

# CARACTERIZACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LA LÍNEA DE COSTA TRAS EL TEMPORAL DE NOVIEMBRE DE 2001 A PARTIR DE IMÁGENES LANDSAT ETM+

## *Coastline changes characterization after November 2001 storm using ETM+ Landsat images*

J. Almonacid Caballer, J.E. Pardo-Pascual, L.A. Ruiz Fernández, J.M. Palomar-Vázquez (1)

(1) Grupo de Investigación Cartografía GeoAmbiental y Teledetección, Dept. Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Universitat Politècnica de València, Camí de Vera s/n 46022 Valencia, jepardo@cgf.uvp.es

### Resumen

Se ha desarrollado un método para extraer la posición de la línea de costa a partir de imágenes Landsat 5 y Landsat 7 y poder compararlas. Se ha cuantificado el error cometido midiendo cuánto se desviaba la solución propuesta de una fotointerpretada sobre una ortofoto a escala 1:2000 sobre un segmento de costa rigidizada con escolleras. Se ha comprobado para siete imágenes Landsat 7 que el error es de 0,05 m y la desviación estándar de 5,43 m. Con estos resultados se ha analizado el impacto del temporal de noviembre de 2001 en las playas de Borriana, comparando la situación antes y después del mismo.

**Palabras clave:** extracción automática línea de costa, Landsat

### Abstract

*A method to extract and compare the coastline using Landsat 7 and 5 images has been developed. Mean error has been quantified measuring the difference between our approach and the real position photointerpreted from a 1:2000 orthophoto on an artificial rigid coastline. On seven Landsat 7 images, the mean error has been 0.05 m, and the standard deviation 5.43 m. Based on this quality data, the November 2001 storm impact has been analysed on the Borriana beaches, comparing the situation before and after the storm.*

**Key words:** automatic extraction of the coastline, Landsat

## 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la última década está mejorando sustancialmente nuestro conocimiento sobre la dinámica evolutiva de las playas y dunas gracias, en buena medida, al desarrollo que están teniendo las nuevas técnicas de información geográfica. Los avances en este sentido están reflejados en múltiples aportaciones bibliográficas (Malthus & Mumby, 2003; Pardo-Pascual y Ruiz-Fernández, 2008; Gens, 2010). Una parte considerable del esfuerzo se ha centrado en tratar de establecer sobre qué rasgo geomorfológico se ha de fundamentar el análisis evolutivo de los espacios de playa (Pajak & Leatherman, 2002; Boak & Turner, 2005).

Sin embargo, muchos de los trabajos se han orientado en aprovechar las nuevas fuentes de información. Así, en la última década se están redoblando los esfuerzos por desarrollar aplicaciones

que permitan aprovechar al máximo el empleo de los datos LiDAR para los estudios costeros, centrándose tanto en establecer el nivel de precisión que se puede esperar (Liu *et al.*, 2007) o las ventajas que puede plantear su uso con otros sistemas remotos como las imágenes de alta resolución (Lee & Shan, 2003). También han sido importantes los esfuerzos de tratar de automatizar la extracción de la línea de costa partiendo únicamente de imágenes de alta resolución.

En cualquier caso, es importante señalar que si bien todos estos avances son fundamentales para los estudios de evolución costera arrastran dos limitaciones significativas: la primera es que dado que se sustentan en tecnologías sumamente recientes no pueden ser empleadas para análisis de medio y largo plazo, por ahora. La segunda es que son fuentes de datos que se adquieren "a la carta" es decir, se hacen levantamientos o tomas de

imágenes de áreas señaladas en las fechas solicitadas por un cliente dado. Ello las distingue de las imágenes de resolución media que tienen una cadencia fija en su adquisición.

El caso de las imágenes Landsat es paradigmático: el sensor TM que funciona sobre el satélite Landsat 5 está tomando imágenes cada 16 días de forma continua de prácticamente todo el planeta desde marzo de 1984 hasta la actualidad, y las del sensor ETM+, que funciona desde Landsat 7, lo hace de la misma forma desde abril de 1999. Es muy importante, por otra parte, destacar que buena parte de esta inmensa colección de imágenes de la Tierra está ahora (desde 2008) disponible de forma gratuita desde los servidores del USGS ([http://landsat.usgs.gov/Landsat\\_Search\\_and\\_Download.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat_Search_and_Download.php)). Por otra parte, en lo que se refiere al caso español, el Instituto Geográfico Nacional, desde hace tres años está desarrollando el Plan Nacional de Teledetección (<http://www.ign.es/PNT/index.html>) dentro del cual se están adquiriendo las imágenes Landsat (y otras) correspondientes a España para dejarlas disponibles para todos los usuarios, fundamentalmente de las administraciones públicas, pero también de las universidades.

El problema fundamental que tienen las imágenes procedentes de los sensores TM y ETM+ procede de su resolución espacial: 30 metros de tamaño de píxel. Esta limitación ha hecho que no se haya podido utilizar de forma habitual para extracción de líneas de costa. Ciertamente ha habido intentos que han tratado de hacer análisis evolutivos a nivel píxel pero sus resultados presentan claras limitaciones relacionadas con el tamaño del píxel. Por otra parte, se han propuesto distintos algoritmos que han tratado de aproximar la posición de la línea de costa con imágenes de resolución media. Muslim *et al.* (2006) y Foody *et al.* (2005) propusieron soluciones utilizando lógica *fuzzy* mejorada con aplicaciones geoestadísticas para deducir la posición de la orilla partiendo

de una imagen con un píxel de 20 m con resultados interesantes. Nosotros mismos, desarrollamos en su día un algoritmo que permitía la extracción de la orilla partiendo de imágenes de hasta 30 m de resolución (Ruiz *et al.*, 2007). Ambos grupos de soluciones presentaban como limitación básica el hecho de no haber resuelto un proceso de georreferenciación de imágenes a nivel subpíxel. La resolución de dicho problema alcanzada por nuestro equipo y el análisis sistemático sobre distintas imágenes Landsat ha permitido abrir una nueva perspectiva en los análisis evolutivos. En el presente trabajo mostramos, a modo de ejemplo, cómo partiendo de imágenes Landsat TM e imágenes Landsat ETM+ hemos podido determinar la respuesta de las playas apoyadas en los diques del puerto de Borriana (Castellón) a un temporal de alta intensidad como el que se produjo entre los días 9 y 16 de noviembre de 2001.

## 2. METODOLOGÍA

El método seguido se basa en el algoritmo de extracción de línea de costa a nivel subpíxel descrito con detenimiento en trabajos previos (Ruiz *et al.*, 2007, Pardo *et al.*, 2008), por lo que aquí no se describirá. Este algoritmo, sin embargo, no ha tenido una utilidad práctica hasta que hemos podido resolver una cuestión crucial como es la georreferenciación también a nivel subpíxel.

Los procesos de georreferenciación que generalmente se utilizan en teledetección se fundamentan en localizar puntos comunes en las dos imágenes a comparar y ajustarlos mediante una función polinómica – generalmente de primer o segundo grado—que se obtiene por ajuste de mínimos cuadrados. Nosotros hemos desarrollado una solución distinta fundamentada en una función de correlación automática en el espacio de las frecuencias. Presenta dos grandes ventajas: (1) que obtiene resultados de alta precisión de forma que es aplicable al objetivo que nos proponemos si se

trata de una simple traslación (desplazamiento en  $x$  y en  $y$ ) que es lo que se requiere para el registro de imágenes sucesivas del mismo sensor (Landsat). Y (2): a diferencia de los métodos tradicionales, no requiere disponer de puntos de control que se han de tomar manualmente. Por tanto, con ello el proceso de georreferenciación se transforma en un proceso sumamente rápido. Las pruebas realizadas han permitido verificar que el error del método incluso en condiciones peores a las de comparar series de imágenes tomadas con un mismo sensor han tenido errores medios cuadráticos del orden de los 5 m.

Una vez entendido que el proceso de georreferenciación estaba resuelto se han hecho pruebas de extracción y superposición de la línea de costa a partir de imágenes Landsat. En concreto se ha trabajado sobre 23 imágenes de la escena 199-32 correspondientes tanto a la serie Landsat 5 como Landsat 7. Hemos trabajado sobre imágenes tomadas entre 1984 y 2010. Se ha aplicado el algoritmo de extracción automática de línea de costa sobre un segmento costero de unos 25 km en el sector existente entre el puerto de Castelló y el de Borriana. En dicho sector encontramos amplios segmentos en que la costa está rigidizada con escollera desde la década de los setenta del siglo pasado. Hemos utilizado tres segmentos de escolleras de aproximadamente 2,5 km cada uno de ellos para contrastar los resultados que hemos ido obteniendo de la aplicación de nuestra metodología. En cada una de estas se ha medido la diferencia de la posición obtenida a partir de los datos Landsat en cada imagen y la posición fotointerpretada sobre una ortofotografía a escala 1:2000. En la figura 1 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos en una imagen dada vistos sobre la propia imagen, en concreto en la banda 5 del TM donde se aprecian claramente los píxeles que se extraen y vistos también sobre una ortofoto con 0,5 m de resolución en los que, además, está fotointerpretada

(línea roja) la línea de la escollera, al sur del puerto de Borriana.

El análisis de estos resultados directos ha permitido reconocer cómo funciona el algoritmo sobre múltiples imágenes con distintas características en la ganancia de radiancia y sobre ambientes distintos. Ello ha permitido detectar errores metodológicos en el posicionamiento con una tendencia sistemática. Un análisis riguroso de los errores ha permitido modelizar los factores que los gobiernan y corregirlos. Tras ello, se ha comprobado que para las tres escolleras y para todas las imágenes analizadas el procedimiento se mantiene con resultados robustos y perfectamente aplicables para la gestión de los espacios costeros.

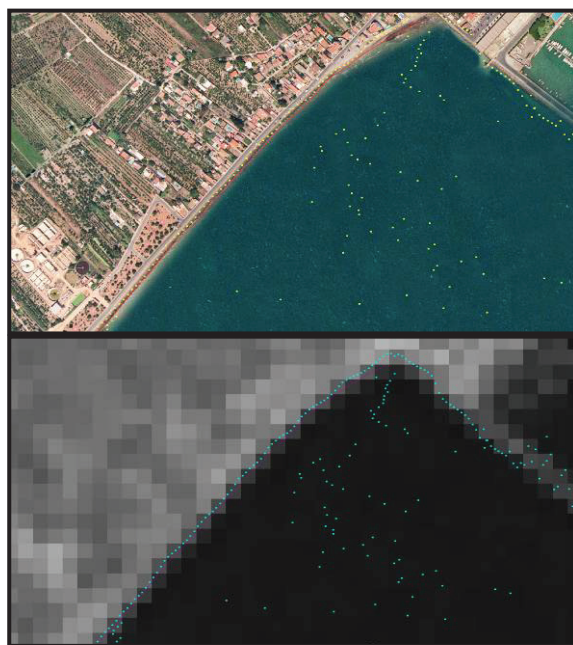


Fig. 1. Ejemplo de extracción de la posición de la orilla con el método propuesto aplicado a una zona escollera donde no ha habido cambios.

### 3. RESULTADOS

Analizadas siete imágenes tomadas por el sensor ETM+ de Landsat 7 correspondientes a los años 2000, 2001 y 2002 y comparadas en cada una de ellas sobre las zonas de escolleras se ha comprobado que el error medio en el posicionamiento es de de 0,058 m y una

desviación estándar de 5,43 m. Por tanto, dado que los errores se distribuyen siguiendo una función normal se puede deducir que se determinará adecuadamente la posición de la orilla con un error de  $\pm 10,8$  m con un 95% de probabilidad.

Partiendo de esta solución se ha comprobado cómo evolucionó la orilla en la playa apoyada sobre el dique norte del puerto de Borriana tras el temporal de noviembre de 2001 en el que a lo largo de una semana se alcanzaron alturas significantes de olas superiores a los 4 m lo que, para la costa valenciana, es un temporal de gran magnitud. En la figura 2 se aprecia cómo se produjo un significativo retroceso de la orilla de hasta 45 m junto a los diques y bastante menor conforme nos alejamos hacia el norte (lo que indica una mayor pendiente de la playa). Se aprecia, asimismo, que la alteración perduró con el paso del tiempo dado que en abril de 2002 todavía la orilla estaba bastante retranqueada respecto a su posición previa al temporal.



Fig. 2. Líneas de costa obtenidas del sensor ETM+ Landsat 7 antes del temporal (julio 2001, octubre 2001) y después del mismo (febrero y abril de 2002). Se aprecia claramente el impacto del temporal extraordinario que sufrió toda la costa mediterránea española.

### Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en parte gracias a la ayuda del Ministerio de Ciencia e Innovación en el marco del proyecto CGL2009-14220-C02-01.

### REFERENCIAS

- Boak, E.H. & Turner, I.L. (2005): Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*, **21**: 688-703.
- Foody, G.M., Muslim, A.M. y Atkinson, P.M. (2005): Super-resolution mapping of the waterline from remotely sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, **26**:5381-5392.
- GENS, R., 2010. Remote sensing of coastlines: Detection, extraction and monitoring. *International Journal of Remote Sensing*. **37** (7): 1819-1836.
- Lee, D.S. & Shan, J. (2003): Combining Lidar Elevation Data and IKONOS multispectral imagery for coastal classification and mapping, *Marine Geodesy*, **26**: 117-127.
- Liu, H., Sherman, D. & Gu, S. (2007): Automated extraction of shorelines from airborne light detection and ranging data and accuracy assessment base on Monte Carlo simulation, *Journal of Coastal Research*, **23**: 1359-1369.
- Malthus, T.J & Mumby, P.J. (2003): Remote sensing of the coastal zone: an overview and priorities for future research. *International Journal of Remote Sensing*, **24**: 2805-2815.
- Muslim, A.M., Foody, G.M. y Atkinson, P.M. (2006): Localized soft classification fro super-resolution mapping of the shoreline, *International Journal of Remote Sensing*, **27**: 2271-2285.
- Pajak, M.J. & Leatherman, S. (2002): The high water line as shoreline indicator, *Journal of Coastal Research*, **18**: 329-337.
- Pardo Pascual, J.E., Ruiz Fernández, L.A. Almonacid Caballer, J., Calaf, X. (2008): de cambios de la línea de costa a partir de imágenes de satélite de resolución media, *Congreso Internacional de Ingeniería Geomática y Topográfica*, Valencia.
- Pardo-Pascual, J.E. y Ruiz-Fernández, L.A. (2008): *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*, Universidad Politécnica de Valencia. Libro electrónico.
- Ruiz Fernandez, L.A., Pardo Pascual, J.E., Almonacid, J., Rodríguez Recatalá, B. (2007): Automated detection and multiresolution evaluation using satellite images, *Proceedings of Coastal Zone 07*, Oregon.