

# CAMBIOS EN LA LÍNEA DE COSTA Y SU IMPLICANCIA EN EL DESARROLLO URBANÍSTICO Y TURÍSTICO DE LA LOCALIDAD DE PUNTA INDIO, BUENOS AIRES

## RESUMEN

Los cambios en la línea de costa tienen como desencadenantes diversos factores, tanto naturales como antrópicos. Dichos cambios traen aparejados importantes consecuencias en el desarrollo y sustentabilidad de las poblaciones litorales. Por ello resulta indispensable la cuantificación y el monitoreo de los desplazamientos de la línea de costa a través del tiempo, como así también la predicción de los cambios a futuro de manera de generar pautas de ordenamiento territorial y mitigación de las consecuencias indeseadas. En la localidad de Punta Indio se ha observado en las últimas décadas un retroceso importante de la línea de costa que compromete su desarrollo urbanístico y turístico. El objetivo del presente trabajo fue cuantificar y predecir los desplazamientos en la línea de costa con el propósito de generar pautas y planes de mitigación de los efectos adversos de los mismos. Con tal fin y ante la ausencia de mediciones históricas in situ, se adoptó una metodología basada en la teledetección y los sistemas de

**Cellone, Francisco**<sup>1</sup>

**Santucci, Lucía**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones

Geológicas

(CONICET - UNLP)

fcellone@fcnym.unlp.edu.ar

información geográfica. Se recopilaron fotografías aéreas e imágenes satelitales de la costa de Punta Indio comprendidas entre los años 1943 y 2013, y se digitalizaron las respectivas líneas de costa calculándose los desplazamientos netos y las tasas de desplazamiento.

Los resultados evidencian importantes desplazamientos negativos que afectan principalmente las actuales zonas turísticas y balnearios. Ante los pronósticos futuros y teniendo en cuenta el crecimiento urbanístico y turístico esperado para el área, surge la necesidad de plantear medidas de mitigación y atenuación de los impactos. Los enfoques tradicionales de defensa costera resultan inadecuados a la hora de preservar el atractivo turístico de la zona y el ambiente natural. Frente a estos enfoques se propone la implementación del paradigma de "*living shorelines*" que involucra la implementación de estructuras de concreto aisladas, conjuntamente con la restauración de la vegetación natural.

**Palabras clave:** erosión costera; humedales; protección costera; sensores remoto



## INTRODUCCIÓN

La línea de costa es dinámica en si misma debido a fenómenos causados por cambios hidrodinámicos, geomorfológicos, en el nivel del mar y factores excepcionales como tormentas o tsunamis. (Scott, 2005). La mayor parte de las costas del mundo ha experimentado retrocesos en los últimos 100 años (Nicholls *et al.*, 2007). Ante este panorama erosivo global se plantean diversas causas, entre las cuales las más plausibles parecen ser el aumento en el nivel del mar, el cambio climático (en particular el régimen de tormentas) y el impacto de las actividades humanas (Zhang *et al.*, 2004). El estudio de los cambios en la línea de costa, y las tasas a las que estos cambios ocurren es fundamental para la delimitación de zonas de riesgo, para estudios de dinámica litoral y a su vez para predecir y modelar el comportamiento de la costa a futuro (Sherman and Bauer, 1993, Zuzek *et al.*, 2003). En las poblaciones litorales estos estudios deben ser la base para un adecuado ordenamiento territorial y para mitigar o atenuar los impactos de la erosión costera.

Punta Indio es una pequeña población dentro del partido homónimo en la provincia de Buenos Aires (Argentina) que se halla ubicada en el litoral del Río de la Plata. Su desarrollo socioeconómico depende principalmente de las actividades turísticas llevadas a cabo en la zona costera. Históricamente se ha observado un marcado retroceso de la línea de costa en algunos sectores, sin embargo no han sido realizadas mediciones sistemáticas de dicho fenómeno. Ante la falta de mediciones in situ, las imágenes provenientes de sensores remotos pueden ser de utilidad

a la hora de cuantificar los cambios en la línea de costa. La metodología se basa en comparar una serie de imágenes de un mismo punto de la superficie terrestre a lo largo de un cierto intervalo temporal. Existen sin embargo factores a tener en cuenta con respecto a las incertidumbres implícitas en esta metodología. Algunas de ellas están relacionadas con el momento de adquisición de la imagen, por ejemplo, con las condiciones climáticas y mareográficas, mientras que otras están relacionadas con el procesamiento posterior: georreferenciación y digitalización de la línea de costa. Resulta indispensable considerar estos errores e incertidumbres a la hora de producir resultados confiables y estadísticamente significativos (Anders and Byrnes, 1991; Crowell *et al.*, 1991; Thieler and Danforth, 1994; Moore, 2000; Morton *et al.*, 2004).

En el litoral del partido de Punta Indio se desarrolla un humedal intermareal de manera prácticamente continua a lo largo de la línea de costa (Figura 1). Históricamente ha sido afectado en numerosos sectores por la actividad humana, principalmente a través de la actividad turística y del retiro de la vegetación ribereña por los "junqueros". Se ha atribuido a los humedales intermareales, y en especial la vegetación que se encuentra entre las líneas media de marea alta y baja, numerosos beneficios y funciones que conciernen a la protección costera, al reducir principalmente la energía del oleaje (Gedan *et al.*, 2011). En el área de estudio dicha vegetación se halla representada por la comunidad de *Vigna Luteola* comunidad principalmente representada por *Scirpus Americanus* (Cagnoni *et al.*, 1996). El



**Figura 1.** Mapa de ubicación del área de estudio, detalle de la superficie ocupada por el humedal intermareal.

objetivo del presente trabajo es cuantificar y predecir los desplazamientos en la línea de costa planteando la generación de pautas y planes de mitigación de los efectos adversos de los mismos.

## METODOLOGÍA

Se realizó un análisis multitemporal de la línea de costa, comparándose fotografías aéreas de los años 1943, 1964, 1968, 1973 y 1987 e imágenes satelitales de 2003, 2010 y 2013. Las mismas fueron georreferenciadas en el sistema de proyección WGS84/TMARG6 tomándose como base una serie de puntos de control provenientes del Instituto Geográfico Nacional. Posteriormente se digitalizaron las respectivas líneas de costa en base a la línea de vegetación ribereña y se calcularon tasas de desplazamiento y desplazamientos netos de la línea de costa. Los cálculos fueron realizados utilizando el software Digital Shoreline Analysis System (DSAS 4.3) (Thieler *et al.*, 2009), extensión del software ArcGis. El mismo genera, a partir de una línea base definida por el usuario, una serie de transectas perpendiculares a las distintas líneas de costa, las cuales son utilizadas para calcular distintos

estadísticos. En este trabajo fueron calculados los siguientes estadísticos: WLR (Weighted Linear Regresion) y NSM (Net Shoreline Movement). Estos dos valores representan, respectivamente, el valor ponderado de la tasa de desplazamiento de la línea de costa y el desplazamiento neto de la línea de costa.

El peso en WLR ( $w$ ) es definido en función de la varianza de la incertidumbre de la medición ( $e$ ) (Genz *et al.*, 2007):  $w = 1 / (e^2)$ . El cálculo de la incertidumbre implícita en la digitalización de las líneas de costa ha sido considerado por diversos autores, tomándose en general como la raíz de la suma de los cuadrados de distintos errores (Morton *et al.* 2004; Romine *et al.*, 2013). En el presente estudio se utiliza la raíz de la suma de los cuadrados del error de tamaño de pixel, el error de rectificación y el error de digitalización (Ford, 2011; Ford, 2013). No se realizaron correcciones con respecto a las fluctuaciones mareales ya que se utilizó la línea de vegetación como referencia y se comprobó que las fotografías e imágenes utilizadas presentaban condiciones de marea baja. El error de digitalización fue tomado del estimado en trabajos previos, adoptándose un valor de 1 (Anders and



**Figura 2.** Mapa de las transectas calculadas por DSAS.

Byrnes, 1991; Crowell *et al.*, 1991; Thielert and Danforth, 1994; Moore, 2000; Morton *et al.*, 2004). Por otro lado, el error de rectificación fue tomado como el máximo valor de RMS para cada imagen, calculado en el momento de la georreferenciación. A excepción de la fotografía de 1943 donde el error es de 9 m, los errores totales estimados fueron menores a 3 m.

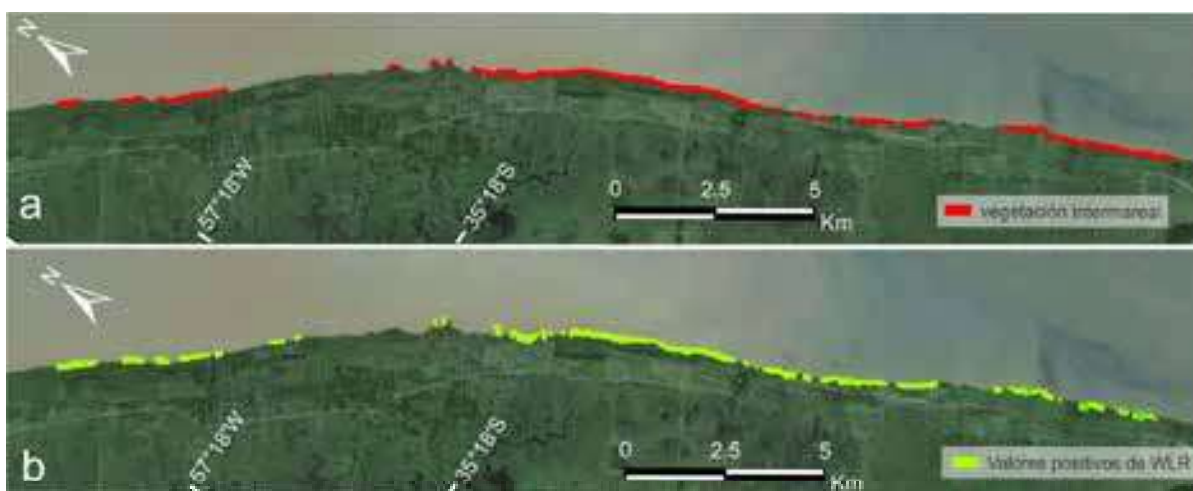
El espaciado adoptado para las transectas fue de 20 m, generándose un total de 1402 transectas. Se tomó a su vez, considerando que no todas las imágenes cubrían la totalidad de la costa, un mínimo de 3 líneas de costa para realizar el cálculo de WLR.

Por último, en función del rol de protección costera de la vegetación intermareal, se realizó un mapeo de la misma a lo largo de toda la costa en función de comparar los

valores de WLR con la presencia y ausencia de dicha vegetación.

## RESULTADOS

Para todo el sector costero estudiado, los valores medios obtenidos de WLR son de -0,4 m/a y los de NSM de -41,4 m, los cuales atestiguan un leve retroceso para la totalidad de la costa (Figura 2). Sin embargo los valores de desviaciones estándar son de 1,7 m/a y 95.5 m respectivamente, lo cual implica una gran heterogeneidad en los datos. Las mayores tasas de retroceso de la línea de costa se corresponden con el sector donde se da el principal desarrollo urbanístico de la localidad de Punta Indio. En esta zona las tasas de retroceso alcanzan valores cercanos a -8 m/a, con retrocesos netos de alrededor de 400 m.



**Figura 3.** Mapas de la distribución de la vegetación intermareal en 2013 y de los valores positivos de WLR a) Presencia de vegetación intermareal a lo largo de la costa. b) Transectas con valores de WLR positivos.

Cuando se analiza la relación existente entre la presencia/ausencia de vegetación intermareal a lo largo de la costa y los valores de WLR se obtiene una importante correlación entre la presencia de vegetación intermareal y las tasas de desplazamiento positivas (Figura 3). Para los sectores con vegetación presente los valores de WLR poseen un promedio de 0,5 m/a y una desviación estándar de 0,3 m/a, mientras que para las zonas donde la vegetación natural está ausente los valores de WLR poseen una media de -1,2 m/a y una desviación estándar de 1,9 m/a.

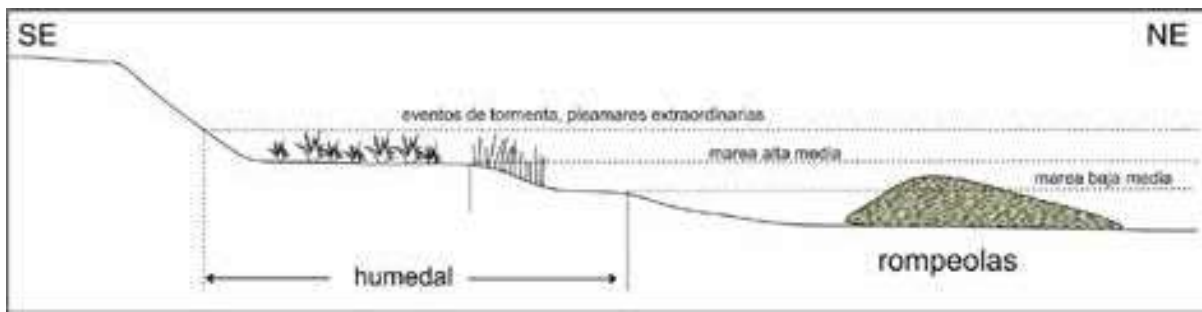
Existen sectores de la costa donde se observan tanto desplazamientos positivos como negativos, lo cual es atribuible a un comportamiento normal en la dinámica litoral, es decir, en algunos lugares se produce depositación mientras que en otros el río erosiona la costa.

Sin embargo otros sectores de la costa exhiben tasas de retroceso y retrocesos netos elevados. Estos retrocesos, atribuibles principalmente a erosión costera, parecen estar relacionados a la ausencia de vegetación intermareal. Dicha ausencia trae aparejada una desprotección de la costa ante el oleaje y ante eventos de tormenta. Asimismo, la vegetación intermareal posee la capacidad de retener sedimentos, por lo que dicho proceso se ve disminuido y los fenómenos de acreción costera afectados. Si bien no se tienen registros de la extensión original de la vegetación, es probable que en los lugares donde se ha producido el retiro de la misma, la erosión ha llevado a cabo un proceso continuo que ha inhabilitado la recuperación natural del humedal. Por otro lado, en el sector central del área

y coincidiendo con el mayor desarrollo urbanístico de la localidad de Punta Indio, se observan las mayores tasas de retroceso y retrocesos netos de toda la costa, lo cual podría ser entendido como fruto de la influencia antrópica en este sector.

Frente a este panorama claramente erosivo resulta indispensable la implementación de estructuras tendientes, cuanto menos, a aminorar los procesos que ponen en riesgo la sustentabilidad costera. Tradicionalmente, en situaciones de este tipo donde el proceso erosivo ha tomado un carácter tal que compromete la infraestructura y el desarrollo urbanístico de una localidad, se plantean la construcción de murallones, escolleras, entre otras estructuras de defensa costera. Sin embargo, los efectos adversos de dichas estructuras en la dinámica litoral y en los ecosistemas costeros están ampliamente documentados e incluyen, entre otros problemas, aceleramiento de la erosión, pérdida de biodiversidad, cambios geomorfológicos e hidrográficos (Currin *et al.*, 2010). A partir de este último planteo, y teniendo como objetivo la preservación del medio natural, conjuntamente con la atenuación de la erosión, se plantea el paradigma de restauración costera o "*living shorelines*" (National Research Council, 2007). Dicho sistema involucra la utilización y construcción de estructuras artificiales conjuntamente con la restauración de la vegetación natural de





**Figura 4.** Esquema del perfil de playa con la implementación de rompeolas y ubicación de la vegetación en el humedal intermareal.

los humedales (Gedan *et al.*, 2011; Swann, 2008).

Existen numerosos ejemplos de humedales intermareales a lo largo del mundo donde estas técnicas comienzan a reemplazar a los enfoques tradicionales con buenos resultados ya que tan solo una franja estrecha de humedal recuperado, es decir, pocas decenas de metros, puede atenuar significativamente la erosión (Meyer *et al.* 1997; Piazza *et al.*, 2005; Gedan *et al.*, 2011; Currin *et al.*, 2010, Swann, 2008). En nuestro país prevalecen sin embargo las técnicas tradicionales de protección costera y no existen ejemplos, al menos citados en la bibliografía, donde se hayan implementado otro tipo de soluciones. Por otra parte, la mayor parte de los trabajos

de restauración y los proyectos de "*living shorelines*" han sido desarrollados en humedales que poseen comunidades vegetales diferentes a las del Río de la Plata y principalmente bajo la restauración de la vegetación de *Spartina alterniflora* (Gedan *et al.*, 2011), por lo que no se conoce qué respuesta pueden tener las restauraciones de las comunidades autóctonas.

Dada esta alternativa y la problemática erosiva de la localidad estudiada, se propone como alternativa para restaurar la costa la realización de medidas de mitigación según el modelo presentado por Currin *et al.* 2010, y por la División de Conservación de Hábitat de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (Figura 4).



**Figura 5.** Posible ubicación para la construcción del rompeolas. Distribución de la vegetación intermareal presente en 2013 y posible zona de restauración de la vegetación.

En el mismo se plantea la construcción de rompeolas sumergidos por debajo de la línea media de marea alta y de manera paralela a subparalela a la línea de costa (Figura 5). La importancia de los mismos radica en su capacidad de reducir la energía del oleaje y al mismo tiempo generar zonas protegidas donde puede ser restaurada la vegetación natural. Detrás de estas estructuras es recomendable la restauración de la vegetación natural del humedal.

## **CONCLUSIONES**

El presente trabajo constituye uno de los primeros acercamientos tendientes a cuantificar los desplazamientos de la línea de costa en el litoral del partido de Punta Indio. Los resultados evidencian un claro retroceso de la línea de costa con altas tasas de retroceso principalmente donde se desarrolla la zona urbana litoral. Por otro lado, la comparación entre las tasas de cambio de la línea de costa y la presencia/ausencia de vegetación intermareal permite establecer un vínculo entre ambos factores, corroborando la importancia de dicha vegetación en la protección costera.

Entender los procesos que condicionan los cambios en la línea de costa, como así también monitorear dichos cambios, resulta indispensable a la hora de planificar el desarrollo turístico y urbanístico de las poblaciones costeras. La implementación de planes de protección costera debe ser encarada desde una perspectiva distinta a la actual, teniendo en cuenta las condiciones ambientales autóctonas y garantizando la sustentabilidad de los recursos naturales y la biodiversidad. Frente a los enfoques tradicionales, este trabajo propone la implementación de

un proyecto de restauración costera bajo el paradigma de "*living shorelines*". Se plantea la implementación de un plan de restauración de la vegetación natural del humedal conjuntamente con la construcción de estructuras parcialmente sumergidas que permitan la atenuación de los procesos erosivos.

## **Agradecimientos**

Los autores quieren agradecer a la Base Aeronaval de Punta Indio por las fotografías aéreas suministradas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDERS, F.J. & BYRNES, M.R.** (1991): "Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs". *Shore and Beach*, 59, 17-26.
- CAGNONI, M.; FAGGI, A.M. & RIBICHICH, A.** (1996): "La vegetación de la Reserva El Destino (Partido de Magdalena, Provincia de Buenos Aires)". *Parodiana*, 9(1), 25-44.
- CROWELL, M.; LEATHERMAN, S.P. & BUCKLEY, M.K.** (1993): *Shore-line change rate analysis: long term versus short term data*. *Shore and Beach*, 61, 13-20.
- CURRIN, C.A.; CHAPPELL, W.S. & DEATON, A.** (2010): Developing alternative shoreline armoring strategies: the living shoreline approach in North Carolina, in: *Puget Sound Shorelines and the Impacts of Armoring-Proceedings of a State of the Science Workshop*, 91-102.
- FORD, M.** (2011): *Shoreline changes on an urban atoll in the Central Pacific Ocean: Majuro Atoll, Marshall Islands*. *Journal of Coastal Research*, 28, 11–22.
- (2013): *Shoreline changes interpreted from multi-temporal aerial photographs and high resolution satellite images: Wotje Atoll, Marshall Islands*. *Remote Sens. Environ*, 135, 130–140.
- GEDAN, K.B.; KIRWAN, M.L.; WOLANSKI, E.; BARBIER, E.B. & SILLIMAN, B.R.** (2011): *The present and future role of coastal wetland vegetation in protecting shorelines: Answering recent challenges to the paradigm*. *Clim. Change*, 106, 7–29.
- GENZ, A.S.; FLETCHER, C.H.; DUNN, R.A.; FRAZER, L.N. & ROONEY, J.J.** (2007): *The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii*. *J. Coast. Res*, 23, 87-105.
- MEYER, D.L.; TOWNSEND, E.C. & THAYER, G.W.**, (1997): *Stabilization and erosion control value of oyster cultch for intertidal marsh*. *Restor. Ecol.* 5, 93–99.
- MOORE, L.J.** (2000): *Shoreline mapping techniques*. *J. Coast. Res.* 16, 111–124.
- MORTON, R.A.; MILLER, T.L. & MOORE, L.J.** (2004): *National assessment of shoreline change part 1: Historical shoreline changes and associated coastal land loss along the US Gulf of Mexico*. US Geological Survey Open File Report, 1043, 44.
- NRC** (National Research Council) (2007): *Mitigating shore erosion along sheltered coasts*. National Academy Press, Washington, D.C., USA.
- NICHOLLS, R.J.; WONG, P.P.; BURKETT V.R.; CODIGNOTTO, J.O.; HAY, J.E.; MCLEAN, R.F.; et al.** (2007): *Coastal systems and low-lying areas. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, **PARRY, M.L.; CANZIANI, O.F.; PALUTIKOF, J.P., VAN DER LINDEN, P.J.; HANSON, C.E.**; Cambridge University Press, Cambridge, UK, 315-356.
- PIAZZA, B.P.; BANKS, P.D. & LA PEYRE, M.K.** (2005): *The potential for created oyster shell reefs as a sustainable*



*shoreline protection strategy in Louisiana*. Restor. Ecol. 13, 499-506.

**BRADLEY, R.M.; FLETCHER, Ch.H.; BARBEE, M.M.; ANDERSON, T.R. & NEIL FRAZER, L.** (2013): *Are Beach Erosion Rates and Sea-Level Rise Related in Hawaii*. Global and Planetary Change 108. Elsevier B.V., 149-57.

**SCOTT, D.B.** (2005): "Coastal changes, rapid", in: **SCHWARTZ, M.L.** (Ed.): *Encyclopedia of coastal sciences*. Springer, The Netherlands, 253-255.

**SHERMAN, D.J. & BAUER, B.O.** (1993): *Coastal geomorphology through the looking glass*. Geomorphology 7, 225-249.

**SWANN, L.** (2008): *The Use of Living Shorelines to Mitigate the Effects of Storm Events on Dauphin Island, Alabama, USA*. American Fish. Soc. Symp. 64, 11 pp.

**THIELER, E.R. & DANFORTH, W.W.** (1994): *Historical Shoreline Mapping (I): Improving*.

**ZHANG, K.; DOUGLAS, B.C. & LEATHERMAN, S.P.** (2004): *Global Warming and Coastal Erosion*. Climatic Change, 64, 41-58.

**THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J.L. & ERGUL, A.** (2009): *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0- An ArcGIS extension for calculating shoreline change*. U.S. Geol. Surv. Open-File Rep. 1278.

**ZHANG, K.; DOUGLAS, B.C.; & LEATHERMAN, S.P.** (2004): *Global Warming and Coastal Erosion*. Climatic Change, 64, 41-58.

**ZUZEK, P.J.; NAIRN, R.B. & THIEME,**

**S.J.** (2003): *Spatial and temporal consideration for calculating shore line changes in the Great Lakes Basin*. J. Coast. Res. 38, 125-146.

<http://www.habitat.noaa.gov/restoration/techniques/implementation.html>.

