

# Teledetección, GPS y Lidar: Nuevas técnicas de análisis y evolución de la línea de costa y de los espacios playa-duna

Josep E. Pardo Pascual, Luis A. Ruiz Fernández, Jesús M. Palomar Vázquez, Xavier Calaf, Gerson R. Colmenárez, Jaime Almonacid y Gemma Gracia

*Grupo Cartografía Geoambiental y Teledetección (CGAT)*

*Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría*

*Universitat Politècnica de València*

## 1. NECESIDADES

La playa es uno de los ambientes naturales más atractivos socialmente pero a su vez también es un espacio profundamente dinámico. Los cambios que se producen pueden obedecer a factores relacionados con procesos meteorológicos, muchos de ellos con ritmos estacionales u oscilantes a lo largo del año, pero, en otros casos, existe una tendencia de cambio progresivo, es decir, de cambios continuados que tienden a perdurar en el tiempo. Dentro de los cambios progresivos o persistentes en el tiempo podríamos diferenciar tres tipos fundamentales:

- i. Cambios rápidos y delimitados en el espacio: Se relacionan con alteraciones locales en el aporte sedimentario dentro del sistema costero debido a la interposición de obstáculos artificiales al transporte longitudinal de sedimentos (efectos de los espigones, puertos, etc.). Estos cambios son fácilmente perceptibles y diferenciables en un análisis evolutivo dado que están asociados a la existencia de una obra y su efecto es muy marcado con rápidos avances o retrocesos de la orilla.
- ii. Cambios en la tendencia general a largo plazo a escala regional: Se relacionan con modificaciones en el régimen de llegada de aportes sedimentarios al sistema litoral (por ejemplo por la retención de sedimentos fluviales en los vasos de los embalses). Sus efectos se van mostrando de forma poco marcada a lo largo de décadas y se perciben sobre amplias áreas de una célula sedimentaria costera incluso donde no hay intervenciones humanas directas
- iii. Cambios relacionados con variaciones globales del nivel marino: Este tipo de cambios a lo largo de la historia han afectado a los litorales sobre una escala de miles de años pero en estos momentos y relacionado con el cambio climático global se puede esperar que actúe de forma más acelerada. Implicaría cambios generales.

La confluencia de distintos procesos y causas puede dificultar la toma de decisiones correctas para gestionar y mantener un medio tan valioso. Es, de hecho, fundamental discernir y cuantificar los cambios para conocer su magnitud (si son o no preocupantes para la gestión) y sus causas para poder dar soluciones reales. Desde nuestra perspectiva el análisis evolutivo a distintas escalas espaciales y temporales con un grado de precisión adecuada permite detallar

las modalidades de cambios que se dan en cada una de las playas y deducir, apoyándose en otros datos, las causas que los explican.

## **2. NUEVAS POSIBILIDADES**

Resulta, por tanto, fundamental caracterizar correctamente cómo son los cambios a distintas escalas. Para lograr este objetivo se puede aprovechar el espectacular avance que las técnicas de adquisición de la información geográfica han tenido en las últimas décadas y el significativo cambio que está suponiendo la aparición de las infraestructuras de datos espaciales y la liberalización de parte de la documentación cartográfica básicas (fotografías aéreas, ortofotografías, imágenes de satélite...).

En la última década se han producido avances en los métodos de adquisición de datos topográficos gracias al desarrollo tanto de los sistemas de posicionamiento global en modo cinemático en tiempo real (con el que se pueden alcanzar precisiones tanto en planimetría como en altimetría superiores a los 5 cm) como de los sistemas de LIDAR aerotransportado (con precisiones de unos 0,5 -1 m en planimetría y unos 15 cm en altimetría) o de láser escáner terrestre (millones de puntos con precisiones superiores al centímetro). El empleo de estas nuevas fuentes de información permite encarar la evolución tridimensional de los sistemas playa-dunas superando las limitaciones que tenía el análisis sistemático de los perfiles o los trabajos fotogramétricos clásicos. Para análisis bidimensionales, también la teledetección ha mejorado sustancialmente su oferta y desde principios del presente siglo se dispone de imágenes de muy alta resolución (superiores al metro) lo que permite cartografiar las playas con gran precisión.

Por otra parte, son muchas las instituciones que están abriendo su documentación fotográfica y ortofotográfica mediante servidores que permite un acceso generalizado a esta información desde la red. Más aún, en abril de este año el USGS acaba de anunciar que para finales del presente año suministrará de forma gratuita todas las imágenes Landsat TM registradas por esta institución desde 1984 lo que supone una auténtica revolución en cuanto a la disponibilidad de información sobre la superficie terrestre.

## **3. RETOS**

Estas posibilidades plantean retos a los científicos que trabajamos en el litoral e imponen otra manera de hacer los estudios para aprovechar estas circunstancias. Alguno de los retos principales que se nos presentan son:

- Desarrollar nuevos métodos con capacidad para integrar los nuevos e ingentes volúmenes de información de manera que resulten geomorfológicamente significativos y también para la gestión.
- Automatizar al máximo los procesos de extracción de la información.
- Desarrollar métodos que permitan explotar al máximo las posibilidades informativas de los registros disponibles.

### **3.1. Extracción automática de la línea de costa a partir de imágenes de alta resolución**

Si bien existen distintas propuestas en la bibliografía (Di *et al.*, 2003; Guariglia, *et al.*, 2006; por el momento no podemos decir que exista una óptima. La solución que presentamos aquí parte de la utilización de imágenes QuickBird (0,6 m de tamaño de píxel en la banda pancromática y 2,4 m en las bandas multiespectrales [azul, verde, rojo e infrarrojo próximo]). Se parte de la realización de una fusión de la banda pancromática con las multiespectrales con lo que logramos una nueva imagen con 0,6 m de resolución espacial y con el grueso de la riqueza espectral de las bandas multiespectrales originales. A partir de ello se hace una clasificación supervisada tomando cuidado de diferenciar tanto los espacios de agua, arena seca, arena mojada y otros elementos.

De la imagen clasificada solo interesa, en realidad, el área de playa, por lo que se obvian el resto de los elementos reteniendo sobre todo los espacios de playa seca y mojada y mar. Una vez unidos los espacios de playa seca y mojada queda un polígono en el que el borde marino está bien conseguido. Es conveniente, en todo caso, pasar un filtro de mediana para suavizar algunos bordes y vectorizar el resultado. Los resultados observados en varias playas situadas al norte y sur de la ciudad de Valencia mejoran sustancialmente las líneas trazadas manualmente por un fotointérprete.

### **3.2. Extracción automática de la línea de costa a partir de imágenes Landsat TM con precisión subpíxel**

La indudable ventaja en la resolución espacial de las imágenes de muy alta resolución pierde significación cuando se pretenden extraer las líneas de costa de las últimas décadas y de territorios suficientemente grandes como para verificar o refutar tendencias erosivas y/o acumulativas globales o, al menos, regionales. Ello es así porque con estos satélites no se registra el conjunto del planeta de forma continua sino que se capturan imágenes de zonas determinadas "a la carta". El coste de adquisición resulta muy elevado y, además, solo habría datos desde 2000 (caso de Ikonos) o desde 2001 (QuickBird). Si se buscan series más largas que cubran el grueso del planeta necesariamente habrá que trabajar con imágenes con resoluciones espaciales menores (20-30 m).

De entre ellas las más ampliamente utilizadas son las imágenes Landsat TM, disponibles desde marzo de 1984 y que cubren prácticamente todas las áreas continentales del planeta cada 16 días. Ello supone que potencialmente se podrían disponer del orden de unas 500 imágenes de una misma zona para estos últimos 24 años. ¿Podrían aprovecharse estas imágenes para reconocer tendencias evolutivas? Parece claro que su principal problema procede del excesivo tamaño del píxel. ¿Sería posible definir un método que logre deducir la posición de la orilla con un nivel de precisión sustancialmente mejor que la dimensión del píxel? Este ha sido el objetivo central de una de las líneas de trabajo que estamos desarrollando.

Los tipos de problemas que han de abordarse son de tres tipos:

- 1) hay que definir un algoritmo que permita detectar la posición de la orilla a nivel subpíxel,

2) se ha de conseguir georreferenciar con un nivel de exactitud suficiente las imágenes utilizadas y asignar la posición de cada una de las líneas extraídas.

3) El flujo de trabajo ha de ser automatizable en su mayor parte

En trabajos previos (Ruiz *et al.*, 2007; Pardo *et al.*, 2007, 2008) hemos presentado un algoritmo que permite extraer la línea de costa a nivel subpíxel. Su fundamento básico se sostiene, por un lado, por la radical diferencia en la respuesta espectral del mar y el continente y en que por regla general allí donde encontramos una playa, la forma de la costa tiende a ser aproximadamente rectilínea. El algoritmo desarrollado parte de la extracción inicial de una línea de costa aproximada a nivel píxel y, en una segunda fase, sobre esta primera línea se hace la búsqueda de la posición a nivel subpíxel. El programa desarrollado se basa en el remuestreo previo de la imagen para trabajar sobre píxeles de menor dimensión. Sobre un vecindario dado de la nueva imagen remuestreada y situada sobre la línea de costa preliminar, se ajusta una función polinómica de 5º grado y, una vez definida esta función matemática de forma analítica, se deduce el punto en el que la curvatura es nula y el gradiente máximo. Este análisis se repite sucesivamente siguiendo la línea de costa preliminar.

Su utilidad potencial se ha verificado a partir de una serie de test en los que partiendo de una imagen QuickBird hemos ido degradando la resolución de la imagen original hasta simular una imagen Landsat. Las pruebas realizadas sobre las playas situadas al norte y sur de la ciudad de Valencia permiten deducir que el algoritmo desarrollado logra, para una imagen de 28,8 m de píxel, deducir la posición de la orilla con un error medio de aproximadamente 5 m.

Para valorar el impacto de la georreferenciación se ha trabajado directamente sobre imágenes Landsat TM en segmentos costeros de los que tenemos constancia de que no se han producido cambios ya que la orilla estaba artificialmente fijada por las defensas longitudinales de escollera. En concreto, las áreas de evaluación utilizadas han sido un segmento de 2,23 km situado entre Massalfassar – Meliana (al norte de la ciudad de Valencia) y otros dos segmentos situados en la costa castellonense, concretamente uno en el término de Almassora (4,02 km) y el otro en el de Borriana (de 3,17 km de longitud).

Se ha definido un protocolo de actuación en el proceso de georreferenciación que es el siguiente:

- (1) Se trabaja con escenas relativamente pequeñas. Hasta ahora las pruebas se han hecho sobre escenas de 150 x 150 píxeles..
- (2) Se realiza un registro de la imagen utilizando un sistema de tratamiento de imágenes. Para ello se utilizan unos 15 puntos de control que estén distribuidos lo más homogéneamente posible en la imagen y lo más cerca posible de la costa.
- (3) Para registrar imágenes de un mismo lugar se puede aplicar la correspondencia de puntos homólogos con correlación cruzada.
- (4) Se aplica una transformación polinómica de primer grado.
- (5) El error medio cuadrático de la imagen no ha de superar los 15 m (medio píxel) y el error medio cuadrático para cada punto no ha de superar los 18 m.
- (6) La imagen registrada se remuestrea por el método de convolución cúbica.

- (7) Se recorta la imagen para que quede sólo la parte de la costa (para acelerar los cálculos).
- (8) Se ejecuta el algoritmo de extracción y de ahí obtenemos un resultado en forma de puntos que es importado a un SIG (ArcMap) y allí transformado en una línea utilizando un script propio.

Aplicando este protocolo se han realizado un total distintas pruebas y se ha comprobado que el error medio oscila entre 6 y 10 m, siempre que la imagen Landsat no presente alguna deficiencia en su preprocesado. De hecho hemos podido detectar dos tipos de defectos intrínsecos de la imagen que provocan que el error de georreferenciación aumente significativamente de forma puntual o general. Los defectos encontrados son el bandeo sistemático o el bandeo aleatorio. El primero se debe a un deficiente preprocesado del efecto de oblicuidad debida al tiempo de barrido y resulta sencillo de reconocer ya que una línea de costa recta aparece como escalonada. En estos casos la georreferenciación resulta imposible de aplicar con coherencia, por lo que lo más adecuado es prescindir de la imagen afectada en los análisis.

El bandeo aleatorio es aquel en el que un bloque de filas de la imagen sufre un desplazamiento —generalmente de un píxel— respecto a su posición correcta. Su detección no es fácil de apreciar directamente ya que la imagen parece correcta inicialmente. Sin embargo, una vez aplicado el algoritmo, encontramos que la línea de costa muestra una brusca inflexión en el sentido del desplazamiento en los lugares afectados por el bandeo. En el caso en que esto suceda se debe corroborar si el desvío de la línea de costa es real o es un artificio creado por el bandeo. Para ello hay que explorar con detenimiento la imagen y comprobar si otros elementos lineales —carreteras, etc.— muestran ese mismo efecto. Ello resulta relativamente sencillo si colocamos cartografía vectorial sobre la imagen.

De estos resultados deducimos que se pueden extraer las posiciones de la línea de costa a partir de imágenes Landsat TM, sobre áreas micromareales, con un error medio de hasta 10 m. Este sería el umbral de precisión de esta fuente de información si se aplica la metodología propuesta, lo que nos permite prever que se podrían generar las bases de datos de posiciones de la orilla de la serie completa de imágenes Landsat TM (desde 1984 a la actualidad) y emplearla sólo para detectar cambios mayores de 10 m, es decir se podrían dar por ciertas tasas de cambio deducidas por este medio que superasen los  $\pm 0,42$  m/año. Con el paso de los años, obviamente, se podrían reconocer tasas de cambio inferiores. Su ventaja respecto a otros métodos procedería de usar un gran número de imágenes, con lo que el riesgo de que afecten las oscilaciones de la posición de la orilla de carácter intranual disminuyen y que puede ser aplicado a amplísimos territorios dado que, en principio, se dispondría de datos prácticamente de todo el planeta.

### **3.3. Caracterización de la dinámica tridimensional de las playas y dunas**

La disponibilidad de herramientas que permite la rápida adquisición de datos topográficos mediante GPS-RTK y LiDAR (de distintas generaciones) está permitiendo que se dispongan de

múltiples configuraciones topográficas de espacios cambiantes como las playas y las dunas. Ello nos obliga, por una parte, a hacer comparables las distintas series de datos (en muchas ocasiones de densidades y naturalezas distintas) y, por otra a superar los análisis de cambios basados en la simple comparación entre fechas para lograr una caracterización de los espacios costeros basada en su forma y en cómo cambia esta forma a lo largo del tiempo.

**a) Comparación de series de datos con densidades y naturalezas distintas**

Un primer aspecto fundamental es asegurar que se trabaja sobre el mismo sistema de referencia y que se ha aplicado un mismo modelo de geoide. Este hecho es fundamental, máxime en un momento como el presente en el que parte de la información puede estar en el sistema ED50 y otra en ETRS89.

El segundo aspecto es establecer un método que asegure que los cambios que se detecten son reales y no fruto de la diferencia de densidades en los registros. Este hecho es también importante, sobre todo, cuando trabajamos en áreas dunares. Nuestra propuesta es aplicar un método en el que antes de determinar los cambios se verifique que en cada uno de los registros nuevos había en su entorno (1,5 m) alguna medida previa y que ésta es significativamente distinta a la actual. Sólo si se cumple esta condición se acepta como cambio.

**b) Caracterización de los espacios basada en la forma y en la dinámica**

Para espacios de playa nuestra propuesta es segmentar las playas en unidades suficientemente pequeñas –franjas con una superficie aproximada de 500 m<sup>2</sup> –y caracterizarlas morfológicamente para cada levantamiento tomando en consideración los siguientes parámetros: cota media, pendiente media, forma media del perfil (parametrizada mediante la integral hipsométrica), anchura media de la playa y sinuosidad en la forma de la costa.

De esta forma, para cada uno de estos polígonos se almacenan toda una serie de características morfológicas en cada una de las mediciones. Posteriormente, es posible calcular un conjunto de estadísticos básicos (media, desviación estándar, rango de variabilidad, valores máximos y mínimos) sobre los parámetros almacenados.

La disposición de la información de esta manera facilita:

- Caracterización de una playa desde una perspectiva dinámica.
- Análisis de la relación que se establece entre las distintas variables registradas.
- Diferenciación geográfica según su morfología y su dinámica (partiendo de agrupamientos –*clusters*—estadísticamente significativos.
- Detección de patrones evolutivos de carácter estacional.
- Detección de patrones de cambio de carácter progresivo (si el número de mediciones es suficientemente alto) mediante el ajuste de los valores medios obtenidos en cada levantamiento a una recta de regresión.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia y por los fondos FEDER en el marco de los proyectos de investigación CTM2006-11767/TECNO y CLG2006-11242-C03-03/BTE.

## REFERENCIAS

- Di, K., Wang, J., Ma, R. Y Li, R. (2003): Automatic shoreline extraction from high – resolution Ikonos satellite imagery, ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings May 2003, Anchorage, Alaska.
- Guariglia, A., Bounamassa, A., Losurdo, A., Saladino, R., Trivigno, M.L., Zaccagnino, A. y Colangelo, A. (2006): A multisource approach for coastline zapping and identification of shoreline changes, *Annals of Geophysics*, 46, 1: 295-304.
- Pardo Pascual, J.E., Ruiz Fernández, L.A., Almonacid, J. y Calaf, X. (2008): Detección automática de cambios en la línea de costa a partir de imágenes de satélite de resolución media, IX Congreso Top-Cart, Valencia, febrero 2008.
- Pardo Pascual, J.E., Ruiz Fernández, L.A., Almonacid, J., Rodríguez-Recatalá, B. y Gracia, G. (2007a): Métodos para la determinación automática de la línea de costa con precisión subpíxel, in Gómez-Pujol, Ll. and Fornós, J.J. (eds.): *Investigaciones recientes (2005-2007) en Geomorfología litoral*, IV Reunión de Geomorfología Litoral, 3-5 Mayo 2007, Palma de Mallorca, Ed. Universitat de les Illes Balears, pp. 39-40.
- Ruiz, L.A., Pardo Pascual, J.E., Almonacid, J., Rodríguez, B. (2007): Coastline automated detection and multiresolution evaluation using satellite images, *Proceedings of Coastal Zone 07*, Portland, Oregon, Julio 2007 ([http://www.csc.noaa.gov/cz/2007/Coastal\\_Zone\\_07\\_Proceedings/PDFs/Poster\\_Abstracts/0000.Ruiz.pdf](http://www.csc.noaa.gov/cz/2007/Coastal_Zone_07_Proceedings/PDFs/Poster_Abstracts/0000.Ruiz.pdf))