

Monitorización de los cambios de anchura en las playas de Tavernes de la Vallidigna (Valencia) mediante teledetección (1984-2022)

Josep E. Pardo-Pascual⁽¹⁾, Carlos Cabezas-Rabadán^(1,2), Jaime Almonacid-Caballer⁽¹⁾,
Jesús Palomar-Vázquez⁽¹⁾

⁽¹⁾ Grup de Cartografia GeoAmbiental i Teledetecció, Dept. d'Enginyeria Cartogràfica, Geodesia i Fotogrametria, Universitat Politècnica de València. Camí de Vera, s/n. 46022 València. España. jepardo@cgf.upv.es

⁽²⁾ Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, EPOC, UMR 5805, F-33600 Pessac, France.

Resumen: La caracterización de los cambios morfológicos experimentados por las playas constituye un paso previo esencial para comprender su comportamiento y permitir una gestión costera eficiente. Las imágenes de Landsat 5, 7, 8 y 9, y Sentinel 2, disponibles de forma gratuita, pueden ser empleadas para la definición de indicadores de la morfología de las playas. Este trabajo presenta la evolución del segmento costero de Tavernes de la Vallidigna (Valencia), empleando la herramienta SHOREX para definir la posición de la línea de costa, la anchura de playa y sus cambios desde 1984 hasta la actualidad, empleando para ello 1022 imágenes de satélite. Los resultados evidencian una generalizada tendencia erosiva, a la vez que las actuaciones antrópicas condicionan la morfología de las playas al alterar la disponibilidad y distribución de sedimento costero. Esto ocurre tanto de forma directa asociado a la construcción de obstáculos a la deriva litoral de sedimentos como mediante la reducción de entrada de sedimento al sistema costero. La metodología empleada se muestra capaz de caracterizar y analizar con gran detalle los cambios a lo largo del espacio y del tiempo.

Palabras clave: Variabilidad de la línea de costa, erosión costera, temporales costeros, monitorización de playas, SHOREX.

Monitoring width changes on the beaches of Tavernes de la Vallidigna (Valencia) using remote sensing (1984-2022)

Abstract: The characterisation of the morphological changes experienced by the beaches is an essential preliminary step to understand their behaviour and to enable efficient coastal management. The freely available Landsat 5, 7, 8 and 9 and Sentinel 2 images can be used to define indicators of beach morphology. This paper presents a case study focused on the coastal segment of Tavernes de la Vallidigna (Valencia), by using the SHOREX tool to define the shoreline position, beach width and its changes from 1984 to the present, using 1022 satellite images. The results show the generalised erosive trend experienced by the sector. Anthropogenic actions condition the morphology of beaches by altering the availability and distribution of coastal sediment both through constructing obstacles to coastal sediment drift and reducing sediment input to the coastal system. The proposed methodology is capable of characterising and analysing in detail the changes over space and time.

Keywords: shoreline variability, coastal erosion, coastal storms, beach monitoring, SHOREX.

1. INTRODUCCIÓN

Las playas son uno de los ambientes naturales más cambiantes ya que, al estar formadas por materiales sedimentarios disgregados adaptan su disposición a lo largo del tiempo de acuerdo a las condiciones energéticas. Muchos de los cambios morfológicos que se producen tienen un carácter cíclico mientras que otros son de tipo progresivo, es decir, siguen una tendencia acumulativa o erosiva a lo largo del tiempo. Estas tendencias se pueden apreciar incluso en periodos relativamente cortos, así como acelerarse o frenarse. Por ello, la detección del sentido y cuantificación de los cambios en la anchura de las playas es esencial para mejorar su gestión y asegurar su sostenibilidad.

Uno de los métodos más habituales para definir la anchura de la playa se basa en medir los cambios en la posición de la línea de costa en distintos momentos históricos (Boak y Turner, 2005).

En los últimos años se han propuesto distintas soluciones algorítmicas para detectar la posición de la orilla partiendo de imágenes de satélite de resolución media y

de disponibilidad gratuita registradas en el rango óptico del espectro electromagnético como son la serie Landsat y Sentinel 2. Además de su libre disposición, estas imágenes tienen la ventaja de cubrir conjuntamente prácticamente todo el planeta, registrar un mismo lugar con una alta frecuencia y haberlo hecho sistemáticamente durante los últimos 40 años. Su principal problema se relaciona con su resolución geométrica, presentando un tamaño de píxel excesivamente grosero para reconocer gran parte de los cambios morfológicos que experimentan las playas. Por ese motivo, diferentes soluciones algorítmicas han sido propuestas para permitir deducir la posición de la orilla con precisión subpíxel. Estudios recientes han evaluado y cuantificado la exactitud de los diferentes algoritmos sobre las mismas playas y periodos (Vos *et al.*, 2023).

La obtención de todas las líneas de costa o SDS (*satellite derived shorelines*) que puedan ser deducidas de las series de imágenes Sentinel 2 y Landsat (5, 7, 8 y 9) desde 1984 hasta a la actualidad ofrece el potencial de detectar todas las tipologías de cambios que realmente se están

produciendo y evaluar qué procesos morfosedimentarios dominan la evolución en cada tramo de costa. Sin embargo, el propio análisis de todos estos datos supone, en sí mismo, un reto importante.

En el presente trabajo se propone analizar la evolución de un tramo de 6.9 km de playas situadas en el golfo de Valencia, de la Playa del Brosquil en Cullera hasta el límite sur del término municipal de Tavernes de la Vallidigna, utilizando todas las SDS deducidas de todas las imágenes Landsat y Sentinel 2 libres de nubes registradas entre el 1 de junio 1984 y el 31 de diciembre de 2022.

2. ZONA DE ESTUDIO

Los 6.9 km de costa analizados incluyen todas las playas arenosas de Tavernes de la Vallidigna y las del extremo sur de Cullera (Figura 1). El límite norte de la zona estudiada corresponde al inicio de la playa tras las defensas longitudinales existentes, mientras que el límite sur es coincidente con el del término municipal de Tavernes. Se trata de una costa micromareal (rango de marea = 0.2 m) que, si bien habitualmente está sometida a oleajes de escasa energía, en determinados momentos puede sufrir temporales de gran dimensión. Debido a su disposición geográfica y al hecho de que la mayoría de los temporales proceden del ENE y NE, se produce un fuerte transporte de sedimentos hacia el sur. Esto determina directamente la evolución de todo este tramo costero sobre todo considerando la existencia de infraestructuras artificiales que mediatizan dicho transporte.

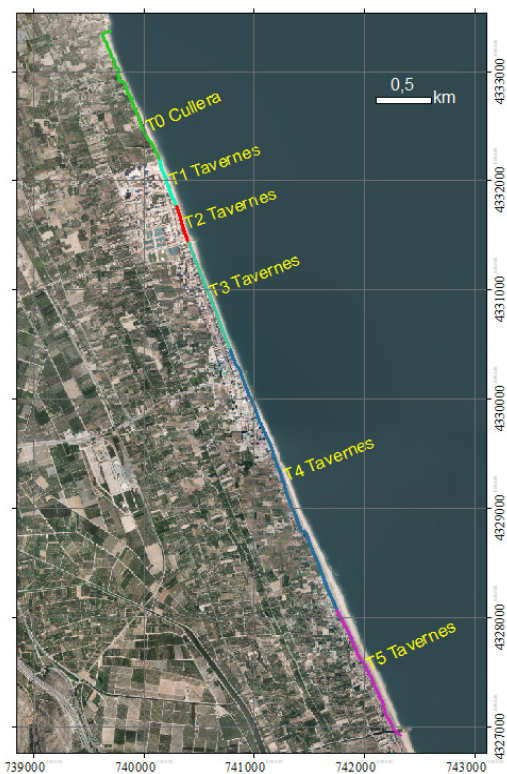


Figura 1. Zona de estudio y tramos en que se ha dividido.

A este respecto, son particularmente importantes los diques en la desembocadura del río Júcar (3.9 km al norte de la zona estudiada). Construidos a principios de los años 50 del siglo pasado, el dique norte fue alargado en 1981.

Todo ello provocó procesos erosivos inmediatamente al sur que se trataron de frenar mediante la implantación de pequeños espigones y defensas longitudinales de escollera, lo que progresivamente migró el problema erosivo hacia el sur (Pardo-Pascual, 1991).

Sin embargo, es importante remarcar que a lo largo del periodo estudiado se han hecho aportes significativos de materiales arenosos (en playa y/o creando nuevas dunas) siempre en la zona norte, siendo la actuación más importante los más de 480.000 m³ de arena aportados entre los años 2007 y 2009.

2. MÉTODOS

Se han utilizado 1022 imágenes de satélite libres de nubes (Figura 2) a partir de las cuales se han extraído las SDS utilizando para ello la herramienta SHOREX (del inglés *SHOREline EXtraction*) (Cabezas-Rabadán *et al.*, 2021; Palomar-Vázquez *et al.*, 2018). Su precisión ha sido evaluada mediante una comparación con datos adquiridos mediante DGPS sobre un tramo de 2750 m (sur del término de Tavernes) a cota 0 m por parte de la Dirección General de la Costa y el Mar el 25/07/2017 frente a la SDS obtenida de la imagen Sentinel-2 de ese día. La validación mostró un sesgo de 0.47 m y una desviación estándar de 1.47m en línea con las precisiones definidas por Sánchez-García *et al.* (2020) para entornos mediterráneos de 3 m de error (RMSE) en el caso de las imágenes Sentinel 2 y de 3.6 m para las Landsat 8.

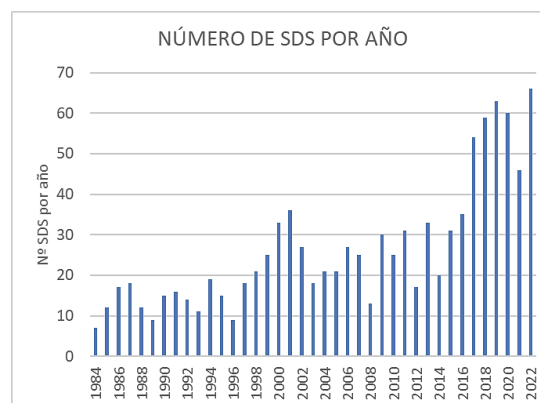


Figura 2. Líneas de costa (SDS) analizadas por año.

Para el análisis de estas 1022 SDS se ha creado un Modelo Espacio-Temporal (MET) de anchura de playa. Tras dividir la playa en segmentos de 50 m de longitud, se ha medido la distancia media desde su borde interior hasta la línea de costa. Dicha información se ha organizado dentro de una estructura cartesiana en la que el eje de abscisas representa el tiempo (organizado en fechas) y en el de ordenadas los segmentos de 50 m (ordenada de norte a sur). Una vez dispuestos los datos de anchura siguiendo esta estructura, las magnitudes se interpolan cubriendo los espacios sin datos obteniendo así un modelo espacio-temporal continuo (Cabezas-Rabadán *et al.*, 2019a; 2024). Para el análisis de cambios se compara para cada una de las posiciones en segmento y fecha la diferencia de anchura respecto a una fecha de referencia que aquí ha sido el promedio de anchura de la playa de las 7 SDSs obtenidas en el primer año estudiado, 1984. El MET de cambios

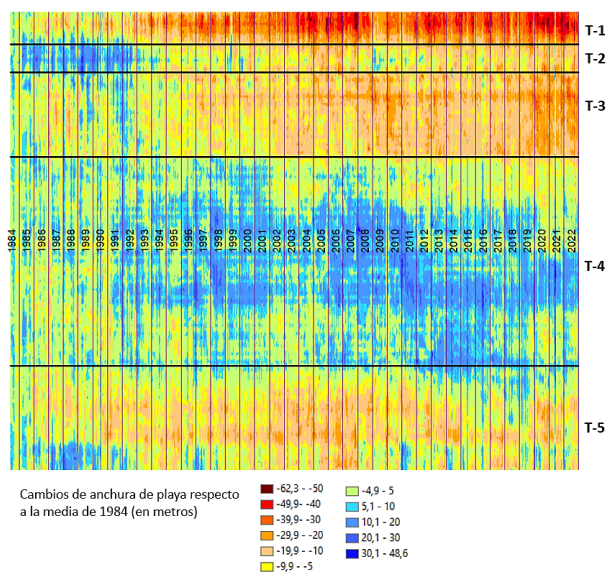


Figura 3. Modelo Espacio-Temporal (MET) de cambios de anchura de las playas del término municipal de Tavernes de la Valldigna. Exclusivamente tramos 1 a 5.

muestra gráficamente cómo ha cambiado en cada lugar la anchura de playa a lo largo de todo el periodo estudiado.

Dado que en la zona estudiada el oleaje es el principal agente costero modelador de la morfología de las playas, se han añadido los datos de oleaje adquiridos de la modelización de Puertos del Estado en el punto SIMAR 2083110 frente al cabo de Cullera (<https://www.puertos.es/es-es/oceanografia>) lo que, a su vez, permite relacionar los principales cambios en las playas con los momentos de máxima energía.

3. RESULTADOS

Se presenta, en primer lugar, el MET de cambios de anchura de playas del término de Tavernes (Figura 3). Para hacer más comprensible la evolución del análisis se ha promediado la evolución sobre seis tramos que han

seguido un comportamiento evolutivo parecido (véase los tramos en la Figura 1 y también su posición en el MET de cambios, Figura 3).

Por otra parte, se presenta la evolución resumida de cada uno de estos tramos, asignando el código de tramo 0 al sector meridional del término de Cullera (ver Figura 1). Este gráfico resume la evolución promediando los cambios de cada tramo. Se han añadido además las alturas significantes de ola cuando éstas han superado el umbral de 2 m (Figura 4).

4. DISCUSIÓN

Los resultados expuestos evidencian que las playas estudiadas han sufrido en todos sus tramos, excepto en el tramo 4, una tendencia erosiva. El tramo 0 y 1 son los que han seguido una dinámica más erosiva, siendo más agresiva en el situado más al norte donde la pérdida de anchura supera, en algunos casos, los 80 m (como en enero y abril de 2020).

Tanto en T0 y T1 se aprecia nítidamente el efecto de los grandes aportes de sedimentos realizados entre 2007 y 2009. Éstos ayudaron a ampliar sustancialmente la playa (e.g., acreción de hasta 40 m en T0 entre finales de 2007 y verano de 2008), si bien la tendencia erosiva continuó, evidenciando la existencia de una causa estructural por lo que algunos años después la situación volvía a ser tan crítica como en los años previos a la intervención.

En estos dos tramos en los que hay un déficit estructural de sedimentos se puede observar que los efectos de los grandes temporales son más marcados, provocando un fuerte retroceso de la orilla (especialmente en T0, con pérdidas de 20 m) y una recuperación muy lenta y parcial (más de 10 m de pérdida al final de la serie respecto a la situación previa al Gloria). Obsérvese, a modo de ejemplo, el impacto de los temporales de finales de 2001, a finales de 2019 y sobre todo el gran temporal Gloria de enero de 2020.

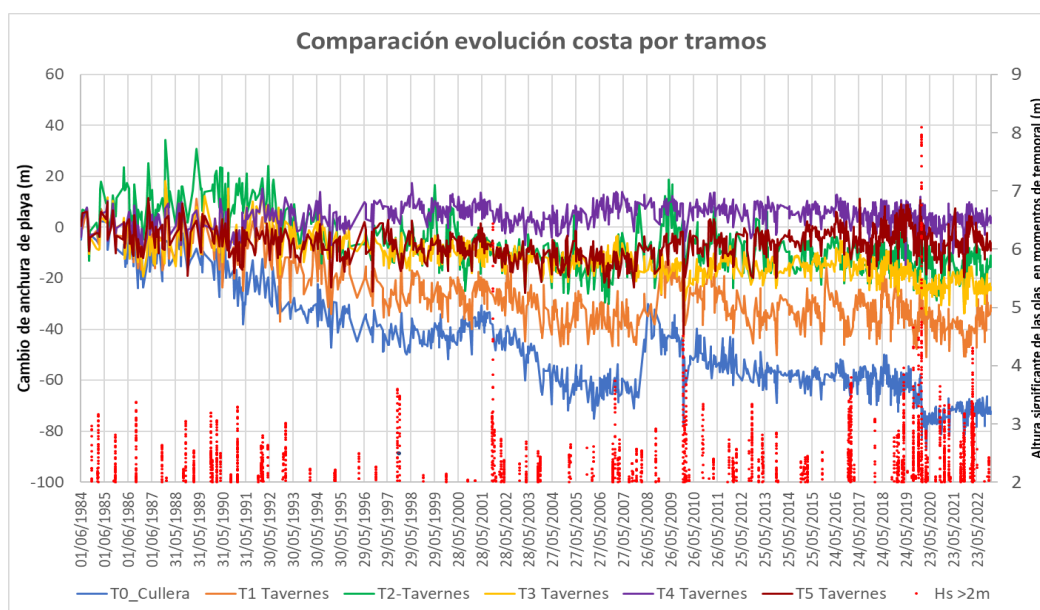


Figura 4. Cambios medios de ancho de playa por tramo tomando como referencia la anchura media de 1984. En color rojo se indica los momentos con alturas significativas mayores a 2 m.

Al sur de la zona de estudio, los tramos 4 y 5 presentan un ligero avance y retroceso (+1.5 m y -9 m respectivamente). La evolución observada sugiere que el ligero avance del tramo 4 podría relacionarse con el hecho de que aquí se hayan ido reteniendo parte de las arenas aportadas artificialmente en los tramos 0 y 1, si bien no podemos estar seguros de ello. La zona 5 que analizada globalmente es erosiva también habría recibido parte de arenas de los grandes aportes artificiales realizados entre 2007 y 2009, lo que explicaría la ligera mejora en la anchura a partir de esas fechas. Sin embargo, el impacto de los temporales del invierno de 2019-20 habría causado de nuevo un balance negativo.

Los resultados muestran una tendencia erosiva en línea con otros sectores de la mitad sur del golfo de Valencia, tales como el sector València-Cullera, inmediatamente al norte (Pardo-Pascual et al., 2022), así como con las playas de la Safor, localizadas al sur hacia el final de la célula sedimentaria (Cabezas-Rabadán et al., 2018). Esto evidencia el déficit sedimentario del sector, y los efectos negativos sobre las funciones de las playas (Cabezas-Rabadán et al., 2019b).

Todos estos resultados evidencian la gran potencialidad que tiene el uso de grandes paquetes de SDS obtenidos de imágenes de resolución media para caracterizar la dinámica morfosedimentaria de las playas y su relación tanto con la acción humana como con las condiciones del oleaje. La metodología empleada se muestra capaz de caracterizar y analizar en esta costa micromareal los cambios ocurridos a lo largo del espacio y del tiempo, permitiendo análisis con diferentes niveles de detalle. Esto resulta clave para la identificación y el diagnóstico de problemas sedimentarios, la priorización de actuaciones y, en definitiva, el desarrollo de una gestión costera eficiente.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución del subproyecto SIMONPLA del programa ThinkinAzul apoyado por el Ministerio de Ciencia e Innovación con fondos de la Unión Europea NextGeneration EU (PRTR-c17.11) y por la Generalitat Valenciana, del contrato M. Salas (Programa de Recualificación) de CCR del Ministerio de Universidades financiado por la UE – NextGenerationEU, y la Ayuda Primeros Proyectos Investigación (PAID-06-22) Vice-rectorado de Investigación- Universitat Politècnica de València.

6. BIBLIOGRAFÍA

Boak, E.H., Turner, I.L. (2005). Shoreline definition and detection: a review. *Journal of coastal research*, 21(4), 688-703. <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>

Cabezas-Rabadán, C., Pardo-Pascual, J.E., Palomar-Vázquez, J., Almonacid-Caballer, J., & Fernández-Sarría, A. (2018). La posición de la línea de costa extraída de imágenes satelitales como herramienta de seguimiento y análisis de cambios en playas mediterráneas. In *XVII Congreso Nacional TIG*. Universitat de València, València (pp. 36-46).

Cabezas-Rabadán, C., Pardo-Pascual, J.E., Palomar-Vázquez, J., Fernández-Sarría, A. (2019a). Characterizing beach changes using high-frequency Sentinel-2 derived shorelines on the Valencian coast (Spanish Mediterranean). *Science of the Total Environment*, 691, 216-231. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.084>

Cabezas-Rabadán, C., Pardo-Pascual, J.E., Almonacid-Caballer, J., Rodilla, M. (2019b). Detecting problematic beach widths for the recreational function along the Gulf of Valencia (Spain) from Landsat 8 sub-pixel shorelines. *Applied Geography*, 110, 102047. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.102047>

Cabezas-Rabadán, C., Pardo-Pascual, J.E., Palomar-Vázquez, J. (2021). Characterizing the relationship between the sediment grain size and the shoreline variability defined from sentinel-2 derived shorelines. *Remote Sensing*, 13(14), 2829. <https://doi.org/10.3390/rs13142829>

Cabezas-Rabadán, C., Pardo-Pascual, J.E., Palomar-Vázquez, J., Roch-Talens, A., Guillén, J. (2024). Satellite observations of storm erosion and recovery of the Ebro Delta coastline. *Coastal Engineering*, 104451. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2023.104451>

Palomar-Vázquez, J., Almonacid-Caballer, J., Pardo-Pascual, J.E., Cabezas-Rabadán, C., Fernández-Sarría, A. (2018). Sistema para la extracción masiva de líneas de costa a partir de imágenes de satélite de resolución media para la monitorización costera: SHOREX. In *XVIII Congreso TIG* (pp. 36-46).

Pardo-Pascual, J.E. (1991). *La erosión antrópica en el litoral valenciano*, Conselleria d'Obres Publiques, 240 p.

Pardo-Pascual, J.E., Palomar-Vázquez, J., Cabezas-Rabadán, C. (2022). Estudio de los cambios de posición de la línea de costa en las playas del segmento València-Cullera (1984-2020) a partir de imágenes de satélite de resolución media de libre acceso. *Cuadernos de Geografía de la Universitat de València* (Online), 108(1), 79-104. <https://doi.org/10.7203/CGUV.108-9.23828>

Sánchez-García, E., Palomar-Vázquez, J.M., Pardo-Pascual, J.E., Almonacid-Caballer, J., Cabezas-Rabadán, C., Gómez-Pujol, L. (2020). An efficient protocol for accurate and massive shoreline definition from mid-resolution satellite imagery. *Coastal Engineering*, 160, 103732. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103732>

Vos, K., Splinter, K.D., Palomar-Vázquez, J., Pardo-Pascual, J.E., Almonacid-Caballer, J., Cabezas-Rabadán, C., Kras, E.C., Luijendijk, A.P., Calkoen, F., Almeida, L.P., Pais, D., Klein, A.H. F., Mao, Y., Harris, D., Castelle, B., Buscombe, D., Vitousek, S. (2023). Benchmarking satellite-derived shoreline mapping algorithms. *Communications. Earth & Environment.*, 4 (345)