

## **Evaluación de las técnicas de tratamiento digital de imágenes en el estudio de la evolución de las áreas costeras**

*J.E. Pardo Pascual<sup>1</sup> y M.J. López García<sup>2</sup>*

(1) Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría

(2) Departament de Geografia

Universitat de València

### **RESUMEN**

Este trabajo intenta evaluar las posibilidades del tratamiento digital de imágenes utilizando un sistema sencillo (como IDRISI) para el análisis de la evolución de áreas costeras. Se han seleccionado dos zonas en el litoral valenciano: Sagunt y El Puig para evaluar los cambios en los usos del suelo y la variación de la línea de costa acaecidos durante las últimas décadas a partir de fotografías aéreas digitalizadas. El método presenta buenos resultados respecto a metodologías tradicionales ya que permite la correcta cuantificación de áreas y sus errores con una inversión económica y de tiempo relativamente baja y permite la integración de los resultados en Sistemas de Información Geográfica.

### **ABSTRACT**

The purpose of this paper is to evaluate the possibilities of the use of digital images processing techniques available using simple software (such IDRISI) for the analysis of recent changes in coastal areas. Two study sites in the Valencia littoral were selected to quantify land use changes and coastline evolution in recent decades by using digitalized air photographs. The results confirm the advantages of digital image processing with respect to traditional methodologies as areas can be quantified, errors calculated and data integrated in a GIS within a relatively small budget.

### **Introducción**

Las áreas costeras son espacios geográficos especialmente interesantes por la gran diversidad de procesos ambientales y antrópicos que en ellos convergen. Por definición, la costa es un espacio fronterizo (tierramar) en el que interactúan procesos naturales (climáticos, geomórficos, hidrológicos, ecológicos...) de origen marino y continental. Dichos procesos actúan sobre un espacio restringido en el que se produce un enorme gasto de energía por unidad de superficie. Ello explica que las áreas costeras sean, dentro del conjunto de paisajes naturales uno de los medios más diná-

micos y cambiantes. La confluencia de procesos de origen diverso y el elevado gasto energético, confiere a los elementos del paisaje costero rasgos singulares y específicos que le proporcionan un elevado valor ecológico.

Los paisajes costeros han sido antropizados desde antiguo mediante la introducción de asentamientos humanos, vías de comunicación, explotaciones agrarias, industriales, comerciales y turísticas, y las intervenciones directas sobre la costa (puertos, espigones, etc.). En la actualidad el interés del hombre por las áreas costeras queda evidenciado por la fuerte presión demográfica y urbanística a la que se ve sometido. Si bien es indudable el elevado valor ecológico y paisajístico de las zonas costeras, así como el aprecio social y económico de las mismas, las actuaciones humanas sobre el mismo no siempre presentan el cuidado que según su valor merecerían. Para hacer frente a actuaciones poco respetuosas y, en ocasiones, agresivas con el medio se impone una ordenación territorial eficiente y respetuosa. Uno de los elementos claves para llevar a cabo la correcta ordenación del medio es el reconocimiento de los cambios que se producen en el territorio. Dichos cambios deben ser apreciados con un nivel de precisión elevado, de forma rápida y utilizando un sistema que permita cartografiarlos y cuantificarlos.

Para adquirir información sobre las características del área a ordenar contamos tanto con datos puntuales (obtenidos de documentación escrita, informes, trabajo de campo, etc.) como con información referida al conjunto del territorio (procedente de mapas topográficos y temáticos, fotografías aéreas e imágenes de satélite). Este segundo grupo constituye la fuente más atractiva para lograr los objetivos señalados ya que permite la caracterización global del espacio.

Para detectar y cartografiar los cambios acaecidos en el paisaje debemos comparar documentos obtenidos en diferentes fechas. Con frecuencia, las fuentes cartográficas (mapas, fotografías, imágenes) suelen ser de escalas y naturaleza distintas, por lo que debemos utilizar una metodología que nos permita igualar las escalas y el sistema de proyección y, en consecuencia, conseguir la superposición y comparación de los mismos.

Los sistemas de trabajo empleados hasta ahora se pueden clasificar en dos grupos: sistemas de coste bajo y nivel de precisión bajo y sistemas de coste alto y gran precisión. En el primer grupo se incluye el pantógrafo óptico y la cámara clara. El primero consiste en una ampliación óptica de un documento hasta igualarlo con la escala del otro. Sería útil sólo si se comparan dos mapas. La cámara clara es un utensilio más complejo y permite la comparación de fotos aéreas con mapas, pudiéndose, incluso, corregir las deformaciones de la foto asociadas a la inclinación del avión el momento de toma. El principal problema de este sistema es que trabaja so-

bre un campo de visión muy pequeño y la graficación es manual por lo que el grado de inexactitud puede ser alto. Los errores en la cuantificación pueden ser altos y difíciles de evaluar. El coste del instrumental es relativamente bajo, el nivel de aprendizaje que se requiere es sencillo, aunque la inversión en tiempo (si se pretende obtener unos resultados aceptables) es muy alto.

El segundo grupo, los sistemas de coste alto y gran precisión, son aquellos que permiten la transformación de las imágenes en proyección cónica (fotos aéreas) en imágenes en proyección ortogonal. En este grupo incluiríamos los restituidores fotogramétricos. Los niveles de precisión que se alcanzan son muy elevados, pero tienen el inconveniente de ser muy caros y precisar operadores con gran formación.

Frente a estos dos sistemas de análisis, en el presente artículo se propone la utilización de técnicas de tratamiento digital de imágenes. El objetivo de este estudio es la evaluación de la utilidad del tratamiento digital de imágenes frente a metodologías clásicas, para la evaluación cuantitativa de los cambios espaciales recientes experimentados en zonas costeras. Para ello estudiamos dos casos concretos de la costa valenciana, el del litoral saguntino y el de El Puig.

### *Área de estudio*

La zona de estudio es el sector septentrional del litoral del Golfo de Valencia, costa mayoritariamente baja y arenosa, constituida por un sistema de albuferas y restingas interrumpido por la presencia de conos aluviales (Figura 1). Desde el punto de vista de la dinámica marina, es un área caracterizada por bajos niveles de energía: escaso rango de marea (máxima de 20 cm) y oleajes generalmente débiles pero donde pueden darse algunos temporales fuertes. La orientación de la línea de costa (NNE-SSW), la aproximación oblicua del oleaje y la dirección predominante de los vientos del primer cuadrante, tiene como resultado la presencia de una deriva litoral norte sur (Sanjaume, 1982).

La costa valenciana ha sido espacio de asentamiento de la población desde tiempos históricos y, en la actualidad experimenta una fuerte presión demográfica ligada a la expansión urbana y al desarrollo turístico acaecido desde los años 60. El elevado nivel de antropización del litoral se plasma en la proliferación de obras costeras (puertos comerciales, pesqueros, deportivos, espigones, defensas longitudinales...) que a menudo provocan una ruptura en el equilibrio del sistema y una respuesta o cambio en el mismo como son los procesos de erosión y acumulación en las playas. En el litoral valenciano se han producido en los últimos años numerosos ejemplos de procesos de erosión y acumulación antrópica, procesos que se desencadenan a escalas temporales cortas, es decir, son observables en períodos de tiempo de pocos meses y afectan a localizaciones puntuales de la costa (Pardo, 1991).

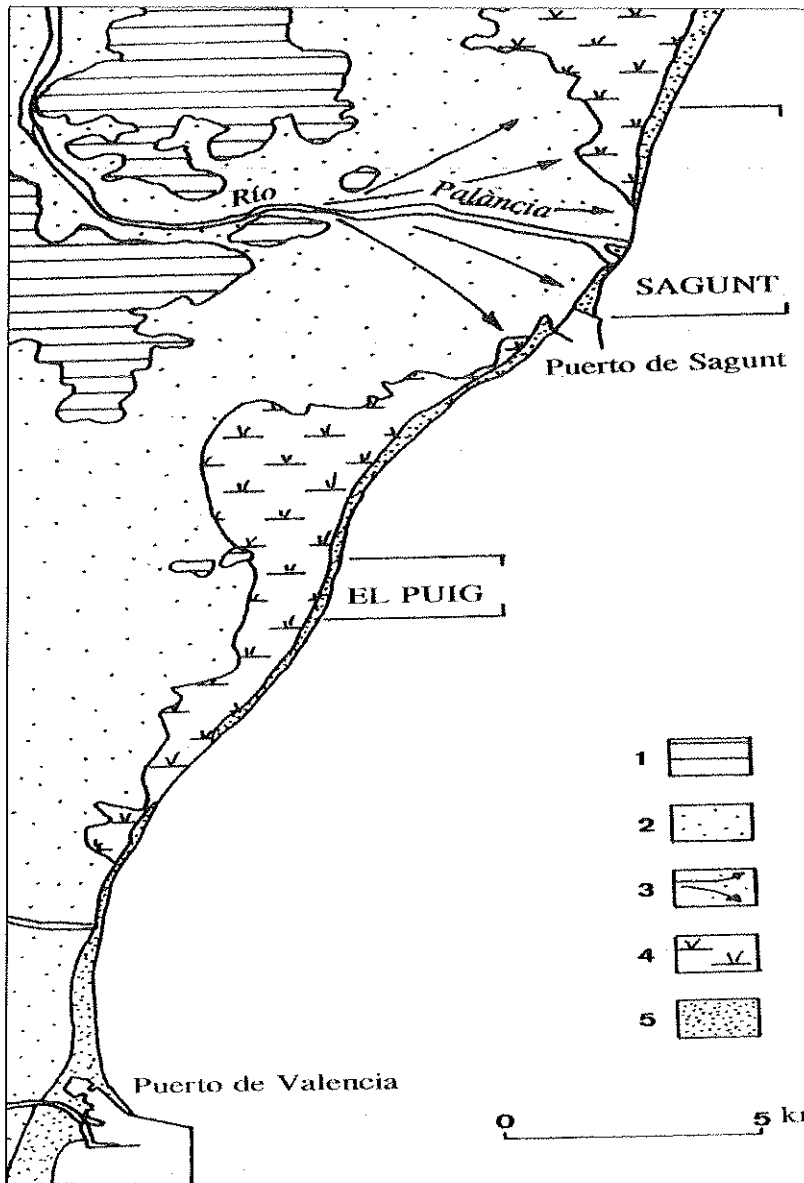


FIGURA 1

Esquema geomorfológico de la zona de estudio. Los tramos analizados: Sagunt y El Puig se indican sobre el mapa. 1) relieves, 2) depósitos aluviales, 3) cono aluvial, 4) marjal y 5) restingas y playas

Para nuestro trabajo, hemos seleccionado dos áreas concretas donde se han detectado cambios importantes en las últimas décadas: Sagunt y El Puig (Figura 1). La zona de Sagunt abarca un tramo litoral de 4 km, entre el límite norte del término municipal de Canet d'en Berenguer y el dique norte del Port de Sagunt. Este espacio comprende la parte distal del cono aluvial del río Palancia, es una zona agrícola-industrial donde se ubican diversas zonas urbanas y urbanizaciones costeras ligadas al turismo. Como obras de ingeniería costera incluye algunas de las instalaciones del puerto de Sagunt que datan de los años 50 y el puerto deportivo Puerto Siles construido en 1982. El estudio se ha centrado en la evaluación de los cambios ocurridos entre 1967 y 1986. Como documentos fuentes se han utilizado fotografías aéreas del vuelo de 1967, en blanco y negro, a escala aproximada de 1:18.000 y fotografías en color del vuelo de 1986 a escala aproximada 1: 12.000.

La zona de El Puig abarca un tramo de 2 km al sur del límite norte del término municipal del Puig. Es una zona fundamentalmente de uso agrícola, aunque en décadas recientes se ha acrecentado la ocupación turística del tramo costero. Las playas eran originariamente de cantos, y se encuentran en una zona de tendencia erosiva. Como actuaciones antrópicas costeras destaca la construcción de espigones con el propósito de favorecer la retención de arenas. El estudio se ha centrado en la evaluación de los cambios ocurridos entre 1957 y 1986. Como documentos fuentes se han utilizado fotografías aéreas del vuelo de 1957, en blanco y negro, a escala aproximada de 1:33.000 y fotografías en color del vuelo de 1986 a escala aproximada 1: 12.000

### **Metodología**

Frente al uso de las metodologías tradicionales anteriormente descritas para la evaluación y cuantificación de los cambios ocurridos en el litoral, nuestro objetivo consiste en diseñar un método de trabajo mediante tratamiento digital de imágenes que se base en un sistema de bajo coste, que requiera un nivel de aprendizaje sencillo, una inversión en tiempo relativamente baja y que ofrezca un nivel de precisión alto y adecuado para este tipo de trabajo. El software empleado es Sistema de Información geográfica IDRISI (versión 4.0) para ordenador P.C. (Eastman, 1992).

El método de trabajo se resume en tres etapas: 1) preparación de documentos, 2) interpretación de imágenes y, 3) cuantificación de los cambios.

La primera etapa consiste en la transformación de los documentos fuentes (fotografías aéreas) en documentos que sean comparables entre sí, es decir, que estén a la misma escala y sean superponibles. El mapa de la Diputación Provincial de Valencia de 1983, a escala 1: 10.000 se ha utilizado como documento de referencia. En primer

lugar, tanto el mapa como las fotografías se convierten en imágenes digitales mediante un scanner. La digitalización se realiza de tal manera que la resolución del píxel es de 2,1 m x 2,1 m, lo que significa una precisión equivalente a la escala del mapa. Una vez unificada la escala de los documentos, para conseguir la perfecta superposición de los documentos, se realiza las operaciones de registrado. Las fotos aéreas de 1967 en el caso de Sagunt y de 1957 en el caso de El Puig se corrigen sobre el mapa de referencia, posteriormente estas fotografías se utilizarán como imágenes de referencia para el registrado de las fotos aéreas de 1986. El registrado se realizó mediante la identificación de puntos de control y el error obtenido fue, en todos los casos, inferior a 1 píxel. El registrado se realiza haciendo uso de las funciones EDIT Y RESAMPLE del sistema IDRISI, y el ensamblaje de los distintos fotogramas se consigue mediante las funciones SUBSET y CONCAT.

La segunda etapa tiene como objetivo la elaboración de un mapa de usos del suelo a partir de las fotos aéreas. Se han diferenciado seis tipos de coberturas: playa, dunas, cauce de río, zona de uso agrario, zona de uso industrial y comercial y zona de uso urbano. El reconocimiento de dichas superficies la realizamos por fotointerpretación, y la delimitación de las áreas se realiza mediante el trazado manual con el cursor sobre el monitor. Las funciones de realce de la imagen y el zoom para ampliación de la imagen nos permite realizar un trazado minucioso de los límites. Estos contornos se registran en un formato vectorial y posteriormente se convertirá en una imagen raster para la comparación. Del mismo modo se ha procedido a la delimitación de la línea de costa en cada una de las imágenes.

Finalmente, la tercera etapa consiste en la evaluación de los cambios propiamente dicha. Los cambios en los usos del suelo se evalúan mediante la cuantificación de las superficies dedicadas a cada uso. En la imagen raster creada como resultado de la fotointerpretación, cada uno de los usos se identifica mediante un valor numérico y, mediante el histograma de frecuencias de la imagen, obtenemos el área ocupada. Por otra parte, los cambios en la línea de costa se evalúan mediante la superposición de los documentos.

### **Resultados**

En la figuras 2 y 3 se muestran para Sagunt y El Puig respectivamente los mapas de usos del suelo obtenidos en los dos momentos históricos considerados a partir de la fotointerpretación. En las tablas 1 y 2 se recogen, para Sagunt y El Puig respectivamente, los valores (en ha y en porcentajes) de la superficie ocupada por cada uno de los usos del suelo calculada a partir de las imágenes. Los valores entre paréntesis indican el error estimado (en ha) para cada una de las superficies. Para la estimación de dichos errores se ha considerado únicamente el error que se comete en el trazado

de los perímetros que delimitan cada una de las unidades. Este valor se estima como el número total de píxeles del perímetro dividido por 2. El error de registrado no afecta a nuestra evaluación puesto que la cuantificación de las áreas se ha realizado por separado a partir de cada uno de los fotogramas.

De los cambios observados en Sagunt entre 1967 y 1986 (figura 2) destaca, en primer lugar, el fuerte crecimiento de la zona urbanizada. Ello obedece a dos razones básicas: el continuado crecimiento del núcleo urbano del Port de Sagunt, debido a la instalación de la IV Planta Siderúrgica (Rosselló, 1984) y, sobre todo, al desarrollo creciente de la actividad turística. En 1967 la zona urbana ocupaba sólo el 5% del espacio total analizado, mientras que en 1986 se alcanza el 22%. La expansión urbana se ha hecho a expensas de la zona de uso agrícola, si bien, algunas nuevas edificaciones se han situado sobre antiguas zonas de playa. Otro cambio significativo es la espectacular pérdida de superficie (más del 50%) sufrida por el cauce del Palancia, provocada, posiblemente, por la incisión del río sobre sus propios sedimentos a lo largo de todo el cono aluvial (Segura, 1991) y al uso como vertedero del área abandonada por el río. Otro cambio destacable es el incremento de suelo utilizado para usos industriales y portuarios. Estos cambios están asociados tanto al desarrollo siderúrgico (ampliación de instalaciones del puerto de Sagunt), como al fenómeno turístico (a partir de 1982 se instala el puerto deportivo de Puerto Siles).

La costa de el Puig (figura 3), a diferencia de la de Sagunt, no incluía prácticamente ninguna zona urbanizada en 1957. La totalidad de la zona estaba dedicada a usos agrarios, excepto la playa de cantos que, ocasionalmente, era utilizada para usos recreativos por los habitantes de los pueblos próximos. En 1986, sin embargo, la zona estudiada presenta mayor variabilidad: han aparecido espacios de uso industrial y comercial (2%), de uso urbano (5,1%) y se ha producido un pérdida evidente de su-

unidad territorial	1967			1986		1986-1957	
	ha		%	ha	%	ha	
playa	33,9	(1,1)	11,7	21,4	(1,2)	7,1	-12,5
dunas	0,2	(0,02)	0,1	2,0	(0,2)	0,7	1,8
zona fluvial	37,7	(0,5)	13,0	15,5	5,1	-22,2	(0,5)
zona urbana	14,8	(0,7)	5,1	66,4	(1,3)	22,0	51,6
zona port-ind.	12,5	(0,3)	4,3	23,4	(0,5)	7,8	10,9
zona agraria	191,5	(2,6)	65,9	172,6	(3,0)	57,3	-18,9

(los valores entre paréntesis representan el error estimado en ha)

Tabla 1  
Cambios areales en los usos del suelo en la zona de Sagunt  
durante el período 1967-1986

unidad territorial	1957		1986		1986-1957	
	ha	%	ha	%	ha	
playa	29,2	(0,7)	12,4	(0,6)	3,8	-16,9
zona urbana	0		17,0	(0,6)	5,1	17,0
zona industrial	0		7,2	(0,3)	2,2	7,2
zona agraria	318,3	(1,7)	294,2	(2,6)	88,9	-24,1

(los valores entre paréntesis representan el error estimado en ha)

Tabla 2  
Cambios areales en los usos del suelo en la zona de el Puig durante el período 1957-1986

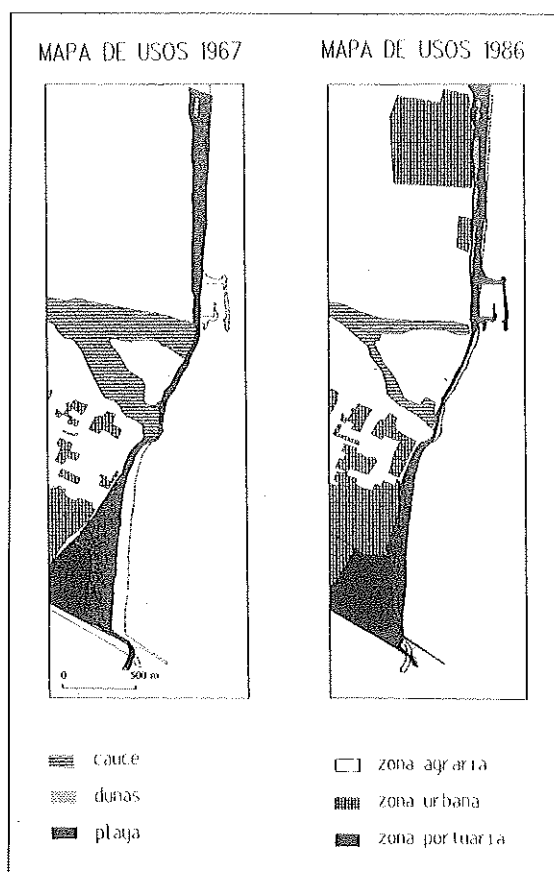


FIGURA 2  
Evolución de los usos del suelo en Sagunt durante el período 1967-1986



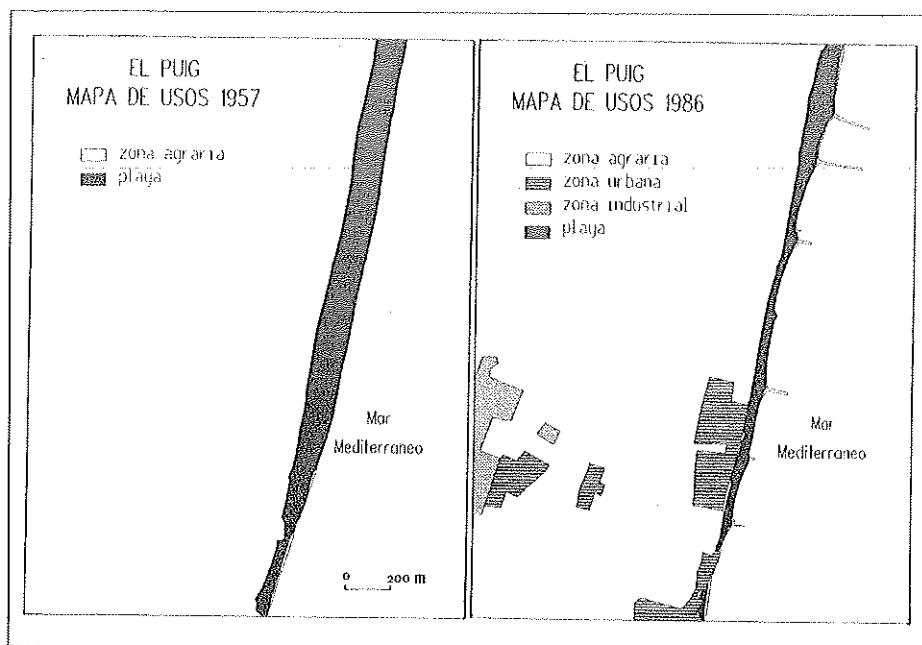


FIGURA 3

Evolución de los usos del suelo en El Puig durante el período 1957-1986

perficie de playa (17 ha) y de uso agrario (24 ha). El espacio ocupado por usos industriales y comerciales reflejan el rápido desarrollo industrial de el Puig, asociado a la puesta en funcionamiento de una vía rápida de comunicación como es la autopista del Mediterráneo (A7). Las urbanizaciones que aparecen están relacionadas con usos recreativos y vacacionales. A partir del núcleo turístico de la Pobla de Farnals (situado al sur de la zona de estudio) han crecido las urbanizaciones costeras favoreciendo el uso turístico. Dicho uso requería que las playas, originariamente de cantos, fuesen de arena. Esta fue una de las razones para construir los distintos espigones que ahora jalonan estas playas. La principal razón, sin embargo, fue el acelerado retroceso que estaban sufriendo las playas durante los años sesenta y setenta.

En las figuras 4 y 5 se muestra la evolución de la línea costera para Sagunt y El Puig respectivamente en el período analizado. Sobre un mismo documento se han superpuesto la línea de costa delimitada en cada uno de los documentos analizados lo que nos permite cuantificar las pérdidas (erosión) o ganancias (acumulación) que se han producido. En la tabla 3 se presenta la cuantificación (m<sup>2</sup>) de la superficie afectada con el error estimado en el cálculo. El cálculo del error se realiza tomando el número total de píxeles en la longitud de la costa multiplicado por 2 píxeles, lo que equivale a considerar el error de registrado de la imagen (1 píxel) y el error en el trazado de la línea de costa (1 píxel).

En primer lugar, destacan por su magnitud las fuertes pérdidas experimentadas en el litoral de El Puig. Como se puede comprobar en la figura 5, en los treinta años que separan los dos documentos las pérdidas de superficie de playa alcanzan 17 ha. El origen de los procesos erosivos no son sencillos pero siempre dependen de un déficit sedimentario. Como ya se ha comentado todo el sector estudiado presenta una deriva litoral clara, con sentido nortesur. Ello implica que las retenciones artificiales de sedimentos en un punto, por la existencia de un dique o espigón, repercute en la aceleración de la erosión al sur del mismo. Ésta es la causa principal del retroceso que evidencia la figura 5. El problema se inició ya con la construcción de un embarcadero en Sagunt en 1903, pero fue evidente a partir de 1953, cuando se amplió aquel antiguo embarcadero, construyendo los diques del actual puerto. Este hecho provocó una fuerte acumulación arenosa al norte de los diques mientras que los procesos erosivos no se advirtieron sino algunos kilómetros al sur debido a que junto a los diques del puerto saguntino la playa está artificialmente «fossilizada». Ello explica que los efectos llegaran a las playas del Puig, con algún retraso (años sesenta y setenta). Entre 1973 y 1977 se construyeron los espigones que aparecen en la figura 3, lo que frenó el proceso erosivo, aunque trasladó el problema más al sur (Pardo, 1991b).

En la evolución de la costa de Sagunt entre 1967 y 1986 han intervenido procesos semejantes a los ya comentados. Analizando sus tendencias evolutivas hemos subdividido la zona estudiada en tres sectores: (1) del límite norte al puerto deportivo, (2) del puerto deportivo al canal sur de la desembocadura del Palancia, (3) desde este último punto hasta el dique norte de puerto de Sagunt. El primer sector mantenía una tendencia ligeramente erosiva que a partir de 1982, con la construcción del puerto deportivo, se transformó en acumulativa. Al sur de dicha obra la tendencia continúa siendo erosiva, acelerándose el proceso tras su construcción. En el tercer sector, debido al efecto de trampa de sedimentos de los diques del puerto de Sagunt, la respuesta es claramente acumulativa (12 ha) a lo largo del período estudiado.

### **Discusión**

Para evaluar las posibilidades de uso de las técnicas de tratamiento digital de imágenes en los estudios de evolución paisajística, entendemos que debemos, previamente, realizar una valoración de las opciones metodológicas existentes. Como ya se comentó en la introducción existen métodos de trabajo que permiten un gran nivel de precisión pero presentan como problemas su elevado coste y la necesidad de personal especializado. Por contra, los sistemas de bajo coste no tienen el grado de precisión suficiente. Leatherman (1983) presenta un análisis de distintas técnicas para cuantificar las variaciones de la línea de costa. Distingue cinco procedimientos: (i) la medida de puntos estables, es decir, a partir de puntos que sabemos que no han variado medir la distancia que los separa de la línea de costa en los distintos documen-

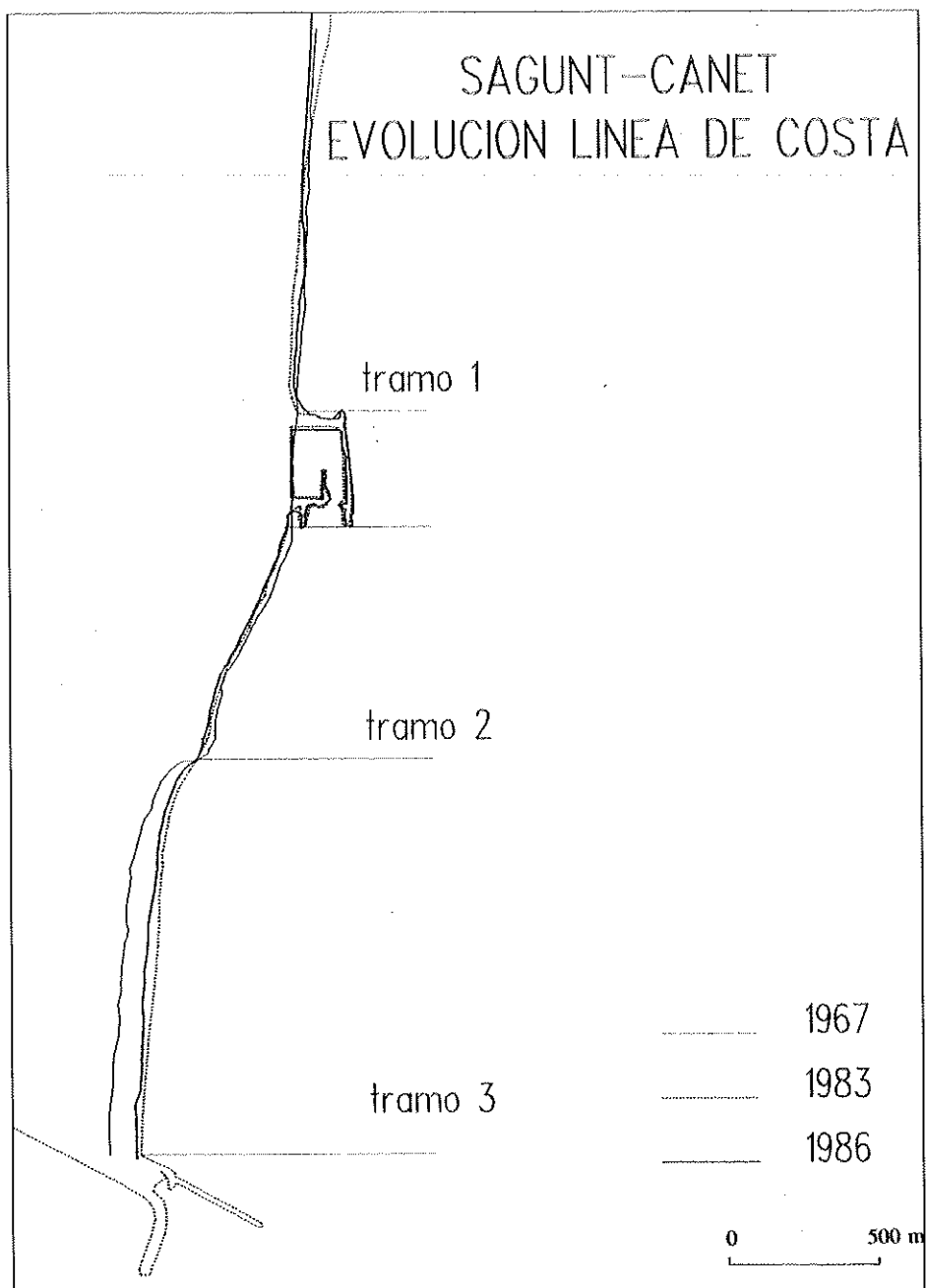


FIGURA 4  
Evolución de la línea de costa en Sagunt durante el período 1967-1986

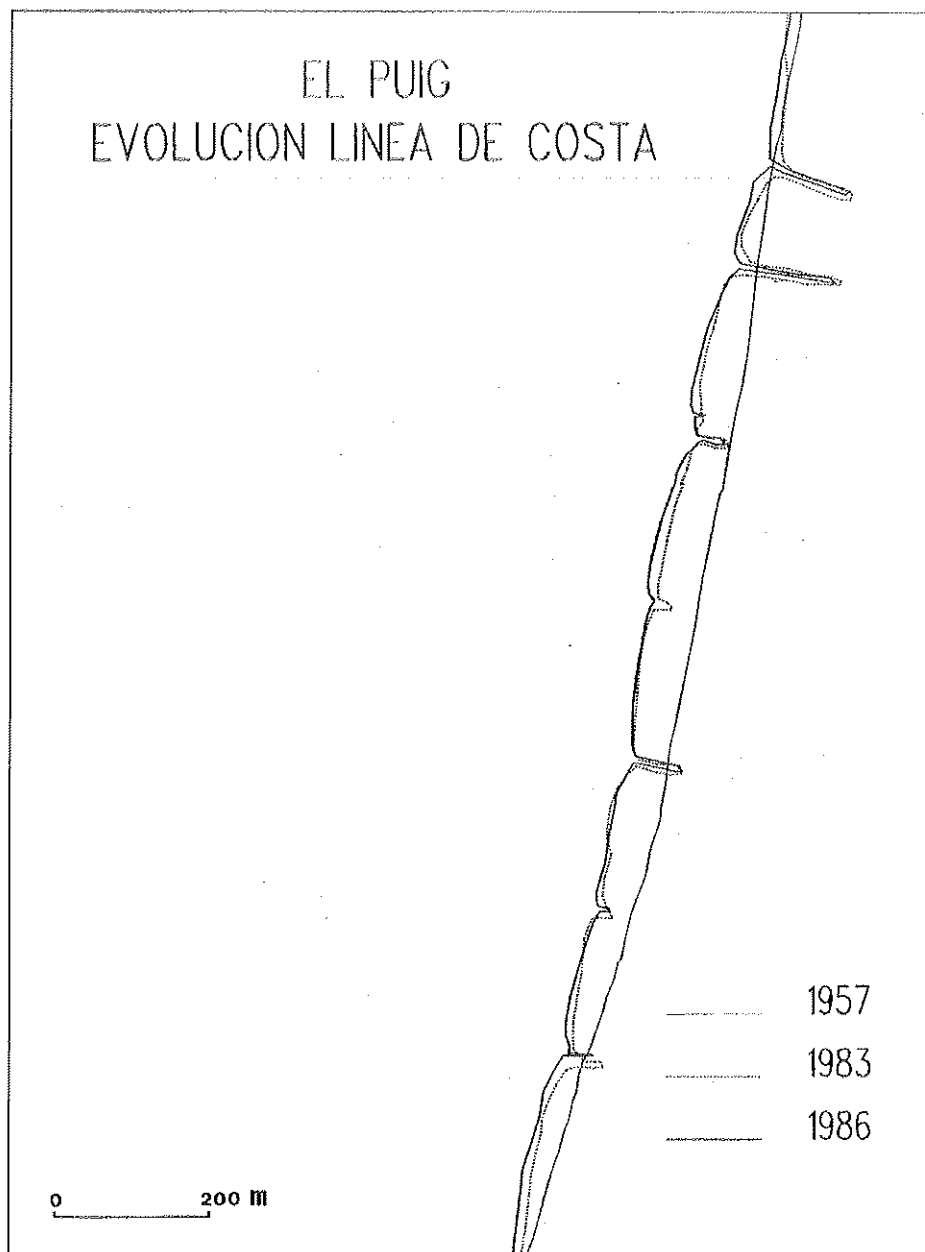


FIGURA 5  
Evolución de la lulea de costa en El Puig durante el período 1957-1986

ZONA	PERIODO	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	ERROR	PROCESO
Sagunto tramo 1	1967-86	- 12.268	5.049	erosión
tramo 2	1967-86	- 17.599	3.597	erosión
tramo 3	1967-86	118.003	6.847	acumulación
El Puig	1957-86	-167.827	10.838	erosión

TABLA 3  
Cambios areales (m<sup>2</sup>) en la línea de costa en Sagunt y el Puig

tos, (ii) la ampliación de fotos, que permite igualar las escalas de los documentos (la filosofía de este procedimiento es semejante a la del pantógrafo óptico), (iii) el zoom transfer scope (ZTS), que se podría asemejar al tratamiento digital de imágenes, (iv) el sistema que denomina cartografía métrica, desarrollado por este mismo autor (Leatherman y Clow, 1983) que emula en un ordenador las técnicas fotogramétricas y (v) las restituciones estereoscópicas automatizadas.

De los cinco sistemas propuestos los dos primeros no se ajustarían a las necesidades de uso aquí propuestas, ya que con ellos no alcanzamos suficiente precisión y, el quinto es demasiado caro y complejo para su empleo habitual en trabajos de ordenamiento. El sistema que Leatherman denomina cartografía métrica tiene la enorme ventaja que permite el tratamiento fotogramétrico analítico, por lo que sus resultados son muy fiables y precisos. El problema de este sistema es que, hasta ahora, tiene un grado de difusión muy restringido y, por tanto, no podemos pensar que pueda ser utilizado de forma general. El método ZTS es útil para igualar las escalas de los documentos estudiados, pero no puede eliminar la distorsión por inclinación del avión. Sin embargo, dicho error de inclinación, puede ser minimizado localizando los puntos de control de forma adecuada. Leatherman (1983) considera este método tedioso y señala que precisa una elevada inversión en tiempo. Cabe señalar, sin embargo, que la mejora evidente en los software de tratamiento digital de imágenes permiten suavizar los problemas que el citado autor encontraba hace diez años.

El método aquí empleado se asemeja al ZTS. El grado de precisión, evidentemente, es menor que aquellos que utilizan técnicas fotogramétricas. Tiene, sin embargo, la ventaja de que existe un mayor número de sistemas de tratamiento capaces de realizar las funciones requeridas a un coste (económico y de formación) asumible por la mayor parte de las instituciones y empresas dedicadas a los trabajos de ordenación territorial.

De lo que se desprende del estudio realizado, entendemos que el tratamiento digital de imágenes constituye una técnica adecuada para la evolución de los cambios en el paisaje, si bien conviene fijar las limitaciones que este tipo de análisis presenta.

En primer lugar, existen limitaciones relacionadas con la calidad de los documentos analizados. No se trata realmente de un límite impuesto por el sistema de análisis sino por el tipo de documentación. La metodología propuesta sólo tiene pleno sentido para la comparación de documentación con calidad métrica (fotos aéreas verticales, mapas, etc). En segundo lugar, cuando el análisis se realice con fotografías aéreas, la metodología que presentamos es solamente adecuada para zonas con escasas variaciones topográficas. Las irregularidades del terreno se traducen en variaciones de escala que pueden apreciarse incluso en un mismo fotograma. En estos casos la rectificación de la imagen se lograría con unos niveles de error muy altos que desaconsejarían su uso. En tercer lugar, el hecho de trabajar con un sistema informático sencillo sobre PC tiene la limitación de no poder trabajar con archivos excesivamente grandes por las desventajas que ello implica. Nuestro trabajo demuestra el funcionamiento del método para el tratamiento de zonas en torno a los 16 km<sup>2</sup>. Cuando el análisis se plantea para zonas de mayor extensión será conveniente utilizar un sistema de tratamiento de imágenes de mayor potencia y capacidad de cálculo.

Finalmente, la evaluación de la metodología propuesta se ha basado en tres criterios principalmente: el nivel de precisión obtenido, el criterio económico y la aplicabilidad de los resultados obtenidos.

- (1) En cuanto al nivel de precisión, el método merece una valoración positiva ya que la cuantificación de las superficies se consigue a un nivel difícil de obtener con otros métodos y además se puede calcular la estimación del error en los datos. No obstante, conviene decir que el nivel de precisión depende de dos factores: (a) la dimensión del pixel y (b) del grado de error asociado al tratamiento de los documentos. El tamaño del pixel dependerá de la densidad a la que realicemos el barrido del scanner y existe un límite lógico determinado por la escala del documento final que vamos a obtener (es decir, el valor real de 0,2 mm en la escala a la que trabajemos). Definir un valor de pixel menor a dicha dimensión -con los problemas asociados de ocupación de memoria y ralentización de los procesos informáticos- supondría una desventaja y, por tanto, no es aconsejable.
- (2) Al hablar de criterio económico incluimos el valor del instrumental necesario (*hardware y software*), el tiempo de procesado de la información y el grado de formación del operador. La metodología propuesta requiere, en principio, una inversión moderada perfectamente asumible por los organismos, instituciones y empresas encargadas de realizar los trabajos de ordenamiento espacial. Se ha demostrado el buen funcionamiento del método con un software sencillo de bajo coste que funciona sobre ordenador personal. Respecto al tiempo de proceso, tras una fase de entrenamiento, es relativamente rápido. La fase más

lenta es la rectificación de la imagen, por la dificultad a la hora de encontrar y referenciar los puntos de control. Los procesos informáticos se ralentizan si creamos archivos de imagen excesivamente grandes. Por último, cabe destacar que el sistema que hemos empleado presenta una organización del menú de opciones lo suficientemente claro e interactivo para que un usuario, con una mínima formación en informática y en el tratamiento digital de imágenes pueda realizar el trabajo.

- (3) Finalmente, en cuanto a la aplicabilidad de los resultados obtenidos, las ventajas de esta metodología consisten en la posibilidad de integrar los resultados en un sistema de análisis territorial más complejo. La metodología propuesta (con el uso de IDRISI) permite la importación y exportación de datos y ficheros a los sistemas de información geográfica más habituales en el mercado, con sólo unas pocas modificaciones.

### **Conclusiones**

Las técnicas de tratamiento digital de imágenes constituyen una alternativa a los métodos tradicionales de evaluación de los cambios recientes en el territorio, dentro de los límites descritos anteriormente (fuentes cartográficas métricas y terreno poco accidentado topográficamente).

La metodología propuesta mejora la precisión en la comparación de documentos, facilita la fotointerpretación de detalles pequeños, permite una rápida cuantificación de las variaciones y una estimación del error en la medición, posibilita la obtención de resultados cartográficos con niveles de precisión y claridad aceptables y, por último, permite la importación y exportación de documentación (cartográfica y alfanumérica) a otros sistemas de análisis geográficos (base de datos, otros sistemas de tratamiento digital de imágenes y sistemas de información geográfica).

### **Bibliografía**

- Eastman, J.R.:** 1992. *Idlisi: User's guide and technical reference*. Clark University (2 vols).
- Leatherman, S.P.:** 1983. Shoreline mapping: a comparison of techniques, *Shore and Beach*, julio 1983, pp. 28-33.
- Leatherman, S.P. y Clow, B.:** 1983. UDM Shoreline Mapping Project, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Society Newsletter*, septiembre 1993. pp. 5-8.
- Pardo Pascual, J.E.:** 1991. *La erosión antrópica en el litoral valenciano*. Conselleria d'Obres Públiques, 240 p.
- Pardo Pascual, J.E.:** 1991b. Acción antrópica y evolución costera en el sector Sagunt-Valencia, *XII Congreso Nacional de Geografía. Sociedad y Territorio*, Universidad de Valencia, pp. 55-62.

**Rosselló Verger, V.M.:** 1984. *Cinquanta-cinc ciutats valencianes*. Universitat de València, 280 p.

Sanjaume Saumell, E. 1985. *Las costas valencianas*. Universidad de Valencia, Sección de Geografía, 505 p.

**Segura Beltrán, F.:** 1991. Geomorfología fluvial y trazado de mapas de riesgo de inundación: el cono aluvial del Palància, *XII Congreso Nacional de Geografía. Sociedad y Territorio*, Universidad de Valencia, pp. 221-228.