

Procesos erosivos (tasas de erosión) en los deltas mediterráneos andaluces: herramientas de análisis espacial (DSAS) y evolución temporal (servicios OGC)

A. Prieto¹, J. Ojeda¹, S. Rodríguez², F.J. Gracia² y L. Del Río²

¹Departamento de G^a Física y AGR. Universidad de Sevilla.

²Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Cádiz.

pcampos@us.es, zujar@us.es, si.rodripolo@alum.uca.es, javier.gracia@uca.es, laura.delrio@uca.es

RESUMEN

En la presente comunicación se pretende evaluar y cuantificar la erosión de las playas como proceso continuo a corto, medio y largo plazo en los principales deltas de la fachada mediterránea andaluza, así como observar en qué medida la actividad antrópica ha podido alterar sus condiciones naturales. Metodológicamente, se ha realizado una digitalización precisa de la línea de costa a escala 1:2.500 para los años 1956, 1979, 1984, 2001 y 2009 mediante el uso de los servicios OGC disponibles a través de la Infraestructura de Datos Espaciales de Andalucía. Los criterios de digitalización han seguido una estricta base ecológica para la identificación del indicador de línea de costa, a diferencia de otras líneas oficiales, lo que hace que cada tramo costero sea identificado por un proceso distinto, diferenciándose procedimientos independientes para las formaciones sedimentarias expuestas, las costas rocosas o las infraestructuras antrópicas del frente litoral. Los datos digitalizados se han adaptado al modelo de datos presentado e integrado en el gestor de datos Postgres/PostGis. Las tasas de evolución de los distintos tramos costeros se han obtenido mediante transectos con un espaciado de 50 metros utilizando el programa DSAS integrado en ArcGis 10. El análisis diacrónico que permite la alta disponibilidad de datos de referencia a través de servicios OGC ha permitido el seguimiento de los deltas y de la influencia de la actividad humana en él.

PALABRAS CLAVE

Deltas, tasas erosión, servicios OGC, SIG, DSAS.

ABSTRACT

Beach erosion evaluation and quantification as a short, medium and long-term process in several Andalusian Mediterranean deltas is presented in this paper. From the point of view of the methodology, a precise shoreline digitalization at a scale of 1:2.500 for years 1956, 1979, 1984, 2001 and 2009 has been performed by using OGC services, from the Andalusian Spatial Data Infrastructure. Digitalization criteria were supported by a strict ecological basis for shoreline rate identification, in such a way that each shoreline segment is identified by a different process, according to its nature: exposed sedimentary formations, rocky coasts or anthropic infrastructures on the coast. Digitalized data has been adapted to the data model presented and integrated in Postgres/PostGis database manager. Each shoreline segment evolution rates have been obtained by 50 meters spacing transects, using DSAS software integrated into ArcGis 10. The diachronic analysis, allowed by the availability of reference data through OGC services, has made possible monitoring the evolution of deltas and the influence of human action on it.

KEY WORDS

Deltas, erosion rates, OGC services, GIS, DSAS.

1 INTRODUCCIÓN

La erosión de las playas como proceso continuo a corto, medio y largo plazo puede constatarse a todas las escalas espacio-temporales y es previsible que se amplifique debido a la potencial subida del nivel del mar asociada al Cambio Climático, como ha sido puesto de manifiesto a nivel mundial (Charlier *et al.*, 1998; Leatherman, 1997). A escala regional, en el caso de Andalucía, algunas de las unidades fisiográficas en las que se refleja más evidentemente este proceso es en los deltas de la fachada mediterránea (Viciano, 1994).

En otro orden de cosas, la evolución de las distintas formaciones sedimentarias litorales existentes actualmente en Andalucía no se explicaría sin incorporar en su interpretación los impactos antrópicos tanto en la línea de costa expuesta como en sus cuencas vertientes. La retención/alteración del tránsito sedimentario fluvial y litoral, así como los cambios de usos de suelo, unido a la fijación de forma irreversible de las reservas naturales del material sedimentario (ocupación de playas y dunas costeras) han provocado una alteración crítica de la dinámica natural costera, acentuada en estos últimos años por la creciente presión antrópica sobre la franja litoral.

La línea de costa a escala de detalle (1:2.500) juega un papel primordial en la generación de bases de datos espaciales sobre espacios litorales. Se trata de una variable crítica en los procesos de evaluación de la dinámica litoral y una referencia inexcusable en los procesos de planificación ambiental y territorial. El levantamiento de cualquier línea de costa, sea cual fuere su ámbito, supone un problema a la hora de elegir el indicador utilizado, su criterio de digitalización y las fuentes utilizadas para su correcto levantamiento (Boak *et al.*, 2005).

La existencia cada vez más común y elevada de servicios OGC, concretamente de servicios WMS, proporciona un elevado número de fechas de referencia para el levantamiento de líneas de costa, facilitando, por lo tanto, su estudio diacrónico. Los metadatos obligatorios de esta información espacial, juegan un papel vital a la hora de seleccionar los posibles criterios de digitalización, la escala, y la calidad de visualización de los mismos permite la utilización de atributos en la tabla de datos alfanuméricos asociada que facilita la interpretación de los datos.

Asimismo, la comparación de los distintos resultados para cada período de tiempo estudiado, permitirá evaluar diacrónicamente las causas asociadas a los procesos erosivos/acumulativos que se constatan en los deltas de la fachada mediterránea que aquí se analizan.

2 OBJETIVOS Y ÁMBITO DE ESTUDIO

El objetivo principal de esta comunicación no es otro que presentar los resultados sobre el análisis de las distintas líneas de costa obtenidas a partir de los servicios interoperables disponibles en Internet como fuentes para el cálculo de tasas de erosión en los principales deltas de la fachada mediterránea de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

El área de estudio se centra, pues, en las principales formaciones deltaicas asociadas a algunos de los principales colectores que vierten sus aguas a la fachada mediterránea de Andalucía (figura 1): los ríos Vélez, Guadalfeo, Adra, Ramblas de Albuñol y Huarea, Andarax y Almanzora.

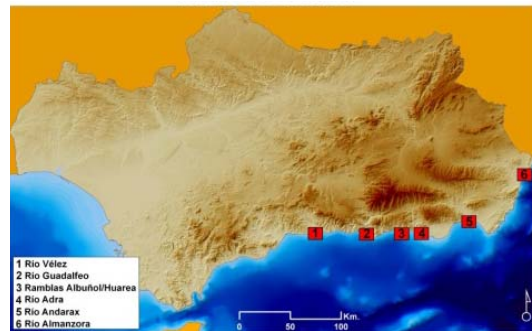


Figura 1. Mapa de localización

Como objetivos específicos, podemos diferenciar los siguientes:

- Definir los criterios de digitalización de cada línea de costa en función a las características de las distintas unidades fisiográficas representadas y evaluar previamente la calidad geométrica de las fuentes de información utilizadas.
- Incorporar éstas a un modelo de datos que integre todas las variables necesarias para el cálculo e interpretación de las tasas de erosión calculadas.

- Exponer los resultados preliminares obtenidos y realizar una primera interpretación de los mismos para diferentes periodos cronológicos.

3 DATOS Y METODOLOGÍA

3.1 Datos disponibles

Los datos utilizados son, en su totalidad, servicios OGC WMS, procedentes de la Infraestructura de Datos Espaciales de Andalucía (IDEAndalucía) y su homóloga a nivel estatal (IDEE), las cuales cuentan con amplio repertorio de servicios, la mayoría de ellos servicios de visualización Web (Web Map Service –WMS-). En nuestro caso, las fechas de las ortofotografías utilizadas como servicios WMS son:

- 1956: Derivada del denominado “vuelo americano” realizado durante los años 1956 y 1957 en blanco y negro, con una escala de 1:33.000. Su resolución espacial es de 1 m.
- 1979: derivada del vuelo coloquialmente conocido como “vuelo IRYDA” en blanco y negro, que se realizó entre los años 1977 y 1983. Tiene una resolución espacial de 0,5 m.
- 1984: derivada del vuelo nacional realizado entre los años 1984 y 1985 en blanco y negro. Tiene una resolución espacial de 1 m.
- 2001: vuelo realizado durante los años 2001 y 2002 en blanco y negro. Tiene una escala de 1:10.000 y una resolución espacial de 0,5 m.
- 2009: ortofoto perteneciente al Plan Nacional de Ortofotografía Aérea derivado del vuelo realizado durante los años 2008 y 2009 (en el caso de Andalucía). Tiene una resolución espacial de 0,5 m.

3.2 Metodología

3.2.1 Análisis previo de la calidad y consistencia geométrica de las ortofotografías

El paso previo a la digitalización consistió en realizar un control de calidad de los datos disponibles. Los resultados del mismo revelaron una falta de consistencia geométrica en algunos vuelos (sobre todo en el caso del vuelo de 1956). En estos casos, se ha procedido a la búsqueda del fotograma original y su posterior georreferenciación mediante puntos de control manuales tomando como referencia la última orto de 2008-09 u otras ortofotos próximas a la fecha.

El proceso de digitalización se ha realizado siempre a escala de detalle (1:2.500). El sistema de coordenadas de referencia utilizado ha sido el European Datum 1950 UTM 30 N ya que era el más común en los datos originales y que su transformación al actual sistema oficial (ETRS 1989 UTM 30 N) supone transformaciones de datum y, por tanto, el riesgo de asumir una nueva fuente de error geométrico.

3.2.2 Indicador de línea de costa utilizado para los cálculos de las tasas de erosión

Los criterios de digitalización de la línea de costa para el cálculo de las tasas de erosión han sido diferentes según la naturaleza de la unidad representada, tal y como puede observarse en otra aportación al presente congreso (Díaz, M.P y Ojeda, J.: “*La línea de costa como base para la generación de indicadores de estado y de seguimiento ambiental: modelo de datos y conceptos de líneas de costa en el litoral de Andalucía*”). A su vez, éstos comparten el modelo de datos realizado en trabajos previos para el Subsistema del Litoral y Medio Marino (SSLMM) de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM). Los criterios son los siguientes:

- PLAYAS: Límite entre la playa alta (backshore) y la duna litoral (foredune): se trata del límite más estable en aquellas zonas expuestas al oleaje con material sedimentario y el aconsejado en los análisis evolutivos (Díaz-Delgado, 2008). La existencia de la duna como reserva sedimentaria depende del grado de antropización y ocupación de la zona. En el caso de no existir duna litoral en el límite superior de la playa alta, se toma como aceptable el límite entre la playa alta y una infraestructura o formación rocosa que sustituye el límite natural con la duna.
- INFRAESTRUCTURAS: Límite externo de las infraestructuras del frente costero: para infraestructuras localizadas en el frente costero y expuestas al contacto directo con el oleaje se toma como válida la marca húmeda de la infraestructura, ya que ésta indica el nivel máximo de la pleamar y, por tanto, el nivel máximo diario del mar.
- COSTA ROCOSA: Base de acantilados o costa rocosa: los problemas de abatimiento de las fotografías aéreas con respecto a objetos o formaciones con una magnitud en altura suponen un problema añadido cuando el MDE utilizado en la

producción de la ortofotografía no consigue eliminar el abatimiento. No es muy frecuente en el entorno de las zonas de estudio. Con carácter general, se ha optado por tomar la marca húmeda de la base del acantilado o, en su caso, de la base rocosa.

Para la correcta digitalización desde el punto de vista geométrico, se han utilizado dos herramientas de digitalización en función a la naturaleza del objeto caracterizado:

- Segmentos de líneas rectas: para representar aquellos elementos antrópicos con límites claramente definidos.
- Línea suavizada (tangente): para caracterizar formas naturales del litoral, definidas por una morfología suave.

Finalmente se ha realizado un control topológico de la totalidad de los segmentos digitalizados. Se han evitado superposiciones (*overlaps*) y nodos sueltos (*dangles*), con el objetivo de dotar a las diferentes líneas de costa de continuidad espacial.

3.2.3 Modelo de datos

Junto al modelo de datos general utilizado para la incorporación de las líneas de costa en el SSLMM (Ojeda *et al.*, 2010), en el caso de aquellas orientadas al cálculo de tasas de erosión en playas se ha modificado el indicador como hemos definido en el punto anterior.

Junto al resto de tablas que caracterizan el modelo de datos citado, se ha incorporado una tabla nueva especialmente diseñada para el cálculo e interpretación posterior de las tasas calculadas. Sus campos principales son:

- DATE: se tiene en cuenta la fecha en formato dd/mm/aaaa de cada fotograma correspondiente a la ortofoto. Los servicios WMS suelen llegar al nivel de año exclusivamente, por lo que se ha elegido el día central del año. Será de vital importancia a la hora de calcular las tasas de erosión/acumulación anuales.
- ACCURACY: campo que tiene en cuenta la fiabilidad del segmento trazado en función de las diferentes características de la ortofoto o unidad representable. La resolución espacial de la ortofoto, la nitidez, contraste y la claridad en la definición del contacto entre las distintas unidades que conforman el criterio de digitalización seleccionado serán claves para dar un determinado nivel de confianza a los resultados que se

obtendrán. La fiabilidad se especifica de forma numérica, en orden ascendente de 1 a 4, directamente proporcional a la fiabilidad del segmento representado.

- Excl DSAS: en este campo se plasma de forma explícita la idoneidad del segmento de línea trazado, en función a sus características, para la posterior interpretación de las tasas de erosión. La codificación del campo es la siguiente:
 - "S": se trata de un segmento que representa infraestructuras y unidades antrópicas situadas en el frente costero. Su forma rompe con la morfología natural del frente litoral, alterando de forma significativa los posteriores resultados en el análisis, como por ejemplo los puertos o espigones transversales. Por lo tanto, este segmento queda excluido del análisis si una de las dos fechas del periodo analizado lo incluye y la otra no.
 - "C": el segmento que lleva este código hace referencia a unidades fisiográficas que, aún manteniendo su morfología natural, su comportamiento se encuentra condicionado por la implantación de alguna infraestructura de carácter paralelo al frente litoral, como por ejemplo los paseos marítimos o los muros de defensa. Este segmento sí es incluido en el análisis pero es susceptible de alterar los datos.
 - "A": hace referencia a aquellas unidades fisiográficas litorales que están en contacto directo con zonas alteradas levemente por la presencia de actividades antrópicas, como por ejemplo los campos de cultivo. Este segmento sí es incluido en el análisis pero es susceptible de alterar los datos.
 - "N": se trata de aquellas zonas donde no existen elementos antrópicos que alteren la morfología natural evolutiva del frente costero. Este segmento sí es incluido en el análisis.
- Proxy: hace referencia al tipo de criterio de digitalización utilizado para el segmento de línea digitalizado. Este campo lleva incorporadas las posibles respuestas en forma de dominios, para evitar errores en el proceso de implementación de los datos.

Tras completar todas las tablas correspondientes a cada tramo de línea de costa, se ha procedido a un exhaustivo proceso de control de calidad de los datos, con el objetivo de eliminar los posibles errores de omisión y comisión que se pudieran dar a la hora de completar la tabla. La normalización de los resultados hará posible su posterior comparación.

3.2.4 Cálculo de las tasas de erosión

Tras la digitalización de las líneas correspondientes a todas las fechas incluidas en el estudio, se procede a su explotación con la aplicación *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*, desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos e integrado en ArcGis 10. En este caso, las tasas se han calculado para los siguientes períodos:

- para el período total 1956-2009
- para el subperíodo 1956-1979
- para el subperíodo 1979-1984
- para el subperíodo 1984-2001
- para el subperíodo 2001-2009

El espaciado de los transectos para la extracción de datos ha sido de 50 metros. Mediante la corrección de la dirección y longitud de transectos erróneos así como la unión de datos de distintas tablas se obtienen los resultados correspondientes a la tasa global de cambio, así como las anuales para cada período. Estas tasas se derivan de las siguientes variables: *Shoreline Change Envelope (SCE)* y *Net Shoreline Movement (NSM)*, donde ambas son mediciones de magnitudes de cambio, no una tasa.

Mientras que el SCE representa la distancia total entre la línea más antigua y la más actual en valores absolutos, el NSM representa dicha distancia con valores numéricos con signo, asociando los valores positivos a procesos de progradación y los negativos a los de erosión. La tasa de cambio anual elegida (*End Point Rate – EPR-*) divide la distancia real medida en metros por la diferencia de años existentes entre las líneas de costa que conforman el período, dando como resultado la tasa anual de cambio, lógicamente expresada en valores enteros.

La representación de las tasas para los distintos períodos se ha condicionado visualmente para que sólo sean visibles los transectos cuyos resultados son válidos (excluyendo los de tipo “S”).

4 RESULTADOS

Los resultados definitivos obtenidos de los transectos, un total de 1.051 para cada período de estudio, se han presentado de forma puntual, importando a cada registro la información obtenida en los diferentes transectos lineales (figura 2). La existencia de un cada vez mayor número de infraestructuras en el frente costero provoca, a su vez, un mayor número de transectos tipo “S” que quedan excluidos de los análisis. No obstante, el porcentaje de transectos válidos supera, en todos los casos, el 80%, un porcentaje bastante admisible a juzgar por número total de transectos.

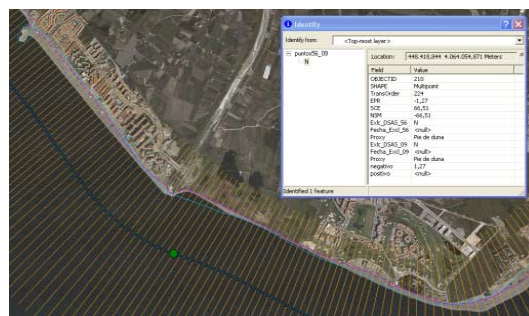


Figura 2. Información alfanumérica final asociada a cada transecto

El análisis arroja resultados esclarecedores acerca de la creciente y generalizada erosión de las formaciones deltaicas durante el periodo estudiado que también presentan peculiaridades particulares en función del grado de alteración antrópica en el frente costero y en las cuencas vertientes.

Dada la enorme cantidad de datos obtenidos, se mostrarán los resultados de algunos de ellos, bien por representar la tendencia general o por particularidades específicas en relación a las causas que determinan la aparición de comportamientos específicos para las fechas más determinantes de nuestro marco temporal: 1956, 1979 y 2009. Los períodos de estudio se centrarán, por tanto, en el período total 1956-2009 y en los subperíodos 1956-1979 y 1979-2009.

4.1 Delta del Vélez

El Delta del Río Vélez (figura 3) podría servir como ejemplo de comportamiento erosivo clásico de la mayor parte de los deltas. La erosión del frente de la desembocadura, al ser más frágil debido a una menor consolidación de su material sedimentario, viene acompañada de un transporte lateral de éste, depositándose en los flancos deltaicos por el efecto de la deriva dominante en la zona, como también ocurre de forma explícita en los deltas de los ríos Guadalfeo y Andarax. Los subperíodos objeto de estudio muestran una clara y general tendencia erosiva,

con algunas particularidades que se explicarán individualmente.

En el subperíodo 1956-1979 se observa la lógica tendencia erosiva del centro hacia los flancos, distribuyendo los sedimentos de forma proporcional a la deriva dominante. Las tasas de erosión del frente se sitúan en torno a los 3,5 m/año, guardando una estrecha relación con las tasas de acumulación lateral, las cuales superan los 3 m/año en la mayoría de los tramos. Será durante el último subperíodo cuando se observa una erosión generalizada en toda la superficie deltaica, con tasas que pueden llegar en el frente deltaico a los 4,8 m/año, provocada por un aumento de la presión antrópica en el frente litoral. Se observan pequeñas tasas acumulativas (en torno a 1 m/año) en el flanco oriental como consecuencia de obras de restauración (regeneración de playas) y construcción de infraestructuras paralelas que evitan la erosión lineal.

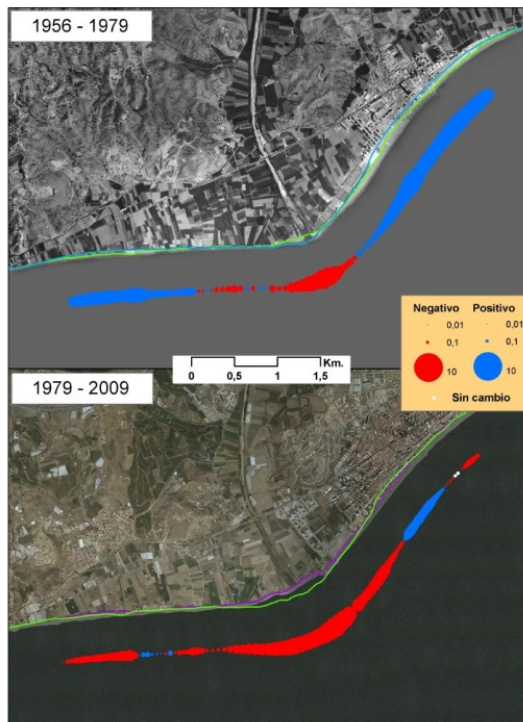


Figura 3. Tasas del Delta del Vélez

4.2 Delta del Adra

La alteración de las condiciones naturales del cauce en periodos anteriores a los correspondientes al presente estudio supone un análisis global caracterizado por los condicionantes antrópicos de su cuenca. La creación del puerto de Adra, al oeste del antiguo delta, ha provocado la interrupción del tránsito sedimentario que, no obstante, no ha sido la causa principal de la aparición de un nuevo frente

deltaico, el cual tiene su origen en una desviación del cauce principal del río; ello ha provocado una importante alteración de la morfología y de la dinámica sedimentaria de la zona (figura 4).

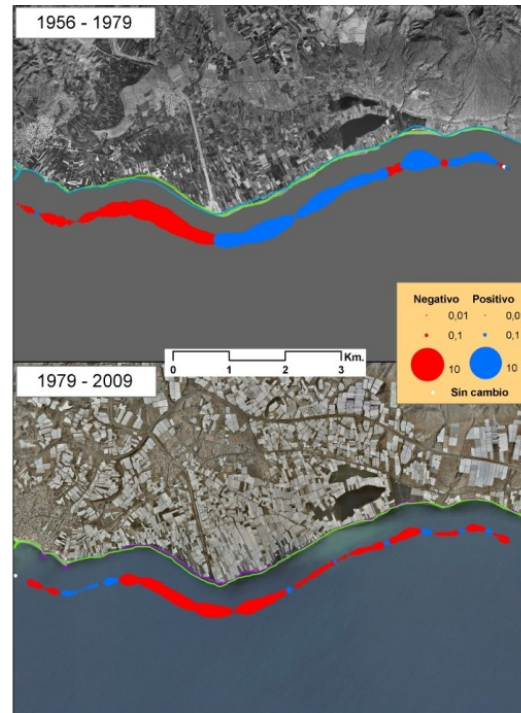


Figura 4. Tasas del Delta del Adra

En el subperíodo 1956-1979 se produce una intensa progradación del sector oriental, como resultado de la creación del nuevo delta. Las tasas de acumulación alcanzan valores de hasta 4,5 m/año, con picos de sedimentación de hasta 5,3 m/año en zonas cercanas a la albufera de Adra, originada por dicho desvío. El nuevo delta supone la desconexión entre la fuente sedimentaria y el antiguo delta, observándose procesos erosivos en ambos periodos. Concretamente para este subperíodo, se alcanzan tasas de hasta 4,8 y 5,2 m/año.

El subperíodo 1979-2009 se caracteriza por sufrir un proceso erosivo generalizado. Mientras que el sector del antiguo delta sigue erosionándose a ritmos más controlados (en torno a los 2 m/año), el sector progradante del nuevo delta también sufre los efectos erosivos, con tasas variables que oscilan entre los 0,4 y 1 m/año. La regulación de la cuenca del Río Verde con la construcción del Embalse de Benínar y la creación de un amplio sistema de espigones de pequeño tamaño por todo el flanco oriental del actual delta, distorsionan los resultados obtenidos.

4.3 Ramblas de Albuñol y Huarea

El caso de estas ramblas y su evolución son un caso particular. La existencia de un evento extremo de precipitaciones torrenciales en el sureste andaluz entre los días 18 y 19 de noviembre de 1973 supuso el crecimiento súbito de hasta 200 m. en el primero y 270 en el segundo. La posterior alteración de su cauce se limita a obras de canalización. No obstante, la construcción de muros de defensa en toda la superficie litoral del delta supone un alivio para un proceso erosivo que va en aumento (figura 5).

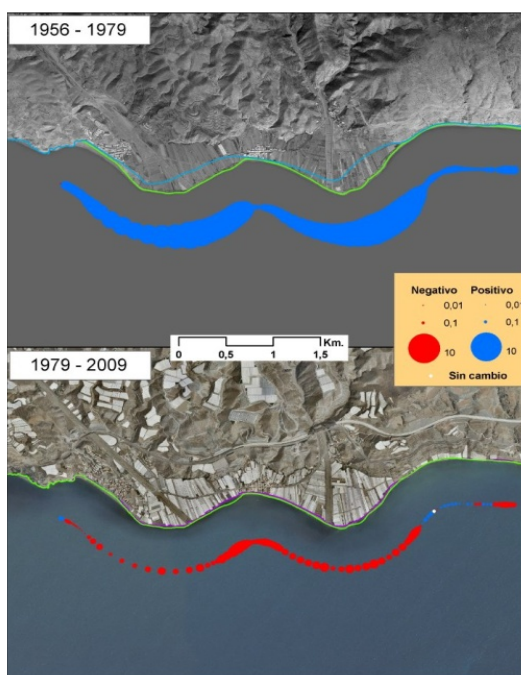


Figura 5. Tasas de las Ramblas de Albuñol y Huarea

El subperíodo 1956-1979 se caracteriza, como ya se ha adelantado, por la progradación súbita de ambos deltas por la ocurrencia de un evento de magnitud extrema. Con un total de 600 l/m³ en apenas 8 horas, los torrentes de ambas ramblas hicieron aumentar la superficie de ambos deltas en casi un 30%. Las tasas de acumulación para este período rondan los 8 m/año en el Delta de Albuñol y los 13,5 m/año en el de Huarea.

En el subperíodo de 1979-2009 los procesos regresivos son la nota dominante. Con tasas erosivas que rondan los 0,5 m/año, existen zonas críticas donde aumentan hasta los 1,6 en los laterales de ambos deltas. Los resultados se ven alterados por la construcción de infraestructuras paralelas al frente costero, que evitan la erosión lineal de los deltas.

El actual comportamiento erosivo no ha supuesto volver a la posición y condiciones originales de los deltas, previos al evento de 1973. Ello induce a interpretaciones erróneas si

tenemos en cuenta el período global de estudio (1956-2009), donde se reflejan tasas de acumulación anuales en ambos deltas de hasta 3,5 m/año en el de Albuñol y de 4,5 en el de Huarea.

4.4 Delta del Almanzora

Se trata de la zona con las mayores tasas de erosión de toda Andalucía, donde éstas ya se daban en períodos anteriores a la regulación de la cuenca fluvial del río. El carácter torrencial del cauce, así como la composición desagregada de los materiales que componen el delta suponen la intensificación de la dinámica litoral, muy activa desde el punto de vista del transporte sedimentario (figura 6).

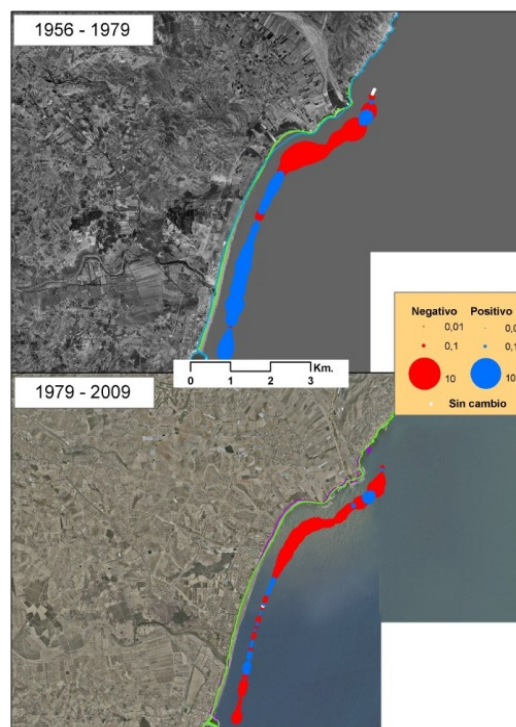


Figura 6. Tasas del Río Almanzora

Durante el primer período de estudio (1956-1979), se observan las mayores tasas erosivas en el frente deltaico, las cuales superan levemente los 7 m/año. La deriva dominante ha provocado un intenso transporte lateral de sedimentos hacia el sector más meridional, alimentando las playas adyacentes, las cuales poseen tasas de acumulación de hasta 2,4 m/año. La construcción del puerto de Garrucha supone la retención de sedimentos, alcanzándose tasas acumulativas de hasta 3,2 m/año en las zonas aledañas a éste.

Durante el período 1979-2009 se procede a la regulación de la cuenca del Río Almanzora mediante la construcción del Embalse Cuevas de

Almanzora en 1986. La desconexión del delta con su fuente sedimentaria provoca grandes déficits, que quedan plasmados en un comportamiento erosivo generalizado. Las mayores tasas erosivas se siguen produciendo en el frente deltaico, donde se superan los 2,5 m/año. La generación de dunas artificiales y la regeneración artificial de las playas en el sector meridional del delta suponen la continua alternancia de comportamientos acumulativos (0,4 m/año) y erosivos (0,3 m/año) de carácter puntual y de poco calado.

5 CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se obtienen de la metodología y resultados obtenidos son las siguientes:

- La creciente difusión de datos espaciales (ortofotografías de detalle) que la Administración (IDEs) pone a disposición de los investigadores en forma de **servicios interoperables OGC** representa un importante volumen de datos esencial para el seguimiento de los procesos erosivos en las costas.
- Una clara definición de los **criterios de digitalización y homogeneidad de la escala** de la misma, así como el uso de indicadores de línea de costa adecuados son esenciales cuando se trata de estudios multitemporales y, máxime, con vocación de ser actualizados temporalmente.
- La incorporación de las líneas a **modelos de datos** sustentados por bases de datos espaciales permiten una eficiente gestión de los mismos y facilitan las labores de interpretación, si se incorporan variables que permitan estimar la fiabilidad y validez de las tasas calculadas (criterios de exclusión)
- En cuanto a los resultados obtenidos se constata la **tendencia generalizada a la erosión** de los deltas mediterráneos de Andalucía. Las causas más evidentes que explican esta tendencia son la alteración antrópica de las cuencas vertientes por regulación (Adra, Almanzora,...) y la presencia de infraestructuras en sus frentes expuestos (Guadalfeo, Andarax...) y al oleaje, al interferir con el tránsito transversal o longitudinal. La subida de nivel del mar asociada al cambio climático puede ser un factor añadido que potencie dichos procesos erosivos.

- El caso de los deltas de Albuñol y Huarea es muy revelador al constatar la necesidad de elaborar tasas para varios subperíodos dentro del rango temporal estudiado, ya que la presencia de un evento extremo que hizo crecer significativamente el delta en 1973 podría dificultar la interpretación. En nuestro caso, aunque la tasa para el período total resulta positiva, el cálculo para el subperíodo más reciente revela que su comportamiento erosivo sigue el mismo patrón que el resto de deltas.
- Las medidas antrópicas correctoras (regeneración con arenas externas) que se vienen aplicando hasta la actualidad suponen una solución transitoria cuyo coste se incrementará si las proyecciones asociadas al cambio climático se cumplen, independientemente del escenario hacia el que evolucionemos (IPCC, 2007).

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha desarrollado dentro del proyecto de excelencia de la Junta de Andalucía (RNM-6207) y del correspondiente al Plan Nacional (CSO2010-15807) "Espacialización y difusión web de variables demográficas, turísticas y ambientales para la evaluación de la vulnerabilidad asociada a la erosión de playas en la costa andaluza (incidencia de la potencial subida del nivel del mar asociada al cambio climático)".

BIBLIOGRAFÍA

- Boak, E.H. y Turner, I.L. 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review, *Journal of Coastal Research*, 21 pp 688-703
- Charlier, R.H. y De Meyer, C.P. 1998. *Coastal erosion. Response and Management*, Springer-Verlag, Berlín, 353 pp.
- Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. 2010. *Medio Ambiente en Andalucía. Informe 2010*, Servicio de Publicaciones de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. 518 p.
- Díaz-Delgado, R. 2008. Cartografía dinámica costera del Parque Nacional de Doñana. Actas de las Jornadas Técnicas *Las nuevas técnicas de información geográfica al servicio de la gestión de zonas costeras: Análisis de la evolución de playas y dunas*, Universitat Politècnica de València, Valencia, España, 28-32.
- IPCC. 2007. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de

- trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación). IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp.
- Leatherman, S.P. 1997. Coastal erosion: mapping and management, *Journal of coastal research: Special issue Volumen 24 de Documents of Colorado Art*. Coastal Education & Research Foundation. Versión digital. 196 p.
- Ojeda J., Fernández, M., Prieto, A., Pérez, J.P. y Vallejo, I. 2010. Levantamiento de líneas de costa a escalas de detalle para el litoral de Andalucía: criterios, modelo de datos y explotación. En *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*, editado por J. Ojeda, M.F. Pita e I. Vallejo, Sevilla, pp. 324-336.
- Viciana, A. 1994. La regeneración de las playas como adecuación del marco turístico en el espacio almeriense. *Actas del Simposio Hispano-Francés sobre Desarrollo Regional y Crisis del Turismo en Andalucía*, Granada, Instituto de Estudios Almerienses, pp. 201-216