

TESIS DOCTORAL

# Obtención de línea de costa con precisión sub-píxel a partir de imágenes Landsat (TM, ETM+ y OLI)

**Autor:** Jaime Almonacid Caballer

**Directores:** Josep Eliseu Pardo Pascual y Luis Ángel Ruiz Fernández

**Lugar:** Universitat Politècnica de València

**Fecha:** 10/12/2014

**Calificación:** Sobresaliente *Cum Laude*

*Disponible:* <https://riunet.upv.es/handle/10251/48462>

## 1. Introducción

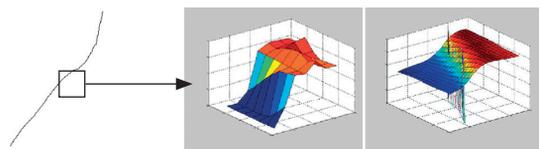
En esta tesis se presenta y evalúa una metodología para la obtención automática de líneas de costa con precisión sub-píxel a partir de imágenes adquiridas por los sensores TM, ETM+ y OLI de los satélites Landsat 5, 7 y 8, respectivamente. El nivel de precisión obtenido es próximo a los 5,5 m (EMC). El procedimiento se divide en tres fases: (i) definición del algoritmo de extracción automática de la línea de costa a nivel sub-píxel, (ii) georreferenciación de las sucesivas imágenes a nivel sub-píxel y (iii) adaptación específica a los distintos tipos de imágenes Landsat.

## 2. Definición del algoritmo

El método desarrollado se basa en el análisis de las bandas del infrarrojo próximo y medio. Una umbralización inicial permite la detección de la línea de costa preliminar a nivel píxel. Aplicando el método de mínimos cuadrados se ajusta una función al vecindario de cada píxel de la línea aproximada y, sobre ella, se calculan los puntos de máximo gradiente (Figura 1). Dado que cada píxel forma

parte de varios vecindarios, se obtiene la posición promedio alcanzando la precisión sub-píxel.

La evaluación del algoritmo se realizó mediante cinco imágenes *QuickBird* (2,4 m de resolución espacial), fotointerpretando la posición verdadera de la línea de costa, que se utilizó como referencia. Posteriormente, esas mismas imágenes se remuestrearon a una resolución espacial equivalente a la de las imágenes Landsat (30 m/píxel). Tras aplicar el algoritmo, se comparó cada línea obtenida respecto a la línea de referencia. Las distancias medias entre las líneas obtenidas y la de referencia variaron entre 0,8 y 2 m, con un EMC inferior a 6,8 m.



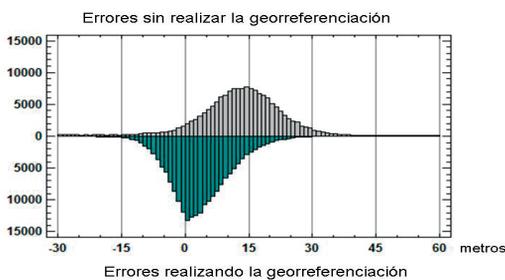
**Figura 1.** Extracción de la línea de costa con precisión sub-píxel. Extracción de la línea aproximada. El vecindario alrededor de cada píxel se ajusta a una superficie mediante mínimos cuadrados. Calculando su gradiente máximo se obtiene la línea de costa con precisión sub-píxel.

### 3. Georreferenciación

El segundo paso consistió en georreferenciar cada imagen Landsat a nivel sub-píxel, con el fin de asegurar que el registro entre dos escenas Landsat o con una imagen de referencia sea de igual o mejor precisión que el de las líneas de costa sub-píxel obtenidas. Para ello, se empleó y validó un método de georreferenciación basado en la correlación cruzada (Guizar-Sicairos *et al.*, 2008). Para realizar una evaluación independiente de las líneas de costa, se generó un conjunto de imágenes de traslación conocida. Al aplicar el método propuesto y comparar sus resultados con la traslación conocida se describieron con detalle los niveles de precisión y su comportamiento con magnitudes de traslación menores al píxel. Los errores observados son próximos a 0,1 píxel. Al aplicarse sobre imágenes con resolución igual a la de Landsat TM/ETM+/OLI (30 m/píxel), equivale a un error de 2 m.

### 4. Aplicación sobre escenas Landsat

En tercer lugar, se integraron los procesos de obtención de la línea de costa y de georreferenciación para su aplicación sobre las bandas infrarrojas de Landsat TM/ETM+/OLI. Para la validación, se tomaron como referencia varias zonas de costa que no sufrieron variaciones durante el intervalo de tiempo considerado en el estudio. La evaluación consistió en comparar la distancia de los puntos de costa sub-píxel frente a la línea de referencia. En la Figura 2 se observan los histogramas de estas distancias antes y después de



**Figura 2.** Histogramas de errores de las líneas de costa sub-píxel para las 59 imágenes Landsat TM de la muestra antes y después de realizar la georreferenciación automática sub-píxel.

aplicar la georreferenciación. Los desplazamientos aplicados con la georreferenciación son menores al tamaño de píxel pero cruciales: se observa que los errores quedan centrados aproximadamente en 0 m.

Se relacionó el error en cada punto con el sensor y banda de procedencia, demostrando que las variaciones en la respuesta espectral de las coberturas terrestres próximas a la costa afectan a la posición de la línea de costa obtenida mediante el algoritmo. Este comportamiento se caracterizó estadísticamente. De esta manera, en función de qué sensor y banda se empleen, es posible corregir la línea de costa y llevarla a su posición definitiva. Considerando el total de líneas de costa analizadas se obtuvo un error medio cuadrático de 5,5 m (Pardo-Pascual *et al.*, 2012).

### 5. Aplicación del algoritmo a la interpretación de la geomorfología costera

Una vez establecido el nivel de precisión de la metodología desarrollada se abordaron dos aplicaciones específicas:

- (i) Por un lado se evaluó el impacto de una serie de temporales costeros sobre un amplio segmento de playas arenosas (100 km) y los procesos de recuperación de esas playas,



**Figura 3.** (Izquierda) Posición de la línea de costa obtenida a partir de la imagen Landsat 7 del 14/01/2003 superpuesta sobre una ortofotografía registrada ese mismo día por la tarde. Playa de la Barceloneta, Barcelona. (Derecha) En amarillo la línea de costa obtenida automáticamente partiendo de una imagen Landsat. En rojo, línea de referencia. Costa de Borriana (Castellón).

(ii) Por otro lado, se realizó un estudio de la tendencia a medio plazo (durante treinta años) de un segmento costero de 14 km de longitud, relacionando la evaluación de las líneas de costa con la historia local de la zona.

Estos dos estudios muestran la utilidad de las líneas de costa obtenidas mediante la metodología propuesta en grandes extensiones, así como para obtener cartografía histórica precisa en periodos en los que no se dispone de otra fuente de información. La Figura 3 muestra dos ejemplos de la línea de costa obtenida automáticamente.

## 6. Conclusiones

Las líneas sub-píxel obtenidas por el método propuesto constituyen una nueva fuente de información para los estudios de la dinámica de las playas. Si bien la metodología presenta algunas limitaciones, como es el caso de la detección de inflexiones costeras en espacios menores a la resolución del píxel, o el efecto de la reflectancia de ciertas coberturas alrededor de la línea de costa que afecta, aunque escasamente (un máximo de 5 metros), a la precisión de línea de costa detectada; por otra parte, resuelve otros inconvenientes propios del resto de fuentes de datos disponibles para los estudios de la dinámica costera, como por ejemplo la posibilidad de realizar estudios retrospectivos o en grandes espacios, dada la cobertura global de Landsat.

## Referencias

- Guizar-Sicairos, M., Thurman, S. T., Fienup, J. R. 2008. Efficient subpixel image registration algorithms. *Optics Letters*, 33(2), 156-158. <http://dx.doi.org/10.1364/OL.33.000156>
- Pardo-Pascual, J.E., Almonacid-Caballer, J., Ruiz, L.A., Palomar-Vázquez, J. 2012. Automatic extraction of shorelines from Landsat TM and ETM+ multi-temporal images with subpixel precision. *Remote Sensing of Environment*, 123, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.02.024>
- Pardo-Pascual, J.E., Almonacid-Caballer, J., Ruiz, L.A., Palomar-Vázquez, J., Rodrigo-Aleman, R. 2014. Evaluation of storm impact in sandy beaches of the Gulf of Valencia using Landsat imagery series. *Geomorphology*, 214, 388-401. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.02.020>

