D.W. (1967). What is an estuary? Physical viewpoint. En: G.H. Lauff (Ed.). *Estuaries. American Association Advancement Science, AAAS Publication*, 83, 3-5.
- Reineck, H.-E. y Singh, I.B. (1980). *Depositional sedimentary environments*. Springer-Verlag. 549 pp.
- Rodríguez, A., Drake, P. y Arias, A.M. (1997). Reproductive periods and larval abundance patterns of the crabs *Panopeus africanus* and *Uca tangeri* in a shallow inlet (SW Spain). *Marine Ecology Progress Series*, 149, 133-142.
- Schubel J.R. y Pritchard W.D. (1971). What is an estuary? En: J.R. Schubel (Ed.). *Estuarine Environment*, New York, 1-115.
- Simmons, H.B. (1955). Some effects of upland discharge on estuarine hydraulics. *Proceedings American Society Civil Engineers*, 81, 729/1-729/20.
- Sinha, P.C., Rao, Y.R., Rao, A.D. y Dube, S.K. (2008). Modelling circulation and salinity in estuaries. En: *Modelling and monitoring of coastal marine processes*, 86-111. Springer Netherlands.
- Telesh I.V. (2004). Plankton of the Baltic estuarine ecosystems with emphasis on Neva Estuary: a review of present knowledge and research perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, 49, 206-219.
- Tomczak, M. (1996). *Estuaries. An Introduction to Physical Oceanography. Oceanography Lecture Notes*. Lecture 12. Flinders University. Adelaide, South Australia.
- <http://www.cmima.csic.es/mirror/mattom/IntroOc/index.html> ■

*Este artículo fue recibido el día 18 de febrero y aceptado definitivamente para su publicación el 20 de abril de 2014.*