

Cambios de tendencias recientes en la evolución costera del golfo de Valencia: análisis espaciales y sedimentológicos

Eulalia Sanjaume¹, Josep E. Pardo Pascual²

(1) *Departament de Geografia. Universitat de València.*

(2) *Grupo CGAT, Dept. Ing. Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, UPV*

1.- INTRODUCCIÓN

En este trabajo intentaremos exponer las principales conclusiones sobre la dinámica evolutiva de golfo de Valencia, derivadas de los numerosos estudios que hemos realizado conjuntamente con el profesor Pardo en las últimas décadas y que iniciamos hace más de treinta años, en concreto en 1972. Esta larga dedicación en el tiempo nos ha permitido conocer de primera mano los cambios morfológicos experimentados por playas y dunas, la erosión costera acelerada en muchos puntos de la costa valenciana, así como las sucesivas etapas de regeneración a las que se han visto sometidas.

Sentadas las primeras bases de conocimiento morfológico, sedimentológico y evolutivo de las costas valencianas (Sanjaume, 1985; Pardo, 1991) los trabajos más recientes (Sanjaume y Pardo, 2007) nos han permitido comparar la situación actual con la existente en años precedentes, conocer las causas y las consecuencias de determinadas actuaciones, así como percibir con mayor exactitud no solo las tasas de cambio y las tendencias evolutivas experimentadas por la costa del golfo de Valencia, sino también los factores que determinan su dinámica evolutiva a una escala temporal y espacial que podrá ser útil para la gestión de estas costas.

2.- METODOLOGÍA

Para la realización del último estudio de la dinámica evolutiva de la costa del golfo de Valencia (Sanjaume y Pardo, 2007) se han utilizado distintas metodologías.

2.1. Sedimentología

El estudio sedimentológico ha consistido básicamente en análisis granulométricos de las muestras. La Granulometría es el estudio de la frecuencia con que los granos de diferentes dimensiones aparecen en un depósito determinado, siendo su principal finalidad la de facilitar una serie de conocimiento sobre los procesos climático-morfológicos imperantes en el momento en que tuvo lugar la sedimentación, su meteorización, tipo de erosión y modalidad de transporte que los materiales han experimentado desde la zona madre hasta su depósito final. Para el estudio de la fracción arena, el método empleado es el tamizado en seco, mediante una columna de tamices, dispuestos con luz de malla decreciente, desde los 2 mm de la parte superior hasta los 0,06 mm de la inferior. Finalizado el tamizado, se pesan por separado los sedimentos retenidos en cada uno de los tamices, con el objetivo de encontrar los porcentajes de frecuencia de tamaños. Con estos datos se confeccionan histogramas y curvas

semilogarítmicas de frecuencias, y se obtienen los distintos parámetros e índices granulométricos (Folk y Ward, 1957), imprescindibles para la posterior interpretación de los resultados. Los índices granulométricos más utilizados son: media, clasificación (derivada de la desviación estándar), clasificación simple, asimetría y kurtosis (Friedman y Sanders, 1978).

2.2. Análisis de la línea de costa

Para nuestro último trabajo (Sanjaume y Pardo, 2007) se han utilizado fotografías aéreas procedentes de distintos años y con distinta calidad (tabla 1) en las que se ha restituido la posición de la costa.

Año	Escala aproximada/resolución	Fuente
1947	1:45.000	Línea disponible en el Visor GIS (CIT), origen MOPU (1979)
1957	1:33.000	Línea disponible en el Visor GIS (CIT), origen MOPU (1979)
1965	1:20.000	Línea disponible en el Visor GIS (CIT), origen MOPU (1979)
1972	1:18.000	Línea disponible en el Visor GIS (CIT), origen MOPU (1979)
1977	1:18.000	Línea disponible en el Visor GIS (CIT), origen MOPU (1979)
1981	1:12.000	Línea disponible en el Visor GIS (CIT)
1986	1:12.000	Imágenes no georreferenciada procedente del Visor GIS (CIT)
1990	1:12.000	Imagen no georreferenciada procedente del Visor GIS (CIT)
2000	¿?	Línea disponible en el Visor GIS (CIT)
2004	1:5.000*	Ortofoto ICV disponible en servidor WMS. Disponibles en sistema de referencia ETRS-89
2006	Resolución 0,5 m	Ortofoto aportada por la CIT

Tabla 1. Series de fotografías empleadas

El empleo de fotografías aéreas para el análisis mesoescalar –décadas/siglo—de la tendencia evolutiva de las playas ha sido un método muy utilizado en las últimas décadas, aunque recientemente algunos autores (Zhang et al., 2002; Pajak y Leatherman, 2002; Ruggiero et al., 2003; Pardo-Pascual et al., 2007) han señalado que el método presenta ciertas limitaciones tales como (1) dificultad para establecer con seguridad un elemento o rasgo geomorfológico representativo de la posición de la orilla, sobre todo en zonas con marea (2) dificultad para diferenciar entre los cambios a corto y largo plazo a partir de los registros tomados en unas pocas fotografías en momentos distintos. La posición de la orilla puede verse afectada por factores estacionales (frecuencia de temporales) y/o meteorológicos (presión atmosférica y

vientos) que pueden producir variaciones significativas en la posición de la orilla. (3) exactitud de los datos según la escala y la propia naturaleza de la fotografía original.

2.3. Tasas de cambio en la línea de costa

Para este estudio se ha utilizado el programa Digital Shoreline Analysis System (DSAS) – creado por el USGS (Thieler, et al., 2005) que genera transeptos que son lanzados perpendicularmente a la línea base con una separación que fija el usuario, en nuestro caso 25 m. Las intersecciones de los transeptos entre las orillas introducidas respecto a la línea base se utilizan para calcular las estadísticas de tasa de cambio. En el trabajo hemos utilizado distintas tasas si bien la que empleamos con mayor frecuencia por su versatilidad es el **LRR (line regression rate)**. Es el estadístico de tasa de cambio de la recta de regresión que se determina ajustando por mínimos cuadrados todos los puntos de intersección de cada línea de costa de un transecto dado. La tasa de cambio es la pendiente de la línea.

El valor de la tasa de cambio puede ser más o menos robusto dependiendo de si los datos presentan una elevada dispersión (que es lo que sucede cuando no hay una tendencia clara) o, por el contrario, se distribuyen de forma muy parecida a la determinada por la recta ajustada. Para el caso de las rectas de regresión, el grado de ajuste puede ser medido utilizando el coeficiente de determinación (r^2) que establece la proporción de la variabilidad total en y explicada por la recta ajustada. El coeficiente r^2 varía entre 0 y 1; el 0 indicaría que ninguna variabilidad queda explicada mientras que 1 implicaría que todos los residuales son cero y que la línea de regresión se ajusta perfectamente a todos los puntos observados.

2.4. Análisis de los cambios en medios dunares

Aquí la información disponible, tanto espacial como temporal es relativamente escasa, puesto que es mucho más costoso y complejo caracterizar cómo son las dunas ya que ello implica necesariamente disponer de información tridimensional. Para este estudio se han elaborado MDEs a partir de la información obtenida de diversas fuentes.

2.4.1. MDE obtenido a partir de la cartografía digital de 1998

Las hojas del mapa topográfico a escala 1:1.000 disponibles para la realización de este estudio estaban en formato 2D e incorrectamente georreferenciadas, y por tanto, para poderse emplear para crear el MDE ha sido necesario hacer un amplio trabajo de edición.

2.4.2. MDE obtenido a partir de los datos LiDAR en el municipio de Oliva de finales de 2004

El LiDAR (*Light Detection and Ranging*) es un técnica en auge para la realización de levantamientos topográficos de gran precisión, ya que permite adquirir información topográfica de forma masiva y muy rápida. Se suele calcular una precisión en la z del orden de los 15 cm sobre zonas llanas, aumentando ligeramente en áreas con pendientes elevadas y alrededor de 1 m de precisión en el posicionamiento planimétrico.

2.4.3. MDE obtenido a partir del levantamiento topográfico mediante GPS-RTK

A finales de julio del 2007 se realizó una campaña de levantamiento topográfico utilizando un sistema GPS-RTK. Con este método el especialista va localizando una antena receptora en los puntos significativos del terreno y registrando su posición. La precisión del sistema de trabajo

hace que los puntos muestreados puedan tener una precisión mejor de 5 cm en su posición planimétrica e inferior a los 10 cm en la altimétrica. Una vez creado el MDE entendemos que la precisión del sistema es de unos 15 cm en altimetría. La densidad de información, con ser elevada, es claramente inferior a la obtenida mediante el LiDAR, pero los registros con GPS-RTK tienen dos ventajas sustanciales respecto al LiDAR. La primera es que los puntos elegidos para crear el MDE son puntos topográficamente significativos por lo que con densidades inferiores se consiguen precisiones mayores. La segunda es que aquí se está seguro que lo medido corresponde al límite del suelo.

2.4.4. Comparación entre los MDE de distintas fechas:

se definen zonas comunes y a continuación se siguen dos líneas de análisis. La primera consiste en hacer una resta entre los dos MDE comparados. La segunda es trazar sobre cada uno de los MDE la posición del escarpe de la duna. El trazado del escarpe en cada fecha permite visualizar y cuantificar los desplazamientos que ha sufrido el frente dunar en cada sector estudiado.

Una duda que puede surgir cuando se comparan informaciones procedentes de fuentes tan dispares (cartografía topográfica, LIDAR, GPS-RTK) es si el nivel de detalle con que se analiza el fenómeno afecta a los resultados obtenidos. De entrada, se podría señalar que el grado de detalle no es igual, en ningún caso. Con diferencia, el MDE obtenido a partir de las mediciones con GPS-RTK son los más precisos, seguido de cerca por el LIDAR siendo la cartografía la fuente menos precisa, aunque no por eso pierde calidad el dato obtenido ya que el escarpe dunar se aprecia, en todos los casos, con una nitidez y seguridad.

2.5. Estudio geomorfológico

Se ha basado en el reconocimiento de las distintas formas litorales existentes en la zona estudiada. Este reconocimiento se ha realizado mediante trabajo de campo, el estudio de fotos aéreas y la interpretación de MDE.

3. CONCLUSIONES

Llama la atención que en toda mitad meridional del óvalo de Valencia el modelo de formación y evolución de las restingas que cerraron las albuferas holocenas se repite: dos formaciones con fuertes acumulaciones sedimentarias separadas por un sector ligeramente deprimido y más húmedo gracias a la proximidad del manto freático. Los edificios dunares presentan, en muchas ocasiones, las máximas elevaciones en la parte interna de la restinga. Las dunas de esta zona se corresponderían con una fase de gran aporte de sedimentos, presumiblemente de época romana. Después de ese máximo sedimentario se produciría un periodo con menor cantidad de aportes, quizá en época visigótica, en el que la costa tuvo suficientes sedimentos para seguir progradando pero sin superávit suficiente como para formar dunas. Posteriormente se produce un nuevo máximo sedimentario, posiblemente en época musulmana, que continuará con la progradación de la playa y con excedente sedimentario suficiente para continuar con la formación de las dunas de la restinga externa. Este modelo geomorfológico

pone de relieve que toda la zona ha sido predominantemente de acumulación y progradación durante el Holoceno, especialmente en época histórica.

Otra muestra de la progradación en época histórica es la situación actual de algunas Torres Vigías (construidas durante los siglos XVI y XVII) que aparecen muy alejadas de la línea de costa, como corresponde a la parte más meridional de la célula sedimentaria.

Sedimentológicamente los sedimentos muestreados en los 70 demostraban una disminución de calibre medio a medida que se avanzaba hacia el sur del óvalo y, además, los materiales del sector, por su homometría, unimodalidad y buena clasificación presentaban características típicas de acumulación marina, aunque genéticamente continuaban siendo playas de acumulación fluvial.

Las muestras analizadas señalaban un cambio en la moda de los calibres en los que se producía la máxima acumulación a partir de la zona Miramar-Piles, lo que sugería un cambio en la fuente de suministro o en las condiciones dinámicas del depósito.

La conclusión anterior refuerza la derivada del análisis evolutivo de la zona que confirma que la deriva litoral N-S se va debilitando hacia el sur y que desde la Goleta de Oliva ya no se detecta transporte longitudinal.

El transporte de sedimentos en el tramo más meridional de toda la célula sedimentaria, desde la Goleta de Oliva, es predominantemente transversal, aunque pueden darse episodios esporádicos de transporte hacia el norte.

La evolución de la línea de costa entre 1957 y 1990 señala que se mantiene todavía el predominio de la acumulación. Por término medio en todo el sector esta acumulación se cifra en 0,36 m/año.

Pero hay que destacar que la evolución de la línea de costa en el periodo 1990-2006 señala un claro cambio de tendencia, que pasa a ser negativa. Sorprendentemente la tendencia media en este periodo es, por término medio, de -0,04 m/año. Es un cambio muy significativo con respecto a la tendencia anterior y respecto a toda la acumulación producida en época histórica.

Este hecho destaca todavía más si tenemos en cuenta que durante los últimos años se han producido numerosos proyectos de regeneraciones artificiales de playa, lo que debe haber enmascarado las pérdidas que sin esas obras podrían haber incrementado la tendencia negativa.

Por otra parte se constata que debido a las obras de regeneración mencionadas anteriormente, tramos costeros que debían presentar claros signos de recesión como, por ejemplo, al sur de obras portuarias, canalizaciones y espigones, presentan tendencias estables o, incluso, positivas.

Los resultados sedimentológicos de los sedimentos muestreados en 2007 demuestran que en la actualidad, el lavado predomina sobre la acumulación, confirmando ese cambio de tendencia.

Por otra parte, el análisis de la evolución reciente de las dunas, sobre todo en el sector de Oliva, prueba la existencia de retrocesos significativos en el escarpe de la duna, en ocasiones de más de 10 m y una pérdida significativa en el volumen de sedimentos.

Por otra parte, las regeneraciones artificiales de playa enmascaran las improntas que la recesión playera dejaría en las características sedimentológicas de los sedimentos y se nota asimismo que las características granulométricas de los sedimentos se hacen mucho más uniformes (si las comparamos con las que presentaban en 1977) debido a la artificialización de los aportes de sedimentos.

Otra conclusión, a nuestro juicio, relevante es la constatación de que en zonas que no han experimentado en las últimas décadas una antropización directa marcada, se aprecia hoy en día una tendencia ligeramente erosiva, aunque tradicionalmente han sido sectores de acumulación o de estabilidad. Esta circunstancia afecta, sobre todo, a los términos municipales de Miramar, Piles y Oliva.

La deficiencia de materiales en la célula sedimentaria que supone el óvalo valenciano ya había sido advertida teóricamente por nosotros mismos en trabajos previos. Con el presente trabajo tenemos la constatación empírica de que el déficit de sedimentos ya se hace palpable.

Este cambio de tendencia y el déficit de sedimentos pensamos que está relacionado con diversas causas, entre las que destacaríamos:

- Posible subida del nivel del mar
- Obras de infraestructuras costeras (puertos, canalizaciones, espigones). Los efectos de la ampliación del puerto de Gandía que prácticamente impide la llegada de materiales al sur del mismo asociados al transporte longitudinal de sedimentos podrían estar ahora notándose en áreas mucho más alejadas de la obra si bien de forma menos exagerada de cómo se apreciaron en las áreas inmediatas durante los años ochenta.
- Disminución de aportes a causa de la regularización de los ríos mediante embalses que retienen sedimentos. En este apartado la regularización del Xúquer ha sido de una relevancia destacada. Vale la pena recordar que durante los años noventa se han ido construyendo nuevas presas en la cuenca baja que, probablemente, han ido limitando todavía más el aporte de nuevos sedimentos fluviales al sistema por parte de su principal fuente de suministros.
- Además habría que citar la destrucción de las dunas que hacen que en determinados lugares, aún no apreciándose procesos de recesión significativos, existan problemas de escasez de playa o de daños en infraestructuras –paseos marítimos—debido a que el tejido urbano ha ido ocupando playa y duna móvil. El ejemplo del norte de Piles puede ser paradigmático.
- Finalmente, aunque no menos importante la urbanización y antropización (cambios de usos del suelo, etc) de las laderas montañosas que suministraban sedimentos a los ríos y

barrancos que desembocan en los tramos estudiados han hecho cambiar el régimen y volumen de sedimentos aportados por estas vías al sistema costero.

Por todo lo anteriormente expuesto pensamos que en la actualidad se está haciendo patente una erosión generalizada debida a los factores globales que acabamos de mencionar, lo cuales han tenido un tiempo de respuesta relativamente largo y ahora empieza a notarse de manera efectiva. Por otra parte, no hay que olvidar que esta erosión global magnificará todavía más los efectos negativos de la erosión acelerada por obras locales.

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.

BIBLIOGRAFÍA

- Folk, R.; Ward, W. (1957): Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 1, pp: 3-26.
- Friedman, G.M.; Sanders, J.E. (1978): *Principles of Sedimentology*, New York, Wiley and Sons, 792 p.
- Pajak, J.; Leatherman, S. (2002): The high water line as a shoreline indicator. *Journal of Coastal Research*, 18, 2, pp: 329-337.
- Pardo-Pascual, J.E. (1991): *La erosión antrópica en el litoral valenciano*. Valencia, Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transport. Generalitat Valenciana, 240 p.
- Pardo-Pascual, J.E.; Gacía-Asenjo, L.; Garrigues, P.; Palomar-Vázquez, J.; Porres de la Haza, M.J. (2007): Caracterización tridimensional de la dinámica intranual e interanual de la playa del Saler. En: Gómez-Pujol, Ll.; Fornós, J.J. (eds.): *Investigaciones recientes (2005-2007) en Geoformología litoral, IV Reunión de Geomorfología Litoral*, Palma de Mallorca, Universitat de les Illes Balears, pp. 41-42.
- Ruggiero, P.; Kaminsky, G.M.; Gelfembaum, G. (2003): Linking proxy-based and datum-based shorelines on a high energy coastline: implications for shoreline change analyses, *Journal of Coastal Research*, 38, pp: 57-82.
- Sanjaume, E. (1985): *Las costas valencianas*. Valencia, Universitat de València, 505 p.
- Sanjaume, E.; Pardo, J.E. (2007): *Caracterización geomorfológica del sector costero Riu Xúquer-Riu Racons*. Proyecto para la Generalitat Valenciana. Director técnico: J. Serra.
- Zhang, K.K.; Weikai, H.; Douglas, B.C.; Leatherman, S. (2002): Shoreline position variability and long-term trend analysis, *Shore and Beach*, 70, 2,
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L. y Miller, T.L. (2005): *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline changes*: US Geological Survey Open-File Report 2005-1304.