

Evolución geomorfológica de Punta Rasa, Pcia. de Buenos Aires, Argentina

Walter C. DRAGANI^{1,2,3}, Jorge O. CODIGNOTTO^{1,4}, Silvia I. ROMERO^{2,3,5}, Sergio MOLINA⁵,
Guadalupe ALONSO^{2,3}, Guido L. BACINO^{1,4} & Paula B. MARTIN^{1,2,3}

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. ²Servicio de Hidrografía Naval, Av. Montes de Oca 2124 (C1270ABV), Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ³Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA, Ciudad Universitaria, Pabellón II, 2do. Piso. (C1428EGA), Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ⁴Servicio Geológico Minero Argentino, Av. Julio A. Roca 651 10º P (C1067ABB), Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ⁵Escuela de Ciencias del Mar, Instituto Universitario Naval, Av. Antártida Argentina 1201 (C1054AAH), Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Abstract: The spatial and temporal variability observed during the last 25 years at Punta Rasa sandspit is studied in this work. Five images Landsat TM (30 m spatial resolution) corresponding to the years 1987, 1994, 2001, 2007 and 2011 were selected in this study. Each one covers an area of 185 km x 172 km but, for this analysis, a smaller area from latitude 36°19'40" to 36°17'08" S and from longitude 56°44'10" to 56°47'25" S was selected. A remarkable retrogression of the sandspit and a gradual widening of the sector located adjacently southward the sandspit was observed by comparison of the selected images. The hypothesis discussed in this work is that such variability would be associated to a change in the wind wave climate which arose a slight change in the long shore wave energy flux and in sand transport. Finally, it is highlighted that the mean sea level rise and the increasing in frequencies and intensities of storm surges in the Río de la Plata could play an important role in the observed erosion.

Key words: Erosion, Sandspit, Climate Change, Rasa Point, Bonarense coast.

Resumen: En este trabajo se estudia la evolución espacio-temporal de la espiga arenosa de Punta Rasa-Punta Médanos durante los últimos 25 años. Se seleccionaron cinco imágenes Landsat TM con resolución espacial de 30 m, correspondientes a los años 1987, 1994, 2001, 2007 y 2011. Cada imagen cubre un área de aproximadamente 185 km x 172 km pero para este trabajo se recortó un área menor comprendida entre las latitudes 36°19'40" y 36°17'08" S y las longitudes 56°44'10" y 56°47'25" S. De la comparación de las imágenes satelitales seleccionadas se pudo observar la decapitación de la espiga arenosa acompañada del progresivo ensanchamiento del sector ubicado adyacentemente al S del extremo distal de la misma. La hipótesis que se discute en este trabajo es que dicha variabilidad estaría asociada a una alteración local del clima de olas el cual trajo aparejado un leve cambio del flujo de energía de olas y del transporte de arena paralelos a la costa. Finalmente, se destaca que el ascenso del nivel medio del mar y el aumento en la frecuencia e intensidad de la onda de tormenta en el Río de la Plata podrían contribuir al aumento de erosión observado.

Palabras clave: Erosión, Espiga arenosa, Cambio Climático, Punta Rasa, Costa bonaerense.

INTRODUCCIÓN

Punta Rasa es el extremo distal de una espiga de barrera, que como formación sedimentaria constituida por una serie de cordones litorales, se extiende desde su sector proximal en Punta Médanos (Fig. 1) hacia el Norte (Kokot, 2010). Esta proyección del sector distal de la espiga históricamente mostró una dirección de crecimiento predominante hacia el NO (Bértola, 1995, 2001).

Sin embargo, desde hace poco más de una década esta elongada formación arenosa, manifiesta un cambio notable en su morfología. En el análisis de la evolución del extremo distal de la espiga, desde fines del siglo XX, este tramo mostró un cambio espacio-temporal muy evidente que se aprecia claramente no sólo mediante la comparación de fotografías aéreas e imágenes satelitales (Dragani *et al.*, 2012), sino que también ha sido reportada por los lugareños. En este trabajo se



Fig. 1. Mapa de ubicación. Zona de estudio: sector NE de la costa atlántica bonaerense y bahía Samborombón, Pcia. de Buenos Aires, Argentina. El recuadro indica la zona de estudio.

estudia dicha evolución durante los últimos 25 años para lo cual se seleccionaron cinco imágenes Landsat correspondiente a los años 1987, 1994, 2001, 2007 y 2011. Al referirse los autores en este artículo a una escala temporal acotada debido a la información disponible, no se puede aseverar fehacientemente si las alteraciones de esta espiga (o "sandspit", como se la reconoce en la literatura inglesa) son parte de un ciclo o si los procesos se acentuarán gradualmente en el futuro. La hipótesis que se maneja en este trabajo, advirtiendo de antemano que es tan solo una de varias posibles, es que la variabilidad espacio-temporal de la espiga Punta Rasa estaría asociada a una alteración del flujo de energía de olas y del transporte de arena paralelos a la costa. A continuación se presenta una breve reseña sobre los mecanismos naturales de transporte de arena a lo largo de la costa de la provincia de Buenos Aires.

Aunque no se disponga de mediciones extensivas ni sistemáticas de parámetros ambientales costeros en el litoral arenoso del NE bonaerense, distintos estudios coinciden en determinar que el transporte neto de arena paralelo a la costa tiene una dirección predominante hacia el N (Caviglia,

1991; Kokot, 1997; 2010). Las escasas mediciones ambientales disponibles sostienen que en esta región durante condiciones de buen tiempo, el oleaje incide predominantemente desde el sector comprendido entre el N y el E (Speroni *et al.*, 1999). Sin embargo, en condiciones severas, caracterizadas por vientos fuertes y persistentes del SE, el oleaje predominante proviene del sector comprendido entre el S y el E. Aunque el oleaje proveniente del S y del SE sea menos frecuente que el proveniente del N o del NE, el primero es mucho más energético y por lo tanto, el balance anual del flujo de energía paralelo a la costa (CERC, 1984) proveniente del S excede al del N. Este flujo de energía genera un transporte de arena paralelo a la costa, el cual es predominantemente del S, finalizando en Punta Rasa (SHN, 1999) y en los bancos de arena asociados a la espiga (por ejemplo, los bancos Cabo, Tuyú y San Agustín).

Además de proporcionar el sedimento necesario para alimentar esta proyección de la espiga en Punta Rasa, el transporte de arena suministra el sedimento necesario para alimentar a las playas de la región y contribuye a los sistemas de dunas costeras que se extienden desde Mar Chiquita hasta Punta Rasa (Isla *et al.*, 2001; López & Marcomini, 2004). Durante condiciones de buen tiempo, caracterizado por un oleaje con longitud de onda larga y alturas relativamente bajas, la arena es lentamente transportada a lo largo de la costa y, a la vez, movilizadada hacia la playa por un lento mecanismo asociado a los efectos no lineales o al transporte de masa de las olas. Este proceso de transporte "on-shore" de arena alimenta natural y continuamente a las playas provocando, lenta y progresivamente, el incremento de la altura de la berma. Durante condiciones de buen tiempo el transporte eólico favorece la construcción y el crecimiento de las dunas costeras. Esta suma de mecanismos constructivos naturalmente interrumpida por la ocurrencia de eventos energéticos (tormentas) que destruyen en pocas horas o días la playa, erosionando un espesor de arena de varios decímetros, reduciendo significativamente la pendiente de la playa y produciendo una pronunciada escarpa al pie de la duna costera. La arena erosionada de la playa es transportada "off-shore" formando un banco o barra de tormenta. Luego, la arena que constituye la barra es transportada lentamente hacia la playa por el oleaje predominantemente suave y característico de los prolongados períodos de buen tiempo. Estos procesos se manifiestan cíclicamente en la costa arenosa bonaerense des-

de las playas ubicadas al norte de Mar Chiquita hasta Punta Rasa. En la bahía Samborombón, en cambio, los sedimentos son considerablemente más finos (limos y arcillas) y cohesivos, dando lugar a una planicie de marea muy amplia con pendiente extremadamente pequeña (Bértola & Ferrante, 1996). Dicha planicie remata en una escarpa de altura inferior a 1 m la cual está sujeta a una erosión crónica, con un retroceso promedio estimado en aproximadamente 0.80 m por año (Codignotto *et al.*, 2012).

Aunque en la costa arenosa del NE bonaerense los impactos antropogénicos debidos a la deficiente gestión o manejo costero son evidentes (López, 2009; López & Marcomini, 2011), debe aclararse que los mismos están muy localizados y, en general, están asociados a la respuesta del sistema costero ante el emplazamiento de estructuras de hormigón en la línea de dunas costera y a la extracción de arena (Marcomini & López, 2006). Por ejemplo, pueden citarse casos indiscutibles en sitios muy puntuales de Mar de Ajó, Mar del Tuyú, Santa Teresita y Las Toninas. El impacto antrópico en Punta Rasa, si bien a priori no debería ser despreciado, es extremadamente mucho más bajo que el de las playas del S, por lo cual puede considerarse un sitio que responde principalmente a forzantes naturales como, por ejemplo, las olas, la marea, la onda de tormenta y el viento.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se analizan cinco imágenes Landsat TM. Las imágenes fueron adquiridas mediante un sensor del tipo opto-mecánico, con resolución espacial de 30 m, un rango espectral comprendido entre 0.45 y 12.5 μm y una resolución temporal 16 días. Si bien en los instantes de adquisición de cada imagen los niveles del agua no eran los mismos se observó en cada una que la marea estaba en una condición similar (media creciente o media bajante) y que no había onda de tormenta significativa, lo cual posibilitó la concreción de este estudio comparativo. También, cabe señalar que en la región la amplitud media de la marea es 0.81 m (SHN, 2014). Cada imagen cubre un área de aproximadamente 185 km x 172 km pero para este estudio se recortó un área comprendida entre 36°19'40" y 36°17'08" S y 56°44'10" y 56°47'25" W (Fig. 2). Sobre cada una de las imágenes se midieron distancias y se estudió la evolución espacial de la espiga. La primera imagen corresponde al 11 de noviembre de 1987. En la misma (Fig. 2.a) se

aprecia una espiga bien desarrollada en la dirección SE-NO con una longitud de 740 m y un ancho medio de 150 m, aproximadamente. Siete años después, en la imagen del 4 de mayo de 1994 (Fig. 2.b), se aprecia una sección del extremo, a unos 660 m de su porción mas distal, deprimida. Posteriormente, 21 de octubre de 2001, la espiga se presenta decididamente seccionada, generando la formación de un banco subaéreo elongado de unos 640 m de longitud orientado en la dirección SE-NO (Fig. 2.c). A partir de este momento comienzan a manifestarse cambios más notables. En la imagen del 29 de septiembre de 2007 se aprecia un banco de arena ubicado al O de la nueva punta (Fig. 2.d). La longitud de este banco es de aproximadamente 230 m y las observaciones actuales indican que éste queda totalmente sumergido en pleamar. Entre el banco y la punta se aprecia un canal de unos 300 m de ancho que funciona con la marea, produciéndose corrientes intensas en condiciones de flujo (hacia el N) y de reflujos (hacia el S) las cuales revisten un peligro para los turistas. Entre la imagen anterior (2007) y la del 8 de octubre de 2011 (Fig. 2.e) el banco se ubica aproximadamente en el mismo sitio y tanto su dimensión como el ancho del canal mencionado son muy similares a los valores indicados precedentemente. Sin embargo la punta se muestra más redondeada indicando rasgos erosivos.

Por otro lado, la porción de territorio ubicado adyacentemente al S de la espiga (ver en Fig. 2.a) presenta un gradual y lento ensanchamiento. En las imágenes correspondientes a 1987, 1994, 2001 (Figs. 2.a, b y c) no se observan variaciones significativas, mostrando un ancho constante y aproximado de 2850 m. En cambio, en la imagen del 2007 (Fig. 2.d) se aprecia un ensanchamiento significativo, alcanzando un valor de 3090 m. Finalmente, en la última imagen (2011, Fig. 2.e) el sector se muestra con un ancho aproximado de 3190 m.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De la comparación de las imágenes satelitales seleccionadas entre 1987 (Fig. 2.a) y el 2011 (Fig. 2.e) se pudo observar la desaparición del extremo más distal de la espiga acompañado del progresivo ensanchamiento del sector ubicado adyacentemente al S del mismo. Varias hipótesis han sido enunciadas para explicar este comportamiento, alguna de ellas basadas en efectos antropogénicos y otras en causas naturales. En este trabajo se discuten algunas modificaciones apreciadas fundamentalmente en la atmósfera, las cuales

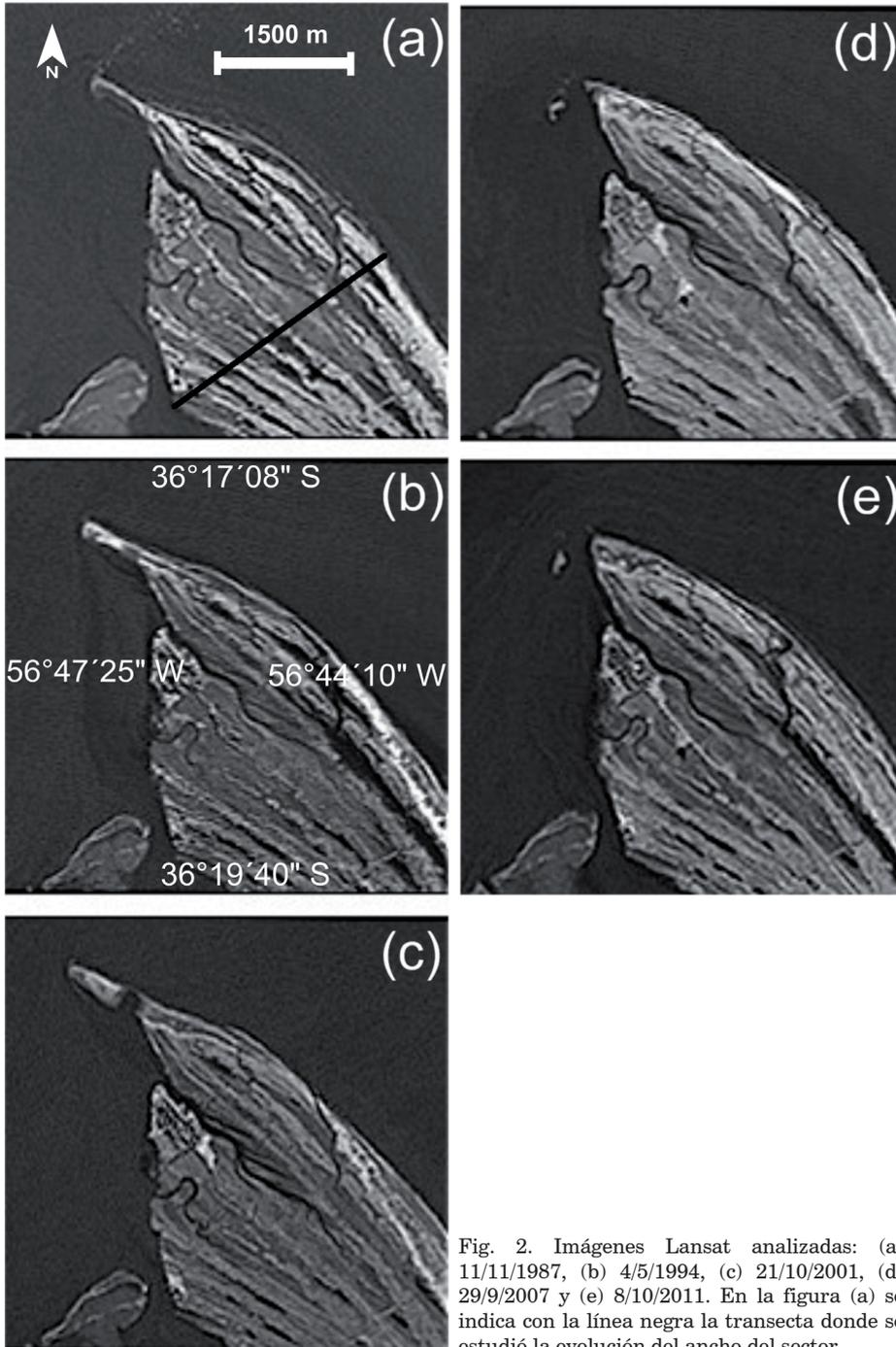


Fig. 2. Imágenes Landsat analizadas: (a) 11/11/1987, (b) 4/5/1994, (c) 21/10/2001, (d) 29/9/2007 y (e) 8/10/2011. En la figura (a) se indica con la línea negra la transecta donde se estudió la evolución del ancho del sector.

tendrían sus orígenes en el Cambio Climático asociado al Calentamiento Global (Gibson, 1992; Nicholls *et al.*, 2007), que tendrían efectos sobre el clima de olas en la región y, consecuentemente, sobre la costa. Mayores precisiones sobre el im-

pacto del cambio Climático en la costa bonaerense se presentan en Dragani *et al.* (2013).

Como consecuencia del Calentamiento Global se ha reportado que en las últimas décadas el Anticiclón Semipermanente del Atlántico Sur se

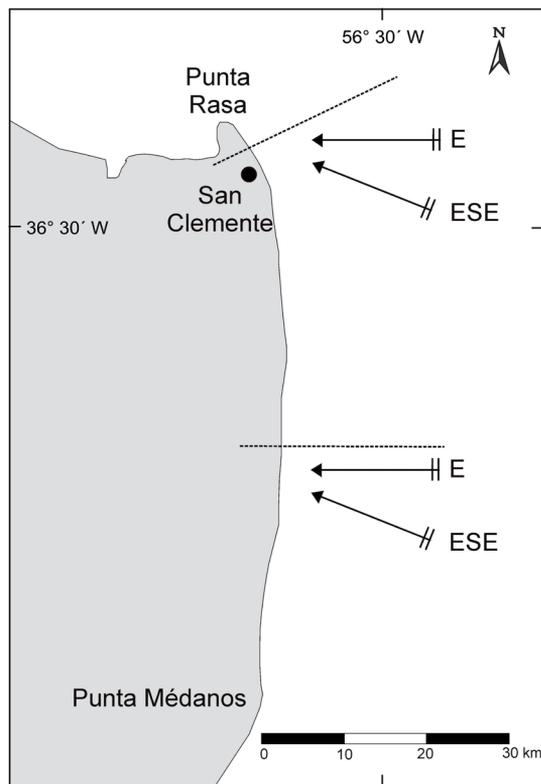


Fig. 3. Esquema de la incidencia del oleaje respecto de la orientación de la costa. Las flechas indican la dirección desde donde vienen las olas.

ha desplazado ligeramente hacia el S. Este leve cambio atmosférico trajo aparejado un incremento en la intensidad y en la frecuencia de ocurrencia del viento del E en la zona del estuario del Río de la Plata (Dragani & Romero, 2004). Estudios basados en modelaciones numéricas sostienen que, como resultado de esta ligera perturbación de la circulación atmosférica, el oleaje se ha modificado sensiblemente (Cox and Swail, 2001; Dragani et al., 2008; Dragani et al., 2010; Young et al., 2011; Dragani et al., 2013). Los resultados indican que el oleaje proveniente del E y del ESE presentaría una mayor frecuencia de ocurrencia y una mayor altura en la región del Río de la Plata Exterior. Codignotto et al. (2011, 2012) sostienen que la creciente o acelerada erosión apreciada en la bahía Samborombón estaría estrechamente vinculada a este nuevo escenario.

Actualmente se supone que los cambios reportados en la dirección de propagación y en la altura del oleaje incidente desde las direcciones E y ESE, podrían impactar directamente sobre la intensidad (y eventualmente en el sentido) del

flujo de energía de olas paralelo a la costa y sobre el transporte de arena asociado. Considerando la orientación particular del extremo distal de la espiga (SE-NW) comparativamente con la costa entre Punta Médanos y la localidad de San Clemente (aproximadamente N-S), un leve cambio en las alturas y en las frecuencias de dirección ocurrente del oleaje provocaría una variación diferencial del flujo de energía a lo largo de la costa. Es decir, un leve incremento en la frecuencia de incidencia del oleaje del E y del ESE produciría tan solo un leve o moderado aumento del flujo de energía paralelo a la costa (y del transporte de arena neto hacia el N) entre Punta Médanos y San Clemente. Por otro lado, el mismo cambio en el oleaje tendría un efecto mucho más significativo entre San Clemente y Punta Rasa ya que, debido a la diferente orientación de la costa (SE-NW), el oleaje más frecuente del E y del ESE incidiría con mayor ángulo y produciría un mayor flujo de energía paralelo a la costa y, consecuentemente, una mayor capacidad de transporte de arena (Fig. 3). De esta manera el extremo distal de la espiga, ubicada en el extremo N de la costa arenosa bonaerense, estaría sujeta a una capacidad de transporte (energía) notablemente mayor, mientras que más al S, entre San Clemente y Punta Médanos, la capacidad de transporte a lo sumo se vería levemente incrementada. En consecuencia, a lo largo de la costa podría estar manifestándose un desbalance tanto del flujo de energía como del transporte de arena. Entre San Clemente y Punta Rasa habría un mayor flujo de energía mientras que al S de San Clemente el incremento sería más moderado. En términos prácticos podría considerarse que entre San Clemente y Punta Rasa podría haber aumentado la capacidad de transporte de arena (es decir, el flujo de energía paralelo a la costa) pero no así el suministro de arena proveniente desde el Sur. En consecuencia el gradiente del flujo de energía paralelo a la costa estaría aumentando desde San Clemente hacia Punta Rasa. Por lo tanto, es posible que el extremo distal de la espiga esté desapareciendo ya que, desde hace poco más de una década, el nivel de energía costero (entre la línea de costa y la primera rompiente) sería más alto que el correspondiente a décadas pasadas (Dragani et al., 2010).

Además de los cambios en el clima de olas discutidos precedentemente, simulaciones numéricas, (Meccia et al., 2009) y observaciones (Escobar et al., 2004; D’Onofrio et al., 2008) revelan cambios en la frecuencia de ocurrencia y en las alturas de las ondas de tormenta positivas

y negativas en el Río de la Plata. Escobar *et al.* (2004) estudiaron la frecuencia media anual de “sudestadas”, definidas como ondas de tormenta con alturas superiores a +1.60 m, durante las últimas cinco décadas del siglo pasado. Observaron una tendencia positiva en la frecuencia absoluta durante las últimas décadas, elevándose de 44 casos en los 60’s a 79 casos en los 90’s. D’Onofrio *et al.* (2008) estudiaron la variabilidad de las frecuencias, duración y alturas de las ondas de tormenta en el Río de la Plata durante el período 1905–2003, utilizando observaciones del nivel de las aguas. Los resultados obtenidos muestran que durante los últimos 30 años, los promedios de cada década tanto de las frecuencias como de las duraciones de la onda positiva de tormenta han incrementado. Por otro lado, el nivel medio del mar se ha incrementado leve y monótonamente en la zona de estudio. Lanfredi *et al.* (1998) reportó tendencias del nivel medio del mar de $+1.6 \pm 0.1$ mm/año para el Puerto de Buenos Aires (período analizado: 1905–1992) y $+1.4 \pm 0.5$ mm/año para Mar del Plata (período analizado: 1954–1992).

Al presente, el modelo conceptual aquí discutido sobre la evolución costera basado en la variabilidad del flujo de energía paralelo a la costa no puede ser fehacientemente validado debido a la falta de observaciones sistemáticas y continuas de, fundamentalmente, olas en la zona costera de interés. La implementación de un programa de monitoreo costero, como el que está siendo diseñado en el marco de la “Iniciativa Pampa Azul”, es altamente deseable no solo para corroborar hipótesis de este tipo sino que también para encarar emprendimientos costeros o tomar decisiones relacionadas con la gestión o el manejo costero. Una alternativa económica para el monitoreo de la variabilidad geomorfológica costera es emprender un programa de relevamiento sistemático de perfiles de playa, referidos a puntos fijos perdurables en el tiempo y ubicados en sitios estratégicamente seleccionados. La realización de perfiles de playa trimestrales, en conjunción con las imágenes satelitales disponibles y una referenciación a la condición mareológica imperante podría constituir las bases fundamentales para un estudio cuantitativo de la variabilidad espacio-temporal de Punta Rasa.

No obstante, debido al déficit de información de campo en la región un próximo paso sería estudiar teóricamente las causas de la casi total desaparición de la espiga arenosa ensayando diferentes forzantes (fundamentalmente, alturas, frecuencias y direcciones del oleaje) mediante la

implementación de algún modelo numérico reconocido de evolución de playas. De esta manera se podrían testear diversos escenarios de cambio y analizar la respuesta de la formación arenosa ante diferentes condiciones. Aunque este tipo de estudio sería de naturaleza teórica brindaría un panorama muy claro a la hora de determinar el rol de las distintas fuerzas intervinientes en este ambiente costero.

Estas tareas han sido realizadas en el marco del Proyecto CONICET PIP 00176.

BIBLIOGRAFÍA

- Bértola, G.R. 1995. Geomorfología y sedimentología de los ambientes mareales de la Bahía Samborombón, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata, 190 pp.
- Bertola, G.R. & Ferrante, A. 1996. Dinámica y transporte en un canal de mareas (Bahía Samborombón, Argentina). *Thalassas* 12: 107-119
- Bértola, G.R. 2001. Dinámica costera y evolución de la Espiga de Punta Rasa (Buenos Aires). *Revista del Instituto de Geología y Minería de Jujuy* 14(1/2): 33-44.
- Caviglia, F.J. & Pousa, J.L., 1997: Estimación de los valores de retorno de la altura de ola en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Pesquisas* 24(1/2): 13-24
- CERC, 1984. *Shore Protection Manual, Vol. 1*. Coastal Engineering Research Center, Department of Army, US Army Corps of Engineers, Washington DC.
- Codignotto, J., Dragani, W.C., Martin, P.B., Campos, M.I., Alonso, G., Simionato, C.G. & Medina, R.A. 2011. Erosión en la bahía de Samborombón y cambios en la dirección de los vientos, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat.* 13(2): 135-138, ISSN 1514-5158 (impresa), ISSN 1853-0400 (en línea).
- Codignotto, J., Dragani, W.C., Martin, P.B., Simionato, C.G., Medina, R.A. & Alonso, G. 2012. Wind-wave climate change and increasing erosion observed in the outer Río de la Plata, Argentina. *Continental Shelf Research* 38: 110–116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2012.03.013>
- Caviglia, F.J., Pousa, J.L. & Lanfredi, W. 1991. A determination of the energy flux constant from the dredge records. *Journal of Coastal Research* 7(2):543–549
- Cox, A. & Swail, V. 2001. A global wave hindcast over the period 1958-1997: validation and climate assessment. *Journal of Geophysical Research* 106(C2): 2313-2329.
- D’Onofrio, E.E., Fiore, M. & Pousa, J.L. 2008. Changes in the regime of storm surges at Buenos Aires, Argentina. *Journal of Coastal Research* 24: 260-265.
- Dragani, W. & Romero, S. 2004. Impact of a possible

- local wind change on the wave climate in the upper Río de la Plata. *International Journal of Climatology*, 24:1149-1157.
- Dragani, W.C., Garavento, E., Simionato, C., Nuñez, M., Martín, P. & Campos, M. I. 2008. Wave simulation in the outer Río de la Plata estuary: an evaluation of SWAN model. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 134(5): 299-305.
- Dragani, W.C., Martín, P., Campos, M.I. & Simionato, C.G. 2010. Are wind wave heights increasing in South-eastern South American continental shelf between 32° S and 40° S? *Continental Shelf Research*, doi:10.1016/j.csr.2010.01.002.
- Dragani, W.C., Codignotto, J.O., Martín, P.B., Campos, M.I., Alonso, G., Simionato, C.G. & Medina, R. 2012. Some coastal impacts related to wind wave changes in south-eastern South American continental shelf. En: B. Veress and J. Szigethy (ed), "Horizons in Earth Science Research", Vol. 6, Nova Science Publishers, 161-177. ISBN: 978-1-61470-462-1
- Dragani, W.C., Martín, P.B., Alonso, G., Codignotto, J.O., Prario, B.E. & Bacino, G. 2013. Wind wave climate change: Impacts on the littoral processes at the northern Buenos Aires coast, Argentina. *Climatic Change*. DOI: 10.1007/s10584-013-0928-8
- Escobar, G., Vargas, W. & Bischoff, S. 2004. Wind tides in the Río de la Plata estuary: meteorological conditions. *International Journal of Climatology* 24: 1159-1169.
- Gibson, T. 1992. An observed poleward shift of the Southern Hemisphere Subtropical wind maximum: A greenhouse symptom? *International Journal of Climatology* 12: 637-640.
- Isla, F.I., Cortizo, L.C. & Turno Orellano, H. A. 2001. Dinámica y Evolución de las Barreras Medanosas, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 2(1): 73-83.
- Kokot, R.R. 1997. Littoral drift, evolution and management in Punta Médanos, Argentina. *Journal of Coastal Research* 13(1): 192-197.
- Kokot, R.R. 2010. Espigas indicadoras de proveniencia de olas en la costa Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67, 1,19-26.
- López R. 2009. Geología y dinámica costera del Cabo San Antonio, Provincia de Buenos Aires. Tesis doctoral, UBA, FCEyN, Dept. Cs. Geológicas.
- López, R.A. & Marcomini S.C. 2011. *Problemática de los Ambientes Costeros, Sur de Brasil, Uruguay y Argentina*, Primera edición, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 211 pp.
- López, R.A. & Marcomini S.C. 2004. Monitoring the Foredune Restoration by Fences at Buenos Aires Coast. *Journal of Coastal Research* SI 39: 955-958 ICS 2004 (Proceedings) Brazil.
- Lanfredi, N., Pousa, J.L. & D'Onofrio, E.E. 1998. Sea level rise and related potential hazards on the Argentine coast. *Journal of Coastal Research* 14(1): 47-60.
- Marcomini S.C. & López, R.A. 2006. Geomorfología costera y explotación de arena de playa en la provincia de Buenos Aires y sus consecuencias ambientales. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 7(2): 61-71.
- Meccia, V.L., Simionato, C.G., Fiore, M.M., D'Onofrio, E.E. & Dragani, W.C. 2009. Sea surface height variability in the Río de la Plata estuary from synoptic to inter-annual scales: results of numerical simulations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 85(2): 327-343, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2009.08.024>.
- Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V.R., Codignotto, J.O., Hay, J.E., McLean, R.F. Ragoonaden S. & Woodroffe, C.D. 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, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 315-356.
- SHN, 1999. Río de la Plata Exterior. *Nautical Chart H113*, 2da. ed., Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires.
- SHN, 2014. Tablas de Marea. Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires.
- Speroni, J.O., Dragani, W.C., Mazio, C.A. & Manganiello, N.H. 1999. Observaciones costeras en Pinamar, Pcia. de Buenos Aires. Descripción del ambiente litoral. SHN, Dpto. Oceanografía, Inf. Téc. N° 108/99, 15 pp.
- Young, I.R., Zieger, S. & Babanin, A.B. 2011. Global Trends in Wind Speed and Wave Height. *Science*, 332: 451-455.

Recibido: 4-VIII-2014

Aceptado: 9-X-2014