

EXPERIENCIAS E IDEAS PARA EL AULA

EL DELTA DEL EBRO: AULA VIVA PARA LA EDUCACIÓN MEDIOAMBIENTAL Y EL ANÁLISIS DE LOS RIESGOS COSTEROS

The Ebro Delta: live hall for environmental education and coastal hazards analysis.

María Antonia Fregenal Martínez (*)

RESUMEN

El Delta del Ebro es un delta con un dominio mixto, fluvial y del oleaje, cuya dinámica natural y tendencia evolutiva están siendo afectadas por la escasez de sedimentos aportados por el río debido a la regulación hidrológica de su cuenca. La falta de sedimentos está favoreciendo el hundimiento progresivo de la llanura deltaica, la erosión y el retroceso de su línea de costa. Las modificaciones dinámicas que puedan derivarse del cambio climático y la subida del nivel del mar agravarían la situación en que se encuentra el delta y la mitad de su superficie podría desaparecer a lo largo de este siglo. Colonizado por el hombre desde finales del siglo XIX, actualmente una comunidad de 50.000 personas depende de su explotación, y parte de ella vive sobre la propia llanura. Consciente del riesgo en que se encuentra, la población lucha por mitigarlo y convertir el delta en ejemplo de Desarrollo Sostenible. Estas características hacen del Delta del Ebro un lugar idóneo para comprender conceptos relacionados con el análisis de peligrosidad y riesgos y la gestión medioambiental. Este trabajo es la descripción de la realización y los resultados de una experiencia docente que realizamos en la Universidad Complutense de Madrid con alumnos de la Licenciatura en Geología en el Delta del Ebro. Con ella pretendemos contribuir a su formación científica y técnica, así como a la construcción de la ciudadanía del siglo XXI, incentivando un compromiso coherente con la conservación del Medio Natural y el Patrimonio Geológico. La experiencia nos reafirma en la posición de que la educación es una ineludible medida para la mitigación del riesgo y la conservación del Medio Natural.

ABSTRACT

The Ebro Delta is a deltaic depositional systems controlled by river and wave processes, whose natural dynamics and evolutionary tendency are being affected by severe scarcity of sediments supplied by the river due to regulation of its basin. Sediment lack is enhancing subsidence of the deltaic plain, erosion and landwards movement of the coastline. This situation might be worsened by dynamic modifications derived of climate change such as sea level rise, and half of the subaerial delta might disappear throughout this century. The delta has been occupied since the end of the XIX century and currently 50.000 people depend on exploitation of delta resources. Even more, part of that population inhabit the deltaic plain. Population is aware of hazards that threaten them and daily struggles to transform the Ebro Delta into a paradigm of Sustainable Development. Given all those features this delta is an ideal place to understand concepts related to hazard analysis and environmental management. This work describes the development and results of an educational experience designed for undergraduate students of Geology of the Universidad Complutense de Madrid. This experience aims to contribute to the technical and scientific education of the students, as well as to the construction of the citizenship of the XXI century by means of promoting a consistent commitment to preservation of natural environments and geological heritage. This experience do also shows that education is an unavoidable measure to prevent hazards and preserve Nature.

Palabras clave: Delta del Ebro; sistemas sedimentarios; dinámica de costas; análisis de peligrosidad y riesgos costeros; educación medioambiental.

Keywords: Ebro Delta; depositional systems; coastal dynamics; hazard analysis; environmental education.

(*) Departamento de Estratigrafía e Instituto de Geología Económica. Facultad de Ciencias Geológicas. UCM-CSIC. José Antonio Novais 2, 28040-Madrid. mariana@geo.ucm.es

INTRODUCCIÓN

El Delta del Ebro (Tarragona) es uno de esos escasos tramos de la costa mediterránea cuya dinámica natural no ha sido modificada por la urbanización y la explotación turística. Definen su geografía más de 50 km. de playas y campos de dunas, 200 km² de arrozales, lagunas de agua dulce y salobre, marismas, el canal único del río Ebro, una intrincada red de canales artificiales que cubren las necesidades de riego de los cultivos, y dos bahías o *lagoones*, casi cerrados por sendas flechas litorales (Fig. 1).

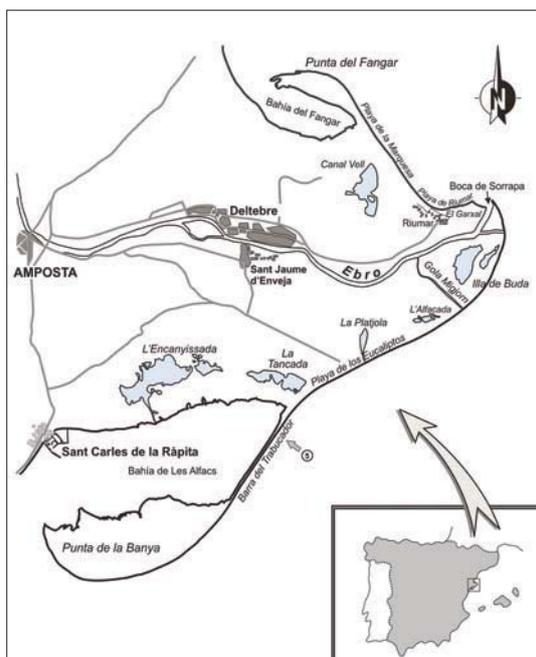


Fig. 1. Mapa general del Delta del Ebro en el que se puede ver la localización de los lugares y topónimos correspondientes a los que se hace referencia en el texto.

El delta es conocido por la riqueza de los ecosistemas que albergan sus ambientes y, especialmente, por ser lugar de paso migratorio, hibernación o cría de más de 300 especies de aves europeas. Parte de su territorio es Parque Natural desde 1983, y desde 1993 es el Sitio n° 593 del listado de humedales protegidos por la Convención Ramsar.

Paradójicamente la biodiversidad se ha incrementado desde su ocupación humana a mediados del siglo XIX, debido a la compartimentación y desalinización de la llanura como consecuencia del cultivo parcelado y la instalación de la red de canalización del riego.

Una comunidad de 50.000 personas repartida en varios núcleos, algunos ubicados sobre la llanura deltaica, depende hoy de la explotación del territorio y su futuro está ligado al del sistema.

Según esta descripción, el Delta del Ebro parecería un lugar protegido que se hubiera salvado del

gran impacto medioambiental que sufre la mayor parte del litoral mediterráneo español. Sin embargo, la gestión de la Cuenca Hidrográfica del río Ebro, a la que el Delta está supeditado, ha tenido un fuerte impacto en su dinámica y evolución. Los embalses construidos en la cuenca durante el siglo XX han disminuido en un 99% la cantidad de sedimento que llega al delta. La falta de sedimento ha impedido el crecimiento del edificio deltaico y ha incrementado el efecto de la subsidencia. Como consecuencia, el sistema se encuentra en una situación de inestabilidad que está desembocando en la erosión de sus playas, la degradación de los cordones de dunas y el hundimiento de la llanura deltaica. Una potencial subida del nivel del mar a lo largo de este siglo, ligada al cambio climático, podría suponer la inundación de una gran parte de la superficie de la llanura y por tanto la desaparición o una intensa modificación del delta como lo conocemos hoy. La prensa se ha hecho eco con cierta frecuencia de esta precaria situación, aunque su máximo protagonismo mediático sobrevino a raíz de la propuesta del polémico Tránsito del Ebro, contra la que su población mantuvo una lucha prolongada y activa.

Esta población es consciente del delicado equilibrio en que el sistema se encuentra e intenta convertirlo en ejemplo de desarrollo sostenible y conservación ambiental.

Este trabajo tiene como objetivo hacer públicos los métodos y resultados de esta experiencia docente que viene siendo sumamente satisfactoria para profesores y estudiantes. Aunque la experiencia que presentamos está orientada hacia la formación técnica de futuros profesionales de la geología, los estudiantes tienen la oportunidad de adquirir al mismo tiempo otros valores que deberían caracterizar a la ciudadanía del siglo XXI comprometida con el Medio Ambiente. Esto es posible gracias a las cualidades que el espacio del Delta del Ebro presenta como aula natural para todos los niveles educativos y para distintos ámbitos de conocimiento.

EL SISTEMA SEDIMENTARIO DEL DELTA DEL EBRO

Los deltas fluviales son sistemas sedimentarios que se forman en la desembocadura de ríos cuya tasa de aporte de sedimentos es mayor que la capacidad que tiene el mar para redistribuirlos a lo largo de la costa. Aparecen en el litoral como salientes morfológicos de geometría variable y son sistemas muy dinámicos caracterizados por presentar una geografía en constante cambio.

El Delta del Ebro es, junto a los del Ródano y el Nilo, uno de los tres grandes deltas del Mediterráneo. Es un delta con control mixto fluvial y del oleaje en contexto micromareal, aunque ha ido transformándose en un sistema controlado por el oleaje según se han ido reduciendo los aportes de sedimentos.

Su único canal fluvial discurre 30 km. por la llanura deltaica con una dirección E-O (Fig. 1), con una profundidad de 8 m. a su paso por Amposta,

antes de entrar en el delta propiamente dicho, y de 2 m. en su desembocadura. El caudal del canal es, de media en las últimas cuatro décadas, de 10.000 Hm³/año, aunque en estiajes severos se reduce a menos de la mitad. Durante el siglo XX la cantidad de sedimento aportada por el río se ha reducido en un 99%, debido al progresivo incremento en el número de embalses (Ibañez *et al.*, 1996) (Fig. 2), transportando en la actualidad unas 120.000 Tm/año de fango en suspensión.

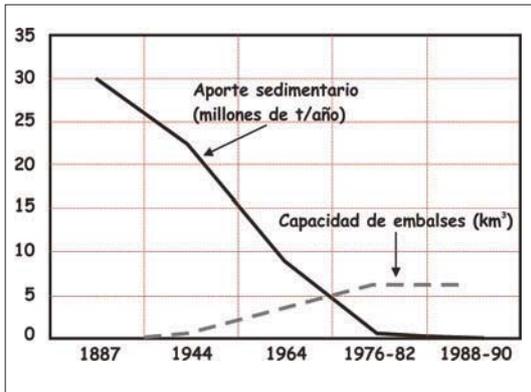


Fig. 2. Gráfico que muestra la relación entre la disminución en el aporte sedimentario al delta y el incremento en la capacidad de los embalses de la cuenca del Ebro. Modificado de Ibañez *et al.* (1996).

En periodos de estiaje el agua dulce en el canal del Ebro se reduce a los dos metros superficiales de la lámina de agua, pudiendo penetrar una cuña de agua salada por la parte más profunda del canal más de 30 km. aguas arriba.

La llanura deltaica tiene un área total de 330 km², ocupando los campos de arroz el 65 %, otros cultivos y zonas urbanas el 15% y ambientes naturales el 20% restante.

Las cotas más altas de la llanura se sitúan en los malecones del canal del río y alcanzan 3 y 4 m., aunque el 50% de la llanura se encuentra entre 0 y 0,5 m. sobre el nivel del mar.

Dos canales artificiales, que parten del azud de Xerta (Tarragona), flanquean el río transportando el agua dulce destinada al riego. De estos canales parte la intrincada red de canales menores y acequias que compartimentan la llanura deltaica cultivada. Su inundación solo se produce de forma controlada desde que comenzó el uso agrícola del territorio. El riego mantiene una lámina de agua dulce sobre el agua subterránea salina y más densa.

Desde que el Delta del Ebro comenzó a formarse hace 9000 años ha acumulado 28 km³ de sedimentos en 69 m. de espesor (Somoza *et al.*, 1998) (Fig. 3). La subsidencia (por compactación y pérdida de fluidos del sedimento) es un proceso activo con tasas variables. La más alta la ostenta la zona de la laguna del Canal Vell, en el hemidelta norte, y es de 5 mm/año; la más baja es de unos 2 mm/año y coincide con la zona de la Platjola en el hemidelta sur.

El oleaje y la corriente de deriva constituyen el principal agente de erosión, transporte y sedimentación en el litoral. Las mareas astronómicas no superan un rango de unos 30 cm., aunque las mareas meteorológicas pueden sumar hasta 50 cm. a este rango. A pesar de ello el transporte y la sedimentación por corrientes de marea son un proceso menor.

El oleaje dominante está producido por el Viento Levante (del este) y el Viento Migjorn (del sur) y, en menor medida, por el Viento Mestral (del noroeste);

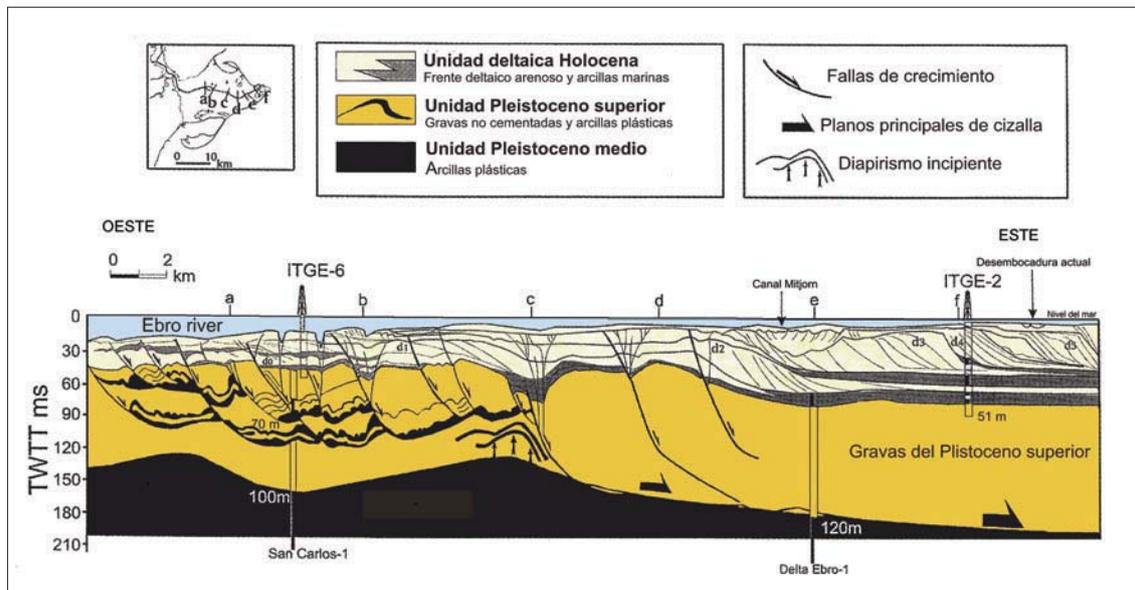


Fig. 3. Interpretación, a partir de una línea sísmica de dirección Este-Oeste paralela al río Ebro y de la correlación de dos sondeos, de la arquitectura estratigráfica y las estructuras de deformación del edificio deltaico actual y los sedimentos infrayacentes, realizada por Somoza *et al.* (1998). Escala vertical en milisegundos. d0 a d5 corresponden a los 5 lóbulos deltaicos desarrollados durante el Holoceno (ver Fig. 7).

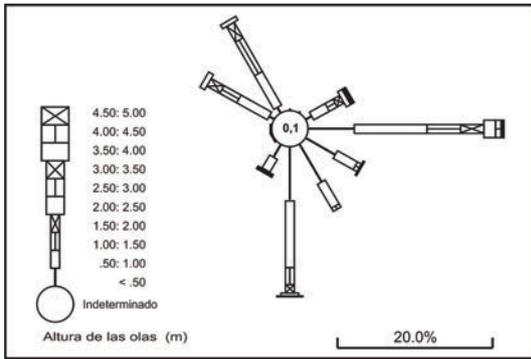


Fig. 4. Rosa de distribución de la altura de las olas según la dirección de incidencia en la que se aprecia el dominio del oleaje del este, noroeste y sur (Sánchez Arcilla et al., 1997).

en invierno por el viento del norte o Tramuntana (Fig. 4). El oleaje de Levante es el asociado al viento de tormenta y el que registra olas de mayor altura, hasta 5 a 7 m. en grandes temporales. Los temporales tienen un gran impacto en el sistema: erosionan los perfiles de playa, producen la ruptura de los cordones dunares, y la inundación de las flechas y la zona de la llanura adyacente a la costa. Aunque el sistema tiende a recuperar su estado previo a la tormenta, la capacidad de recuperación, elasticidad o resiliencia es variable de unos puntos a otros y depende del estado de "salud sedimentaria" en que se encuentren, así zonas debilitadas por procesos de retroceso de la línea de costa se recuperan con dificultad.

La deriva litoral está controlada por el oleaje inducido por el viento de Levante y tiene dos direcciones debido a la geometría del delta que se comporta como una proa separando una corriente de deriva que viaja hacia el noroeste en el hemidelta norte y una que viaja hacia el suroeste a lo largo del hemidelta sur (Fig. 5).

El Delta del Ebro es de edad holocena y empezó a formarse hace unos 9000 años, después de la última glaciación, y tras una subida del nivel del mar de casi 100 m. debida a la deglaciación.

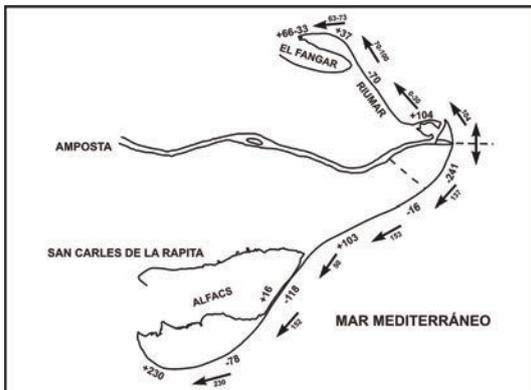


Fig. 5. Representación de las direcciones de la corriente de deriva litoral a lo largo de la costa deltaica con indicación del balance sedimentario en miles de m^3 por año. Realizado por Serra Raventós (1997).



Fig. 6. A. Mapa antiguo del delta del Ebro realizado por Joan Blaeu en 1665. Obsérvese que la geografía reflejada en el mapa es apenas similar a la actual. B. Fotografía aérea del vuelo americano de 1957 en la que se observa el entorno de la desembocadura. C. Imagen obtenida de Google Earth de la situación actual de la desembocadura a partir de imágenes del Institut Cartografic de Catalunya de 2007. Nótese la magnitud de la modificación sufrida por este entorno en 50 años. En conjunto las tres imágenes permiten hacerse una idea de la tasa de cambio del sistema deltaico.

A lo largo de su historia ha sufrido múltiples cambios morfológicos, de extensión y de distribución geográfica de sus ambientes (Fig. 6). Las modificaciones del curso del río y de la posición de la desembocadura, los cambios en las tasas de aporte sedimentario y las oscilaciones del nivel del mar han sido las principales causas y han dado lugar a la formación sucesiva de hasta cinco lóbulos deltaicos diferentes (Somoza *et al.*, 1998) (Fig. 7). En los últimos 1000 años la desembocadura ha cambiado su posición en cinco ocasiones, la última en 1937 cuando la coincidencia de una fuerte avenida y un intenso temporal marítimo de levante provocó el giro del canal (que hasta ese momento desembocaba al este) hacia el norte, formando la desembocadura actual o boca de Sorrapa.

El abandono de un lóbulo activo y el cambio en la posición de la desembocadura es uno de los procesos que dan lugar a cambios geográficos drásticos. La porción del delta que deja de ser alimentada por sedimento queda a expensas del oleaje y las mareas que lo erosionan y lo redistribuyen dentro del sistema. Así, por ejemplo, las flechas del Trabucador y El Fangar están formadas por la deriva litoral a expensas de los sedimentos arenosos de los lóbulos del Riet Vell y Sol de Riu respectivamente (Fig. 7), una vez que estos fueron abandonados.

El cambio de posición de la desembocadura en 1937 ha supuesto la erosión de la desembocadura abandonada y la formación, a expensas de los sedimentos erosionados, de una zona emergida conocida como El Garxal al oeste de la boca de Sorrapa (Fig. 6).

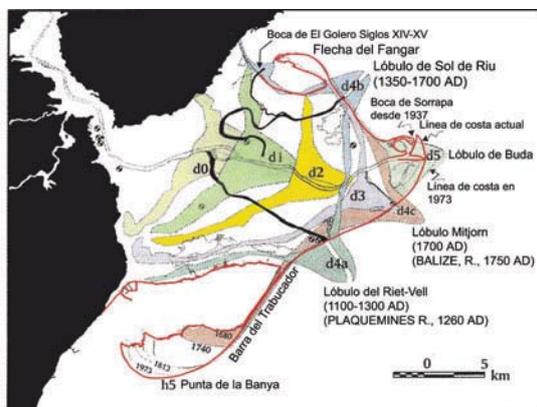


Fig. 7. Reconstrucción realizada por Somoza *et al.* (1998) de la evolución holocena del Delta del Ebro, basada en datos de subsuelo y datos históricos.

DISEÑO DOCENTE

Objetivos

Los objetivos de esta actividad docente son múltiples. Esencialmente intentamos transmitir una visión holística sobre la complejidad de los sistemas naturales, su dinámica y la interacción con el hombre.

En general, los objetivos de nuestro trabajo están encaminados a potenciar la capacitación profesional de los estudiantes de Geología, en el estudio

y la gestión de costas, el análisis de riesgos y la gestión medioambiental, áreas con demanda creciente de profesionales en España.

Aunque se espera que los expertos aporten soluciones técnicas, los geólogos, al igual que otros especialistas en la Ciencia Natural, deben poseer una formación que les capacite para encontrar una posición de equilibrio entre la defensa del Medio Natural y la demanda social de bienestar, expansión geográfica y protección frente a los riesgos. Las soluciones ecuanímes que garanticen ese equilibrio solo pueden ser aportadas por profesionales con una profunda comprensión de los medios naturales y de los problemas medioambientales desde un punto de vista científico antes que técnico.

En concreto nuestros objetivos son:

- 1- Adquirir y reforzar conocimientos básicos sobre sedimentología y dinámica de costas.
- 2- Comprender la organización sistémica de los sistemas sedimentarios. El delta, que es una unidad en sí mismo como sistema, está a su vez conformado por varios subambientes interdependientes, cada uno con su dinámica, de cuya interacción emerge la dinámica y evolución del sistema.
- 3- Aplicar los conceptos básicos del análisis de peligrosidad y riesgo, y de mitigación del riesgo y ensayar métodos de cartografía de peligrosidad. Establecer los distintos procesos de peligrosidad que afectan al Delta del Ebro y valorar el riesgo que implican.
- 4- Analizar y valorar la componente humana y su integración en el sistema.
- 5- Realizar un ensayo de prognosis evolutiva del sistema mediante la integración de los conocimientos y datos adquiridos.
- 6- Adquirir la capacitación necesaria para emitir conclusiones y formular valoraciones basadas en un estudio objetivo profundo y revalorizar la importancia del conocimiento científico como apoyo sistemático de la actuación técnica.
- 7- Evaluar la gestión actual y las medidas de mitigación ya adoptadas proponiendo, en su caso, soluciones alternativas.
- 8- Desarrollar la conciencia de la necesidad de protección del Patrimonio Geológico y del Medio Ambiente.

Métodos y materiales

Algunos de los objetivos propuestos se cumplen con la realización de actividades y el trabajo de los estudiantes. Otros lo hacen de un modo espontáneo, intuitivo o perceptivo por el simple contacto con el delta y sus gentes. El medio natural es la mejor aula para conseguir despertar la conciencia y el compromiso con el Medio Ambiente de una forma plena, reflexiva y realista. El Delta del Ebro posee una belleza armónica, envolvente, de alguna manera exótica capaz de despertar la sensibilidad y el deseo de conservar. La explotación de la llanura para el cultivo del arroz está integrada en el paisaje de una forma estéticamente natural. La percepción de esta re-

lación íntima entre el hombre y el medio provoca en los estudiantes interrogantes y reflexiones que son aprovechadas por el profesorado para ordenar y aumentar sus conocimientos. Sin embargo, conseguir esto resulta complejo ya que para el equipo docente es muy importante educar en valores medioambientales sin condicionar o conducir a los estudiantes a elaborar conclusiones que se parezcan lo más posible a las nuestras. Que sus reflexiones y las conclusiones sean libres y diversas, aunque partan de experiencias y conocimientos comunes, es fundamental para su formación como personas y como profesionales. Los espacios de debate son parte importante de los métodos que utilizamos y las ocasiones en que las opiniones de los estudiantes son más dispares suelen resultar las más enriquecedoras.

Una excursión a un medio natural dinámico y cambiante como es la costa posee además otra cualidad educativa que valoramos positivamente y a la que denominamos “el factor sorpresa”. Mientras que en otras prácticas de campo en Geología el profesorado conoce de antemano aquello que se va a observar, en este caso no podemos saber exactamente cómo vamos a encontrar los espacios que visitamos, las playas pueden presentar perfil de verano o invierno, la erosión puede haber progresado, etc. Esto suscita discusiones entre el profesorado a las que tratamos de incorporar a los estudiantes ya que resulta muy instructivo y ayuda a comprender que en la Naturaleza no todo es previsible y que no siempre tenemos todas las respuestas, ni obtenemos el conocimiento de una forma automática.

La información sobre las características generales del delta que se han explicado en el apartado anterior se facilita a los alumnos antes de realizar el trabajo de campo. Se les proporcionan, además, ortofotos recientes y cuestionarios que facilitan la adquisición ordenada de la información. También disponen de mapas antiguos, fotografías aéreas oblicuas, ortofotos, imágenes Google y fotografías de campo de años previos a partir de cuya comparación reconstruyen la evolución del sistema.

En el campo se hacen perfiles de playa, así como una cartografía y cortes de la sucesión lateral de ambientes. Se aplican geoindicadores de campo para analizar peligrosidad, y establecer estados de acreción y erosión.

Todos los datos obtenidos durante el trabajo de campo quedan plasmados finalmente en distintos tipos de mapas temáticos (Fig. 8).

Por otra parte se organizan seminarios y debates complementarios al trabajo de campo, bien en torno a conferencias, que suele impartir el personal técnico del Parque Natural o algún experto en el delta, o en torno a la proyección de una película documental sobre las tormentas en el delta. Otros debates se centran de algún proyecto de gestión o actuación en marcha o propuesto, ya sea el Trasvase del Ebro o el Plan Director del Delta del Ebro del Ministerio de Medio Ambiente.

Los profesores de la asignatura solemos visitar el delta en un momento diferente al de la excursión

con los alumnos, a lo largo de la primavera o el verano. Pretendemos así evitar el sesgo que puede inducir recoger observaciones siempre durante el otoño cuando las playas presentan características de mal tiempo, así como reunir datos y conocimientos que nos permiten orientar a los estudiantes de una forma más veraz y honesta. Todos los datos que hemos acumulado nos han permitido extraer las conclusiones expresadas en este trabajo.

Trabajo de campo: observaciones e interpretaciones

Se dispone de cuatro días para lograr los objetivos propuestos. Para optimizar la visita se han elegido cuatro zonas de estudio situadas en las dos flechas y en ambos márgenes de la desembocadura que permiten obtener una idea general y ajustada sobre las características y el estado en que se encuentra el sistema.

1. Flecha del Fangar y playa de la Marquesa

La flecha o punta del Fangar se formó a expensas del sedimento del lóbulo de Sol de Riu abandonado a principios del siglo XVIII (Fig. 1 y 7). Encierra detrás un *lagoon* muy somero que no supera los 2 m. de profundidad en su mayor parte, y con 4 m. de profundidad en el centro. Uno de sus rasgos más característicos es la presencia, al norte, de un gran campo de dunas no vegetado, con elementos de hasta 5 m. de altura y caras de avalancha orientadas hacia el sureste. Además existe un cordón de dunas vegetado situado al sur de la flecha, en la zona en que ésta enlaza con el cuerpo principal del delta, sobre el que se encontraba situado un vértice geodésico del Instituto Geográfico Nacional con una cota 3 m. que aparece reflejado en la cartografía 1:50.000 y 1:25.000 del MTN.

El extremo norte de la flecha es una de las zonas en las que el delta incrementa su superficie adosando cordones de playa a partir del sedimento que transporta la deriva litoral. Sin embargo, la mayor parte del frente oriental, constituido por la playa del Fangar y su continuación en la playa de la Marquesa, se encuentra en erosión (Fig. 9 y 10). El punto de máximo retroceso coincide con la zona adyacente a una escollera situada en la playa de la Marquesa, delante del edificio de un restaurante al que protege. Estas infraestructuras rígidas provocan la pérdida de la playa delante de ellas y aceleran la erosión a ambos lados. Actualmente la escollera y el área protegida tras ella aparecen como un saliente morfológico rígido flanqueado por dos playas en retroceso (Fig. 9).

Los indicadores de retroceso de la línea de costa son múltiples. El cordón de dunas vegetado que corre paralelo a la playa de la Marquesa ha sido erosionado por sucesivos temporales y ha sufrido procesos de rotura y *overwash* en varios puntos. *Overwash* es el proceso durante el que el oleaje rebasa la parte delantera de la playa e inunda su parte supramareal e incluso rompe o rebasa el cordón de

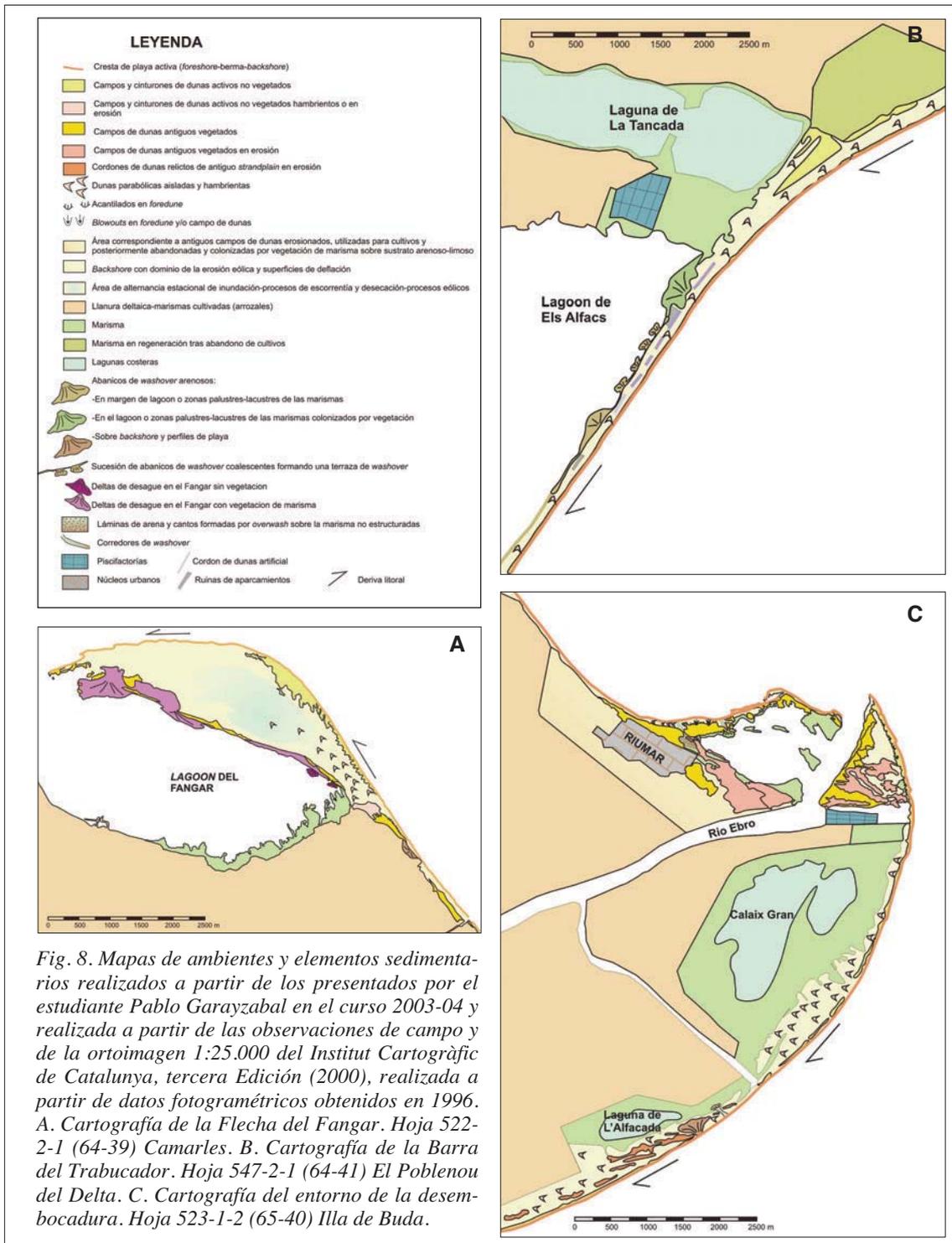


Fig. 8. Mapas de ambientes y elementos sedimentarios realizados a partir de los presentados por el estudiante Pablo Garayzabal en el curso 2003-04 y realizada a partir de las observaciones de campo y de la ortoimagen 1:25.000 del Institut Cartogràfic de Catalunya, tercera Edició (2000), realizada a partir de datos fotogramétricos obtenidos en 1996. A. Cartografía de la Flecha del Fangar. Hoja 522-2-1 (64-39) Camarles. B. Cartografía de la Barra del Trabucador. Hoja 547-2-1 (64-41) El Poblenou del Delta. C. Cartografía del entorno de la desamocadura. Hoja 523-1-2 (65-40) Illa de Buda.

dunas inundando los ambientes situados detrás de éste. El proceso suele conllevar la sedimentación de abanicos de arena, erosionada de la playa, denominados abanicos de *washover*.

Uno de esos puntos de *overwash* en la playa de la Marquesa coincide con la posición del vértice geodésico que hemos visto colocado sucesivamente al pie del cordón de dunas roto (año 2003), en la zona supramareal de la playa o *backshore* (años 2004-2005), y en la zona intermareal o *foreshore*

(años 2006-2008) según la erosión ha progresado (Fig. 9B). La ruptura y *overwash* del cordón de dunas ha formado un abanico de *washover* sobre los cultivos situados detrás del cordón, que han sido abandonados.

El cordón aparece acantilado por erosión de las tormentas y el oleaje, su vegetación está degradada, o ha desaparecido de su parte delantera. Es posible ver también vegetación enraizada, en el *backshore* o el *foreshore* de la playa, fuera de su lugar natural



Fig. 9. A. Imagen Google de la playa de la Marquesa en la que se observa el efecto erosivo producido por la escollera que protege el edificio de un restaurante y los depósitos arenosos de washover sobre los campos de cultivo. B. Fotografía tomada en noviembre de 2007 en la playa de la Marquesa. Se observa el edificio del restaurante, la escollera, y la posición retranqueada por erosión de la línea de playa. También se observa en el foreshore de la playa la silueta del vértice geodésico que se encontraba sobre el cordón de dunas.

indicando el retroceso del perfil. En algunos puntos afloran en el foreshore de la playa capas de sedimento fangoso propio del ambiente de la llanura deltaica (Fig. 10).

La parte central de la flecha es una zona plana, suavemente inclinada hacia el lagoon. Durante el verano y el buen tiempo se forma sobre la superficie una costra salina, estructuras de erosión eólica y pequeñas dunas, escasas y dispersas. Durante el invierno y en temporales la marea meteorológica sube el nivel del lagoon y gran parte de la superficie de la flecha se inunda. Cuando el temporal termina la orientación de la pendiente topográfica favorece el drenaje del agua y el sedimento de la superficie de la flecha hacia el lagoon, en cuyo margen se vienen formando unos depósitos que denominamos “deltas de desagüe” (Fig. 8A). Los depósitos han crecido



Fig. 10. Capas de sedimento de marisma en el foreshore de la playa de la Marquesa.

mucho en los últimos años, llegando a coalescer y a formar una terraza en el margen del lagoon.

En conjunto la flecha del Fangar presenta un estado transgresivo. Está sometida a una fuerte erosión en su parte litoral. La erosión es más intensa hacia el sur y en el entorno de la escollera, mientras que el margen de la flecha adosado al lagoon y el extremo norte están creciendo; los cordones de dunas están siendo erosionados, modificados y su vegetación sufre una fuerte degradación; y el sedimento está siendo redistribuido. Este hecho es independiente de si en nuestra excursión encontramos el perfil de la playa en situación de buen tiempo y por tanto completo o en acreción, o si lo encontramos en perfil de invierno o temporal y por tanto erosivo o ausente.

2. Flecha del Trabucador

La flecha del Trabucador (Fig. 8B) es el extremo sur del delta y comenzó a formarse en la Edad Media. Presenta una morfología lineal y estrecha, y termina en la punta de la Banya. El Trabucador separa del mar el lagoon de Els Alfares, que alcanza en su zona central una profundidad superior a los 6 m.

Presenta una cresta de playa activa a la que sucede lateralmente una superficie suavemente inclinada hacia el lagoon. La anchura de la flecha y su posición frente a los vientos dominantes impiden la formación de un cinturón de dunas estables.

Existe un camino sin asfaltar que llega hasta unas salinas situadas al comienzo de la punta de la Banya y un tendido eléctrico que da servicio a las salinas atraviesan la flecha longitudinalmente.

La punta de la Banya está creciendo en superficie mediante acreción de sucesivas crestas de playa a expensas del sedimento que lleva la deriva. Sin embargo, el margen externo del Trabucador sufre un proceso de erosión y retroceso que evidencia la posición del tendido eléctrico que comienza adosa-



Fig. 11. Tendido eléctrico que recorre en sentido longitudinal la barra del Trabucador en el tramo en que llega a encontrarse en la zona de batida del oleaje por erosión y retroceso del perfil de la playa.

do al *lagoon* para terminar en la zona de batida del oleaje (Fig. 11).

Las tormentas tienen un gran impacto en la flecha (Fig. 12) y llegan a seccionarla en varios puntos abriendo canales de *washover* a través de los que el mar se comunica con el *lagoon*, y en cuyo margen ha construido numerosos abanicos de *washover*. La barra se recupera posteriormente durante el buen tiempo en el que la deriva y el oleaje constructivo rellenan y cierran los canales.

Estos puntos se reconocen en los huecos erosivos que presenta un cordón de dunas artificiales que se construyó en 1992 y que recorre la barra (Fig. 8B). Las dunas artificiales corresponden a una actuación que consistió en construir un cordón compuesto por grava y arena y fijado por vegetación detrás del cual discurre el camino que llega a las salinas. El cordón fue instalado para impedir los fenómenos de *overwash* que transportaban gran cantidad de sedimento al *lagoon*. Sin embargo, estos fenómenos son un proceso natural que garantiza la conservación de la fle-



Fig. 12. Vista de la parte sur de la flecha del Trabucador tras un temporal en diciembre de 2002. Obsérvese la magnitud de la inundación y el cordón de dunas artificial disectado por canales de *washover*.

cha aunque esta vaya retrocediendo. Si el sedimento erosionado por el mar queda adosado al *lagoon* el mar siempre encontrará sedimento con el que construir un perfil de playa. Un obstáculo como la duna artificial impide el paso del sedimento hacia el *lagoon*, de modo que este vuelve al mar.

En el año 2005 se realizó otra intervención que consistió en alimentar la flecha con sedimento. El sedimento se acumuló en la zona central de la barra (Fig. 13) dejándolo a expensas del viento que lo redistribuyó, esencialmente entregándolo al mar. Durante los dos años posteriores, la playa creció ligeramente y hemos visto como el oleaje de buen tiempo adosaba una barra más al frente de la playa (Fig. 14), aunque después ha vuelto a quedar en régimen de erosión.



Fig. 13. Arena dejada sobre la flecha del Trabucador en 2005, a expensas de los procesos naturales de redistribución del sedimento, para paliar la erosión que sufre la flecha.



Fig. 14. Barra de playa recién adosada al perfil del Trabucador en octubre de 2006 gracias al sedimento de la recarga de 2005.

En conclusión, la flecha se encuentra en un estado transgresivo, de forma que se desplaza hacia el interior por erosión en el margen externo y acreción de sedimento en el interno. Rodríguez Santalla (1998) realizó una estimación de la variación morfológica y de la superficie de las flechas del Fangar y el Trabucador entre 1957 y 1998 (Fig. 15) en la que queda de manifiesto la magnitud de la transformación geográfica real.

3. Entorno de la desembocadura: Riumar, Buda y L'Alfaceda

El entorno de la desembocadura es el área del delta que ha sufrido una transformación más profunda a lo largo del siglo XX (Fig. 6). Desde que se

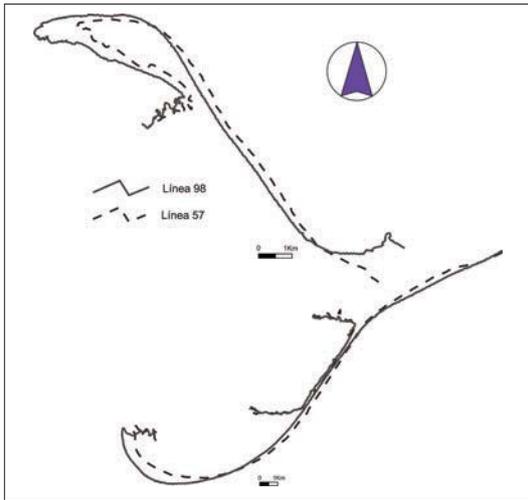


Fig. 15. Comparación de la posición, morfología y dimensiones que presentaban las flechas del Fangar y el Trabucador en 1957 y en 1998. Tomado de Rodríguez Santalla (1999).

abriera la Boca de Sorrapa en 1937 la línea de costa ha retrocedido 1700 m. desde la antigua desembocadura. Aunque la población del delta y la prensa esgrimen como prueba del retroceso de la costa del delta este fenómeno, lo cierto es que se trata de un proceso natural que no es indicativo de una erosión generalizada, sino de la dinámica y la capacidad de cambio que tiene el sistema. De hecho el sedimento erosionado de la antigua desembocadura ha sido re-trabajado por el oleaje que ha construido, mediante la progradación de sucesivas crestas de playa separadas por marismas y lagunas, una zona emergida llamada el Garxal (Fig. 8C).

Durante las últimas décadas se ha considerado que El Garxal y la adyacente playa de Riumar se encontraban en crecimiento (Serra Raventós, 1997) (Fig. 5). Las evidencias de campo indican que este estado se ha revertido paulatinamente y en la actualidad la playa de Riumar y la del Garxal están erosionándose. La presencia de vegetación enraizada en el *foreshore* de la playa activa (Fig. 16) indica que éste se sitúa donde hace poco estaba el cordón de dunas de la playa. Los crecientes fenómenos de *overwash* que rompen el cordón de dunas y transportan sedimento hacia las lagunas del Garxal corroboran esta situación transgresiva.

Las playas de Buda y L'Alfacada, situadas en ambos márgenes del canal del antiguo lóbulo Migjorn (Fig. 7), se encuentran también desde hace tiempo en balance sedimentario negativo. La pérdida de territorio es evidente al comparar las fotografías aéreas de 1957 y las ortofotos recientes. Sobre el terreno ambas playas presentan evidencias de retroceso de los ambientes y una fuerte degradación de los cordones de dunas, cuya vegetación está quedando incorporada al *backshore* actual de la playa, a la vez que los fenómenos de *overwash* están generando la invasión de la marisma por sedimento arenoso.

Los temporales afectan de forma especialmente intensa la playa de Buda produciendo la erosión to-



Fig. 16. Vegetación degradada y originalmente desarrollada sobre el cordón de dunas ocupando una posición anómala en el perfil erosivo de la playa situada delante de las marismas de El Garxal.

tal del delgado perfil de playa que separa las lagunas de Calaix de Mar y Calaix Gran, que quedan así conectadas con el mar.

SEMINARIOS COMPLEMENTARIOS

Se organizan a lo largo de estas prácticas tres seminarios. Los estudiantes asisten el primer día a una conferencia en el Ecomuseo de Deltebre impartida por un técnico del Parque Natural o algún miembro del personal de l'Escola del Parc, una empresa que gestiona el Ecomuseo y los centros de interpretación del Parque, y que oferta actividades educativas para distintos niveles. En esta conferencia los estudiantes reciben información sobre la fauna y la flora, la ecología, la geografía y la historia humana y la gestión del sistema. Esta información se complementa con la de carácter geológico que obtendrán con su propio trabajo, y es fundamental para obtener una visión global del sistema.

En esa conferencia se les transmite una visión de la gestión del Delta del Ebro como ejemplo de Desarrollo Sostenible, como búsqueda del equilibrio entre la conservación del medio y su explotación humana. Así mismo suele presentárseles una valoración sobre las posturas del Parque Natural y la población autóctona sobre el Tránsito del Ebro. Todas estas ideas volverán a ser analizadas después por los propios estudiantes, cuando hayan recogido los datos suficientes como para emitir su propia valoración.

El segundo día proyectamos una película que recoge un vuelo sobre el delta realizado después de un fuerte temporal marítimo de levante que tuvo lugar el 11 de noviembre de 2001 y que permite tener una idea sobre el impacto que las tormentas tienen en el sistema, la posición de los puntos más vulnerables, y la capacidad de recuperación o elasticidad del sistema a lo largo de su costa.

El último día se organiza un debate en el que los estudiantes expresan la opinión que han llegado a formarse, durante la visita al Delta, sobre la magnitud de los procesos que entrañan peligro para el sistema y los términos en que llegan a constituir riesgo. En los últimos años, en este debate, hemos

puesto sobre la mesa y discutido sobre el Plan Integral de Protección del Delta del Ebro propuesto en 2006 por el Ministerio de Medio Ambiente.

Mientras que las dos primeras actividades juegan un papel informativo y los estudiantes participan de un modo más pasivo, el debate que organizamos el último día, cuando hemos terminado la tarea de campo y los estudiantes han ido asimilando toda la información, suele resultar extraordinariamente participativo y enriquecedor.

Estos debates son una actividad esencial ya que permiten a los estudiantes reflexionar y ordenar la información y sus propias ideas, un paso necesario para poder plasmar sus resultados en el trabajo final y para su desarrollo personal y profesional.

El equipo docente puede a través de estas discusiones valorar de forma preliminar los objetivos alcanzados durante las prácticas y el nivel de conocimientos adquiridos.

RESULTADOS

Presentamos como resultados del trabajo realizado y el aprendizaje el contenido de las conclusiones, opiniones y valoraciones expresadas por los alumnos a lo largo de las distintas actividades realizadas así como en el trabajo final que entregan para su evaluación.

Situación del delta frente a los procesos de peligrosidad

Los procesos de peligrosidad que afectan al delta son: las tormentas y temporales, los cambios geográficos consecuencia de la dinámica sedimentaria natural del sistema, y la pérdida de territorio debida a una combinación de falta de sedimento, retroceso de la línea de costa, y subsidencia, con el agravamiento posible por una subida eustática ligada al cambio climático, con las consiguientes modificaciones de la dinámica marina. Que el delta se encuentra en una situación de transgresión marina, en sentido estricto, o de regresión de la línea de costa (según la terminología que se maneja popularmente) es una conclusión obvia para los estudiantes después del trabajo de campo.

Aunque en los estudios publicados por Sánchez Arcilla *et al.* (1997, 1998) se estima que el delta en su conjunto no está perdiendo superficie total, solemos discutir si esto sigue siendo así hoy. Dado que la respuesta debe ser cuantitativa, la curiosidad ha impulsado a varios estudiantes de forma voluntaria, a utilizar un Sistema de Información Geográfica para medir la diferencia en la superficie total del delta entre ortofotos de distintas fechas. Los resultados han sido variables pero la motivación y el interés que los mueve es, a nuestro juicio, uno de los logros de la experiencia.

En cuanto a las áreas que pueden verse afectadas con más intensidad por la pérdida de territorio los estudiantes suelen señalar: la zona de la playa de La Marquesa y el área de la laguna del Canal Vell situada detrás; también en la playa de la Mar-

quesa la zona que se encuentra tras la escollera y a ambos lados de ésta; la isla de Buda; la flecha del Trabucador; y las marismas del Garxal. Estos puntos son también los más afectados por la erosión y la inundación durante los temporales.

Otra de las conclusiones a la que llegan es que el retroceso de la costa y la pérdida de territorio es un proceso que no se comporta de forma lineal. Los conocimientos que han adquirido les conducen a comprender que lo que nunca va a ocurrir es que el delta reduzca su tamaño con tasas equivalentes a lo largo de su costa mientras mantiene su forma. Las razones son simples, la peligrosidad no actúa con la misma intensidad en toda la superficie del delta ni éste es homogéneo: cada sector tiene sus propias características y responde de distinta forma ante procesos similares. Esto es importante porque esta imagen de retroceso lineal es una simplificación asumida a nivel popular y de los medios de comunicación, pero irreal. En la misma presentación del Ministerio de Medio Ambiente del Plan Director para la Gestión Sostenible de la Costa del Delta del Ebro, que se puede encontrar en la Red (<http://www.unizar.es/fnca/cste/docu/sedim1a.pdf>), aparece una prognosis de la evolución del delta hasta el año 2045 que asume un modelo de retroceso lineal conservando la morfología actual.

Magnitud del riesgo

Otra cuestión que se plantea cada curso es la magnitud del riesgo que implican los procesos de peligrosidad que han evaluado. Algunos estudiantes estiman que la cuantía económica en juego no es elevada y argumentan que en algunas zonas, como El Fangar o El Trabucador, el riesgo en sentido estricto no existe como tal. Otros defienden que para evaluar el riesgo deben considerarse, además de los valores directamente cuantificables en términos económicos, valores ecológicos y de Patrimonio Geológico que también están en juego, aparte de la seguridad y el bienestar económico y social de la población ligada al delta.

Esta discusión suele resultar muy ilustrativa y formativa. Por un lado aprenden a manejar con fluidez los conceptos de peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo. Por otro lado, más allá de los aspectos técnicos que se plantean, reflexionan en torno a su postura y su compromiso con valores medioambientales, y sobre la vertiente más social del riesgo.

El Trasvase del Ebro

El Trasvase del Ebro suele ser también objeto de debate de los estudiantes, que suelen manifestar de forma mayoritaria su desacuerdo con el mismo, aunque hemos tenido discusiones muy interesantes entre detractores y defensores de éste. Una de las cuestiones que suelen plantearse es el concepto de caudal ecológico del río, es decir la supuesta cantidad mínima de agua cuyo suministro debe garantizarse para mantener el sistema. En general, suelen entender que el concepto no tiene un sentido natural. El caudal que necesita el sistema para mantenerse sin modificaciones naturales es su caudal na-

tural sea el que sea, ya que con cualquier otro caudal pasa a ser otro sistema diferente. Igualmente el tamaño del sistema tiene que ver con la cantidad de sedimento que llega, no hay cantidad mínima o máxima, con menos sedimento pierde tamaño y con más sedimento gana tamaño.

Mitigación del riesgo y gestión

Otro punto de discusión sobreviene al plantearles cómo consideran que habría que gestionar el sistema para preservarlo, y se les pide una opinión sobre las actuaciones ya realizadas.

La mayor parte de los estudiantes suelen descartar la idea de acometer actuaciones estructurales o de “obra dura”. Esta opinión se basa en la observación de las desastrosas consecuencias que han tenido la escollera de la playa de la Marquesa y el cordón de dunas artificiales que recorre longitudinalmente la flecha del Trabucador.

En general los sistemas estructurales para fijar playas suelen suponer la pérdida total de las mismas a medio plazo. Dado que el edificio deltaico tiene una gran cantidad de sedimento total acumulado, éste puede ser retrabajado por el oleaje y alimentar siempre una cresta de playa, aunque esta vaya retrocediendo tierra adentro, siempre y cuando se permita al cordón litoral evolucionar sin intervención.

En lugar de proponer soluciones estructurales la mayoría apuesta por intentar aumentar los aportes de sedimento al sistema mediante el mismo sistema fluvial o con recarga directa en la línea de costa. Así mismo se muestran de acuerdo en adoptar medidas de gestión del uso del suelo y reducir al mínimo posible el factor exposición de la ecuación del riesgo.

También proponen acometer un proyecto de educación y preparación de la población que le permita adaptarse a los cambios con un coste social mínimo. Suelen estar de acuerdo en que uno de los puntos más difíciles de divulgar es la idea de dejar evolucionar el litoral sin intervención infraestructural.

Si el Delta del Ebro es o no un ejemplo de Desarrollo Sostenible es otra cuestión polémica. Los alumnos suelen darse cuenta durante la discusión de que su concepción del desarrollo sostenible es dispar. Algunos consideran que el hecho de que la explotación de los recursos agrícolas e hidrológicos no haya incidido negativamente en la evolución del delta y esté en equilibrio con éste, permite considerarlo un buen ejemplo de desarrollo sostenible. Por el contrario, otros argumentan que la degradación paisajística que sufren algunas zonas como la barra del Trabucador y la misma peligrosidad de erosión de la línea de costa indican que existe impacto ambiental y un desequilibrio de origen antrópico que lo descartan como ejemplo.

Prognosis evolutiva

Reflejar en un mapa cuál puede ser el cambio morfológico que sufra el sistema y cuáles son las áreas en las que la peligrosidad actuará con más intensidad es uno de los ejercicios que pedimos a los estudiantes y que resuelven de una forma bastante

ingeniosa, o al menos coherente, aunque tengamos que esperar hasta mediados de siglo para ver cuán ajustadas son sus predicciones.

Para realizar esta prognosis tienen en cuenta sus propias observaciones y modelos como el del Delta del Mississippi durante la transgresión holocena (Penland *et al.*, 1988). Lo más llamativo de estos modelos, que consideran una subida del nivel del mar, es la transformación del sistema deltaico en un sistema de isla barrera-*lagoon*. Esta transformación parte de un sistema de dominio fluvial que en un primer estadio se convierte en un sistema con dominio del oleaje que va redistribuyendo el sedimento y generando una morfología achatada. Esta transformación ya ha sido sufrida por el Delta del Ebro y puede deberse tanto a la falta de aporte sedimentario como a un incremento en el poder de ataque del oleaje como consecuencia del cambio climático o de la subida del nivel del mar. El siguiente estadio sólo depende de la subida del nivel del mar. En el frente litoral el proceso se traduce en la retrogradación de las playas, que si tienen sedimento suficiente permanecen aunque retrocedan. Si los cordones de dunas están en buen estado y son altos el mar no llega a rebasarlos. El lugar por el que realmente se produciría una inundación sin obstáculos es la costa interna de los *lagoones*, de forma que se perdería el territorio situado en la franja central del delta, donde se generaría un gran *lagoon* delante del cual quedarían los cordones playeros formando una isla barrera.

Esta situación se revierte cuando el nivel del mar se estabiliza y si el sistema fluvial aporta sedimento con la progradación de un nuevo lóbulo deltaico, tal y como ocurrió en el Delta del Mississippi.

Que la evolución del Delta del Ebro llegue a ser así depende de numerosos factores, la tasa de subida del nivel del mar, la morfología previa del sistema y su “salud sedimentaria”. El cierre del *lagoon* del Fangar, o la presencia de grandes áreas de marismas en una posición central en el sistema, como el entorno de la desembocadura (El Garxal y la isla de Buda) cerradas por playas muy vulnerables, podrían cambiar por completo este panorama evolutivo. La precariedad de la barra del Trabucador podría desembocar en la erosión e inundación de la costa interna del *lagoon* de Els Alfacs sin que se produzca una subida del nivel del mar. En el peor escenario posible, y si las condiciones no se modifican, cabe esperar que más de la mitad de la superficie deltaica desaparezca a lo largo del próximo siglo.

El trabajo final de los estudiantes

Los resultados del trabajo de los estudiantes se plasma de forma individual en varios mapas que incluyen: cartografía de los ambientes sedimentarios, cartografía de la peligrosidad por tormentas, cartografía de las zonas en estado de acreción y de erosión incluyendo los indicadores utilizados para establecerlos, cartografía de peligrosidad por retroceso de la línea de costa por combinación de erosión, subsidencia y una posible subida del nivel del mar y una prognosis de la geografía que podría presentar el

delta a finales de este siglo si los procesos de peligrosidad siguen actuando.

La realización de estas cartografías resulta complicada ya que casi no existen modelos disponibles sobre cómo realizar una cartografía de peligrosidad costera. Según señaló el informe EUROSION (2006) de la Unión Europea en la mayor parte de los países europeos el riesgo de erosión costera no se evalúa ni plasma adecuadamente. Es muy difícil encontrar cartografías en las que se indique no sólo el sector amenazado de la costa, sino el territorio actualmente emergido que puede verse afectado. Por tanto, docentes y estudiantes nos hemos visto obligados a ir ensayando criterios para resolver esta deficiencia.

CONCLUSIONES DEL EQUIPO DOCENTE

Además de adquirir una serie de conocimientos científicos y técnicos, los estudiantes aprenden a reflexionar sobre los problemas medioambientales y el riesgo desde distintas vertientes y no sólo la que les afecta como expertos. Aprenden a valorar las dificultades de encontrar un equilibrio entre la conservación, en medios de forma natural cambiantes, y el desarrollo humano. En el proceso se deshacen de la idea, muy extendida, de que la conservación consiste en invertir conocimientos y empeño en mantener los sistemas naturales congelados, tal y como los conocemos en este momento. Entienden que respetar los cambios que su dinámica natural conlleva es la mejor forma de conservar, para lo cual el conocimiento profundo de esa dinámica es condición *sine qua non*, también para prevenir y mitigar el riesgo.

Muchos de los estudiantes vuelven después al delta movidos por el deseo de volver a disfrutar del entorno y la curiosidad de ver como continúa su historia. Traen fotografías de sus visitas, para contarnos lo que vieron y para que puedan ser utilizadas por los estudiantes de cursos posteriores, y siguen preguntando años después cómo evoluciona el delta.

Pero quizás seamos los profesores los más beneficiados por la experiencia de la que hemos aprendido mucho más de lo que jamás hubiéramos previsto. Año tras año, la experiencia nos reafirma en la idea de que educar y expandir el conocimiento es el medio más eficaz para comprometer a la población en la lucha por encontrar soluciones armónicas y racionales entre la explotación del Medio, necesaria para la supervivencia humana, y el respeto y la conservación, no menos necesarios, del mismo.

Desde nuestra experiencia, no podemos dejar de recomendar el Delta del Ebro como el entorno ideal para iniciarse o profundizar en una gran cantidad de facetas y conceptos relacionados con el Medio Natural y su interacción con el Hombre, a todos los niveles educativos.

AGRADECIMIENTOS

Gracias al Departamento de Estratigrafía de la UCM por haber apoyado esta iniciativa. Mi más

sincero agradecimiento a los Dres. Rocío Giménez, Margarita Díaz, Yolanda Sánchez y Alvaro García, impagables compañeros en la realización de esta aventura docente. Los Dres. Margarita Díaz, Rocío Giménez, Pedro Herranz y Belén Muñoz revisaron y mejoraron una versión inicial de este trabajo. Mi más profundo agradecimiento a los ya cientos de alumnos que han realizado estas prácticas. De ellos he aprendido más que de ninguna otra cosa, como persona, docente y naturalista. Gracias al Dr. Gonzalo Ruiz Cebrián, colega y amigo, que siempre había compartido conmigo la "afición" por el delta y que me sugirió la idea de explorar sus posibilidades docentes. Al Dr. Antoni Canicio que me enseñó gran parte de lo que sé sobre el delta y con el que he compartido ratos memorables. Mi agradecimiento y reconocimiento también al Parque Natural del Delta del Ebro y a la "Escola del Parc de Deltebre" que facilitan nuestras visitas, ceden material de interés científico y docente, y contribuyen cada año con didácticas conferencias, transmitiéndonos todo el entusiasmo y la entrega con que trabajan cada día por mantener y mejorar este invaluable patrimonio de todos que es el Delta del Ebro.

BIBLIOGRAFÍA

- Blaeu, J. (1665). *Atlas Maior. Hispania Portugallia Africa & America*. Edición de Benedikt Taschen, 2006.
- Doody, P.; Ferreira M.; Lombardo, S.; Lucius, I.; Misdorp, R.; Niesing, H.; Salman, A.; Smallegange, M.; Serra Raventós, J.; Roca, E. (Eds.) (2006). *Vivir con la erosión costera en Europa. Sedimentos y espacio para la sostenibilidad. Resultados del estudio EUROSION*. Comisión Europea. Oficina de publicaciones oficiales de la Unión Europea, Luxemburgo, 38 pp.
- Ibañez, C.; Prat, N.; Canicio, A. (1996). Changes in the hydrology and sediment transport produced by large dams on the lower Ebro River and its estuary. *Regulated Rivers: Research & Management*, 12 (1), 51-62.
- Penland, S.; Boyd, R.; Suter, J.R. (1988). Transgressive depositional systems of the Mississippi delta plain: a model for barrier shoreline and shelf sand development. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58(6), 932-949.
- Rodríguez Santalla, I. (1999). *Evolución geomorfológica del Delta del Ebro y prognosis de su evolución*. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. 200 pp.
- Sánchez Arcilla, A.; Jiménez, J.A.; Gelonch, G. y Nieto Romeral, J. (1997). El problema erosivo en el delta del Ebro. *Revista de Obras Públicas*, 3368, 23-32.
- Sánchez Arcilla, A.; Jiménez, J.A. y Valdemoro, H.I. (1998). The Ebro delta: Morphodynamics and vulnerability. *Journal of Coastal Research*, 14(3), 754-772.
- Serra Reventós, J. (1997). El sistema sedimentario del delta del Ebro. *Revista de Obras Públicas*, 3368, 15-22.
- Somoza, L.; Barnolas, A.; Arasa, A.; Maestro, A.; Rees, J.G.; Hernández Molina, F.J. (1998). Architectural stacking patterns of the Ebro delta controlled by Holocene high-frequency eustatic fluctuations, delta-lobe switching and subsidence processes. *Sedimentary Geology*, 117, 11-32. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 26 de noviembre de 2008 y aceptado definitivamente para su publicación el 30 de julio de 2009.