

CAMBIOS EN LA LÍNEA DE COSTA MEDIANTE FOTOGRAFÍA AÉREA E IMÁGENES IRS-PAN EN EL LITORAL VALENCIANO: SECTOR CULLERA-TAVERNES (1956-1999)

R. BROCAL (*), M. J. LÓPEZ GARCÍA (*) y J. E. PARDO PASCUAL (**)

Maria.J.Lopez@uv.es

(*) *Departamento de Geografía. Universitat de València. Ap.22060, 46080 Valencia*

(**) *Dept de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Universidad Politécnica de Valencia*

RESUMEN: Este trabajo analiza la evolución de la línea de costa en un sector del litoral valenciano caracterizado por una fuerte presión demográfica y turística, en el que se han producido importantes intervenciones en los últimos 40 años. El estudio abarca el período entre 1956 y 1999 y se ha llevado a cabo utilizando fotografías aéreas e imágenes del satélite hindú IRS-PAN, mediante técnicas de tratamiento digital de imágenes y Sistemas de Información Geográfica. El análisis realizado ha permitido identificar las tendencias de acumulación y regresión costera en los distintos tramos del sector, así como demostrar la utilidad de las imágenes IRS para la detección de cambios en la línea de costa a gran escala.

ABSTRACT: This paper studies changes in the coastline in a sector of the Gulf of Valencia that suffers from very high demographic and tourist pressures, and where significant engineering works have been carried out during the past 40 years. The study covers the period from 1956 to 1999 and has been carried out using aerial photographs and IRS-Pan images from the India IRS satellite which have been analysed by image processing and GIS techniques. The analysis has permitted accumulation and regression trends to be identified along different stretches of the coast, as well as demonstrating the usefulness of IRS images for the detection of large scale changes in the coastline.

Palabras clave: evolución línea de costa, fotografía aérea, imágenes IRS-PAN,

INTRODUCCIÓN

Las áreas costeras son zonas muy dinámicas debido a la convergencia de una gran diversidad de procesos naturales tanto de origen marino como continental. Además, por su atractivo paisajístico y los recursos que ofrecen, los paisajes costeros han sido ocupados por el hombre desde tiempos remotos, por lo que suelen ser zonas sometidas a una fuerte presión demográfica y urbanística. La costa es, pues, un sistema frágil sujeto a variaciones y cambios naturales y antrópicos.

En la segunda mitad del siglo XX, el litoral valenciano ha experimentado una gran expansión urbana ligada fundamentalmente al fenómeno turístico iniciado en los años 60. Como consecuencia han proliferado obras costeras: puertos comerciales y deportivos, espigones, obras de defensa, etc., las cuales, a menudo, provocan una ruptura en el equilibrio del sistema y una respuesta manifestada en procesos de erosión y acumulación. Es-

tos cambios se producen a escalas temporales cortas (meses, años, décadas) por lo que son detectables a escala humana (Pardo, 1991; Sanjaume *et al.*, 1996).

La correcta gestión de los espacios costeros requiere instrumentos que permitan detectar y analizar la magnitud de los cambios de forma precisa y rápida. Tradicionalmente, junto con la información documental y el trabajo de campo, el análisis se hacía mediante la comparación de documentos cartográficos (mapas, fotografía aérea) obtenidos en fechas distintas. Estos documentos son de naturaleza y escala distinta por lo que para cuantificar los cambios es necesario aplicar metodologías que uniformicen las escalas y permitan su superposición. Los Sistemas de Información Geográfica y el tratamiento digital de imágenes son herramientas alternativas para agilizar estos análisis, al tiempo que permiten generar potentes bases de datos de fácil actualización (Pardo y López García, 1998).

En el litoral valenciano abundan los ejemplos de procesos de erosión y acumulación provocados por actuaciones humanas recientes. Estos procesos suelen ser puntuales y, por su magnitud, su análisis requiere documentos a gran escala que permitan detectar y medir la superficie afectada. Es por ello que, hasta la fecha, no se habían utilizado con éxito las imágenes de satélite. La puesta en órbita en los últimos años de los sensores denominados de muy alta resolución espacial (López y Denore, 1999) ha abierto nuevas perspectivas de aplicación en el análisis de cambios costeros.

Este trabajo analiza los cambios recientes (1956-1999) en la línea de costa en un sector del litoral valenciano mediante fotografías aéreas retrospectivas y una imagen IRS IC-PAN utilizando técnicas de tratamiento digital de imágenes y Sistemas de Información Geográfica. Nuestro objetivo ha sido, por un lado evaluar la capacidad del sensor IRS-PAN para el análisis de cambios costeros y, por otro, generar una base de datos que permita evaluar los cambios ocurridos en dicho período.

ZONA DE ESTUDIO

El sector analizado abarca un frente de costa de unos 17 km, entre el saliente conocido como L'Illa dels Pensaments (39°10' 53"N, 0°13'8"W) al sur del Cabo de Cullera y la playa de Tavernes de la Vallidigna (39°3'34"N, 0°11'52"W) (Figura 1). A excepción de la pequeña zona acantilada que constituye el cabo de Cullera, predomina la costa baja y arenosa a lo largo de una amplia restinga que se extiende entre la desembocadura del Xúquer y la población de Gandía (Sanjaume, 1985). La extensión de las playas difiere sensiblemente al norte y sur de la desembocadura del río, siendo más amplias en el extremo norte al sur del Cabo de Cullera debido a factores naturales y también antrópicos.

Los principales factores naturales que intervienen en la dinámica litoral son la deriva litoral y los aportes sedimentarios de los sistemas fluviales. El río Xúquer - con una cuenca de 21.578 km² - es, sin duda, el principal suministrador de materiales, los cuales son redistribuidos por la deriva litoral. Debido a la orientación NW-SE de este sector costero, la deriva litoral norte-sur predominante en todo el Golfo de Valencia se ve invertida en ocasiones, cuando el oleaje procede de direcciones E o ESE. Este hecho, junto con el efecto de refracción del oleaje que provoca el cabo de Cullera, tiene como consecuencia acumulaciones de sedimentos de origen fluvial en las playas del sur del cabo que se suman a los materiales procedentes de la propia erosión del acantilado (Sanjaume, 1985; Pardo, 1991).

Los factores humanos han sido decisivos para la configuración actual de la costa, por el gran número de

intervenciones realizadas. Las primeras actuaciones datan de la primera mitad del siglo XX, sin embargo, los cambios más espectaculares se han producido durante los últimos 40 años. Se distinguen cuatro grupos de actuaciones:

- a) Construcción de las infraestructuras del puerto deportivo de Cap Blanc, junto al Cabo de Cullera, en 1974, que produjo un fuerte retroceso de la playa inmediata.
- b) Construcción (entre 1947 y 1956 y alargamiento posterior (1982) de los diques de encauzamiento del río Xúquer, que ha provocado una espectacular progresión de la Playa de Sant Antoni al norte de la desembocadura, y una continuada erosión y degradación al sur.
- c) Una serie de intervenciones realizadas en las décadas de los 70 y 80, al sur de la desembocadura del Xúquer, tratando de frenar el proceso de erosión mediante sistemas de escolleras longitudinales y espigones.
- d) Proyectos de regeneración iniciados en la década de los noventa basados en vertidos de arenas y redistribución de los perfiles costeros (Oliver, 1999).

Las actuaciones directas sobre la costa han alterado el equilibrio en el sistema litoral provocando respuestas rápidas que, a su vez, han generado nuevas actuaciones tratando de restablecer el equilibrio anterior.

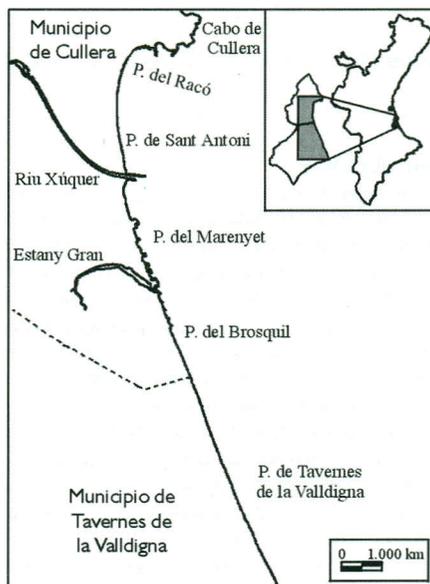


Figura 1. Mapa de la zona de estudio.

MATERIAL

Los documentos fuentes para el análisis de cambios se han utilizado fotografías aéreas procedentes de dos vuelos: el conocido como "vuelo americano" de 1956, pancromático, escala 1/33.000, y el vuelo denominado "Costas de Valencia", en color, escala 1/12.000, realizado por la COPUT en 1986 con el fin de estudiar las costas de la Comunidad Valenciana. Del vuelo americano se han procesado 3 fotogramas, y del vuelo "Costas", de escala mayor, 9 fotografías.

Además, el análisis del momento actual se plantea mediante el uso de una imagen del satélite hindú IRS (Indian Remote Sensing Satellite) sensor Pancromático, que posee una resolución espacial de 5,8 m (Euromap, 2000). La imagen seleccionada es del día 24 de junio de 1999, corresponde al satélite 1C, escena 19/42D.

Como documento de referencia se ha utilizado la cartografía digital a escala 1/10.000 del ICV, realizado en base a la restitución fotogramétrica del vuelo de 1991. Para el tratamiento digital de imágenes y la integración de los documentos se han utilizado los *softwares* comerciales: IDRISI (versión 2.0 para Windows), ESRI ArcView GIS (versión 3.1) y Bentley MicroStation SE.

METODOLOGÍA

El método de trabajo seguido aplica la metodología propuesta en Pardo y López García (1998) y abarca tres etapas: 1) preparación de los documentos, 2) identificación de la línea de costa y 3) evaluación de los cambios.

1. Preparación de documentos:

Esta etapa comprende todos los procesos seguidos desde la integración de los documentos fuentes (fotografía aérea, imagen de satélite, mapa) en el sistema hasta las transformaciones necesarias para que sean comparables entre sí. Distinguimos, pues, cuatro pasos:

—Digitalización mediante escáner de cada uno de los fotogramas: se ha realizado de tal forma que la resolución del píxel obtenido es de 2 m x 2 m, lo que equivale a la precisión del mapa a escala 1/10.000 utilizado como documento de referencia.

—Lectura de la imagen IRS-Pan: se ha utilizado una subimagen de 3149 filas y 2752 columnas que incluye la zona de estudio y se importa en IDRISI.

—Corrección geométrica: utilizando como referencia la cartografía 1/10.000 se ha calculado, mediante la identificación de puntos de control, una función de transformación para la imagen IRS y para cada uno de los fotogramas. El error medio cuadrático obtenido fue, en todos los casos, inferior a 1 píxel. Se generan, así, documento con coordenadas UTM superponibles entre sí. Dado que no se utilizan ortofotos, en las zonas con relieve (acantilados de Cullera) se producen inexactitudes

en la superposición debido al desplazamiento radial del relieve. Sin embargo este efecto no se produce en las zonas llanas como son las playas.

—Creación de un mosaico: una vez corregidas las fotografías se concatenaron los 3 fotogramas de 1956 y las 9 fotos de 1986 a fin de obtener un documento digital único para cada fecha.

2. Identificación de la línea de costa:

El trazado de la línea de costa se realiza por digitalización manual sobre la pantalla del ordenador tras realzar y ampliar las imágenes. Como resultado de este proceso se obtienen tres mapas vectoriales de la línea de costa en 1956, 1986 y 1999.

3. Evaluación de cambios:

Para cuantificar la superficie afectada por procesos de erosión/regresión, se realiza la transformación de los mapas vectoriales en mapas ráster, de tal forma que se crean 3 imágenes binarias donde los píxeles de mar tienen el valor 0, y los píxeles de tierra toman el valor 1 en la imagen de 1956, 2 en la de 1986 y 3 en la de 1999. De esta forma, mediante la suma de imágenes dos a dos se obtiene el número total de píxeles que representan acumulación o erosión costera.

RESULTADOS

La superposición de los mapas vectoriales obtenidos permite analizar la evolución de la línea de costa en la secuencia temporal analizada. La figura 2 muestra, a modo de ejemplo, los cambios producidos en el sector más septentrional de la zona de estudio, al sur del Cabo de Cullera.

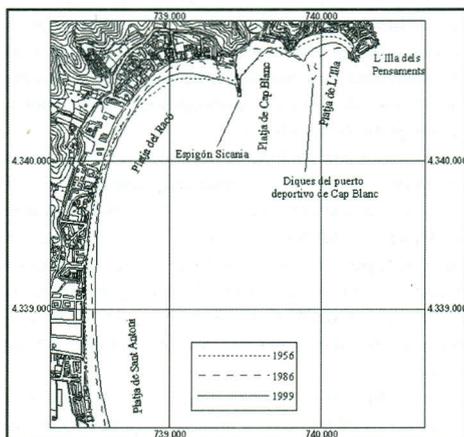


Figura 2. Evolución de la línea de costa en el sector septentrional (1956-1999).

Observando la línea de costa de 1986 se ve el proceso de acumulación experimentado por la Playa de L'Illa que llega a trasladar la línea de costa hasta 170 m mar adentro, disminuyendo al tiempo el frente de playa. Este avance es consecuencia de la construcción de los diques del inacabado puerto deportivo de Cap Blanc en los años 70. Sin embargo, la construcción de este puerto, así como la del espigón Sicania tuvieron como consecuencia la aparición de procesos regresivos en las playas situadas al oeste de dichas obras: la Playa de Cap Blanc sufrió un proceso erosivo en su parte occidental de hasta 100 m y la Playa del Racó retrocede 110 m respecto a su posición en 1956.

Por el contrario, entre 1986 y 1999 se pueden observar la eficacia de los procesos regenerativos iniciados en la década de los noventa, ya que la línea de costa tiende a volver a la situación de 1956. En la imagen de 1999 se observa un proceso de retroceso en la Playa de

la L'Illa como consecuencia del dismantelamiento en 1992 de los diques del puerto deportivo y de la reestructuración del perfil costero mediante intervenciones con arenas. En la Playa de Cap Blanc continúa la tendencia erosiva en la parte oriental, aunque con menor intensidad, y en el sector occidental se observa un notable aumento de hasta 100 m. La Playa del Racó experimenta también en los últimos años un balance positivo, con avances de hasta 90 m; consecuencia de los procesos de regeneración (vertidos de arenas) (Oliver, 1999).

Para la cuantificación de las superficies afectadas se ha subdividido la zona de estudio en tres sectores:

- sector a: L'Illa dels Pensaments - rio Xúquer
- sector b: rio Xúquer - final término de Cullera
- sector c: Playa de Tavernes de la Vallidigna

La tabla 1 presenta la superficie total acumulada o erosionada en cada sector, calculado para los períodos 1956-1986, 1986-1999 y 1956-1999.

| Sectores de costa | 1956-1986 | | | 1986-1999 | | | 1956-1999 | | |
|------------------------------------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|---------|
| | erosión | acumulac. | balance | erosión | acumulac. | balance | erosión | acumulac. | balance |
| L'Illa dels Pensaments-Xúquer | 8,1 | 19,6 | +11,5 | 3,0 | 11,5 | +8,5 | 2,2 | 22,3 | +20,1 |
| Xúquer-Final término Cullera | 15,1 | 2,0 | -13,1 | 5,5 | 4,4 | -1,1 | 17,5 | 3,2 | -14,3 |
| Playa de Tavernes de La Vallidigna | 2,7 | 2,9 | +0,2 | 2,5 | 2,5 | -0,0 | 2,0 | 2,1 | +0,1 |

Tabla 1

Superficies (ha) afectadas por procesos de erosión /acumulación en los distintos sectores de costa

CONCLUSIONES

Las técnicas de tratamiento digital de imágenes y SIG son herramientas de gran utilidad para la evaluación de los cambios costeros recientes, ya que permiten la generación de bases de datos de fácil actualización con capacidad para cuantificar las superficies afectadas por procesos de erosión y acumulación, y la creación de salidas gráficas de calidad.

El sector analizado ha experimentado en el período que va de 1956 a 1999 un balance global positivo, con una acumulación cercana a 6 ha. Sin embargo es posible establecer diferencias entre el sector septentrional donde han predominado los procesos de acumulación (ganancias en torno a 20 ha), un sector intermedio con tendencia erosiva (pérdidas de 14 ha) y un sector meridional que se mantiene más o menos estable o con pocos cambios.

El análisis realizado demuestra la viabilidad de las imágenes IRS-Pan para el análisis de cambios costeros a gran escala. La resolución espacial de 5,8 m parece, a priori, suficiente para detectar y cuantificar cambios o tendencias en la evolución de la línea de costa.

BIBLIOGRAFÍA

- Euromap, 2000. IRS-1C, Orbit and Coverage [en línea] <http://www.euromap.de/doc_106.htm>
- LÓPEZ GARCÍA, M. J. y B. J. DENORE, 1999. Los satélites de observación de la Tierra en el 2000. *Cuadernos de Geografía* 65-66, 81-102.
- OLIVER PRIETO, E. 1999. *Regeneración artificial de playas*. Trabajo fin de carrera, Departament de Geografia, Universitat de València, inédito.
- PARDO PASCUAL, J. E. 1991 *La erosión antrópica en el litoral valenciano*. Conselleria d'Obres Públiques, 240 p.
- PARDO PASCUAL, J. E. y M. J. LÓPEZ GARCÍA, 1998. Evaluación de las técnicas de tratamiento digital de imágenes en el estudio de la evolución de las áreas costeras. *Ordenación del Territorio y Medio Marino, V reunión AET* Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 877-892.
- SANJAUME SAUMELL, E. 1985. *Las costas valencianas*. Universidad de Valencia. Sec. de Geografía, 505p.
- SANJAUME, E., V. M. ROSSELLÓ, J. E. PARDO, P. CARMONA, F. SEGURA y M. J. LÓPEZ GARCÍA 1996. Recent coastal changes in the Gulf of Valencia, *Z. Geomorph.* 102, 95-118.