

Las Sudestadas del sudeste y del sur en la provincia de Buenos Aires, Argentina y el aumento antropogénico previsto del nivel del mar

Federico Isla*
Bárbara Prario**
Reinaldo Maenza***
German Bertola*
Luis Cortizo°
Salvador Lamarchina***

Resumen

La costa marina de la provincia de Buenos Aires se ve afectada a lo largo del año por tormentas de escala sinóptica. A la costa este y sudeste llegan olas generadas por tormentas extratropicales provenientes del sudeste, desde el Atlántico Sur. La costa sur, en cambio, posee un *fetch* más restringido pero a la vez el rango de mareas aumenta a 3 m hacia el embahamiento de Bahía Blanca. En los últimos años, esta costa sur también ha sido objeto de recurrente oleaje episódico originado por vientos del sur. El objetivo del trabajo es discriminar los efectos y la incidencia espacial de ambos tipos de tormentas. De los registros analizados provenientes de estadísticas de olas y registros de marea se lograron discriminar estos impactos. Estos efectos están causando aceleraciones del ritmo de erosión costera de consideración que se incrementarán dadas las expectativas de aumento antropogénico del nivel del mar manifestadas por el Panel Internacional sobre el Cambio Climático (IPCC).

Palabras clave: Tormenta sudestada, Erosión costera, Aumento nivel del mar, Buenos Aires, Argentina

* Investigador CONICET, Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (UNMDP-CIC), Funes 3350, Mar del Plata 7600, fisla@mdp.edu.ar; gbertola@mdp.edu.ar

** Investigadora, Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa, Departamento de oceanografía, Estación de Observaciones Costeras-Mar del Plata (EOC-MdP) barbaraprario@gmail.com

*** Becario CONICET, Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (UNMDP-CIC), maenza.r@gmail.com; salvador.lamarchina@hotmail.com.ar

° Profesional de apoyo CIC, Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (UNMDP-CIC), lcortiz@mdp.edu.ar

Southeastern and southern Sudestadas in the province of Buenos Aires, Argentina and predicted anthropogenic sea level rise

Abstract

The sea coast of the province of Buenos Aires is affected throughout the year by synoptic scale storms. Waves generated by extra-tropical storm reach the east and southeast coast from the southeast, i.e. from the South Atlantic. The southern coast, on the other hand, has a more restricted fetch, but at the same time, the tidal range increases towards Bahía Blanca embayment. In recent years, this southern coast has also been subject to recurrent and episodic swells caused by southerly winds. The objective of this work is to discriminate the effects and the spatial incidence of both types of storms. Having analysed records from wave statistics and tide registers, we were able to identify these impacts. These effects are causing significant accelerations in the rate of coastal erosion, which will increase given the expectations of anthropogenic sea-level rise expressed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Keywords: Southeast blow (sudestada); Coastal erosion; Sea-level rise; Buenos Aires; Argentina.

Introducción

Las tormentas extra-tropicales son fenómenos meteorológicos que castigan energética y episódicamente la provincia de Buenos Aires. Su origen es similar a las “Nordestadas” (*Notheasterns*) que castigan regularmente la costa este de Estados Unidos (Dolan, Hayden y Felder, 1979). Estas mismas tormentas extra-tropicales afectan la plataforma continental menos profunda causando los bancos alineados oblicuos que se han comparado entre ambos hemisferios (Swift, Parker, Lanfredi, Perillo y Figge, 1978).

Las tormentas extra-tropicales provenientes del sudeste generan intenso oleaje que afecta las costas de Argentina, Uruguay y sur de Brasil (Salcedo-Castro, Pillar da Silva, de Camargo, Marone y Sepúlveda, 2018). En la provincia de Buenos Aires se hacen notar con mayor energía en donde la plataforma continental es más angosta que se da en las inmediaciones de Mar del Plata (Fig. 1a). De acuerdo a datos del mareógrafo de esta localidad para la última década se ha calculado un aumento en la duración, frecuencia y altura de las tormentas (Fiore, D’Onofrio, Grismeyer y Mediavilla, 2009). Esto significa un aumento en la recurrencia de una tormenta cada dos años, y resulta muy importante a efecto de evaluar el riesgo de estos impactos en construcciones balnearias (además de carpas, sombrillas y otras instalaciones de seguridad en playas), como en las construcciones de privados (principalmente en algunas localidades del partido de la Costa, provincia de Buenos Aires).

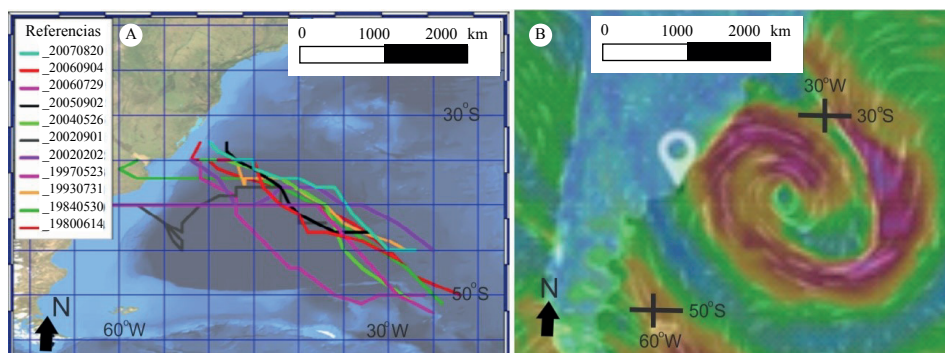


Figura 1. 1a. Incidencia de tormentas del Atlántico Sur. Fuente: modificado de Machado et al. (2010). Figura 1b. Incidencia de la tormenta del 13 septiembre de 2016 que según modelo pronosticaba olas de mar afuera de 11 m de altura. Fuente: elaboración propia sobre datos de windy.com.

El término “Sudestada” depende entonces del sector donde las olas inciden perpendicularmente a la línea costera, y esto depende de dónde se da el evento: “Sudestada en el Río de La Plata”, “Sudestada en Mar del Plata” (Isla, Witkin, Bertola y Farenga, 1994; Martin, Prario y Dragani, 2020; Schnack, Pousa e Isla (1997)) o Sudestada en la costa sur de Buenos Aires. No obstante, se deben distinguir aquellas originadas

en el Océano Atlántico Sur, de aquellas originadas por la persistencia de vientos con componente del S en la plataforma continental argentina. Tanto una como otro tipo de evento episódico originan procesos de erosión que tienen diferentes efectos en ciertos sectores de la costa bonaerense y Norpatagónica.

El objetivo del presente trabajo es distinguir los dos tipos de sudestadas planteados a través de registros de marea y de olas medidos en Mar del Plata (38°S, 57° 31' O) a partir del año 2013. También se analizan algunos efectos que incentivan estos procesos episódicos y otros asociados. Estos procesos necesitan ser relacionados por los tomadores de decisión con relación al aumento pronosticado del nivel del mar, y procesos asociados.

Área de estudio

La costa entre Mar del Plata y Claromecó (Tres Arroyos; 38° 51'S, 60° 33' O) se extiende en sentido este-oeste. La recurrencia de olas máximas en Mar del Plata se ha calculado en 7,21 m cada 50 años (Caviglia y Pousa, 1997). Las mareas aumentan desde un régimen micromareal con desigualdades diurnas (0.6-1 m) en Mar del Plata a mareas de 1,5 m y predominantemente semidiurno en Claromecó. Los datos más recientes de la marea de Mar del Plata -medidos en la playa Bristol-, indican que la altura media es de 0,9 m; con un 37,7% superiores a 1 m; sólo un 0,6 % las alturas superan los 3 m (Prario y Dragani 2019). El oleaje más frecuente proviene del este-sudeste; las olas mayores provienen de los cuadrantes este y sudeste. En cambio, las mediciones logradas entre 1967 y 1968 en Punta Mogotes lograron captar las grandes olas provenientes del sur-sudeste (Sunrise, 1971; Isla, 2010). Por lo tanto, debe considerarse que la estadística de olas va a diferir entre estimaciones logradas en un cabo (Sunrise, 1971) y las medidas en una bahía (Bristol, Prario y Dragani, 2019) (Fig. 2a).

La deriva litoral ha sido evaluada repetidamente en Mar del Plata y se considera superior a 100.000 m³/año y hacia el norte (Isla, 2014). La deriva litoral en Claromecó se considera hacia el este originada por los vientos persistentes del oeste. Las precipitaciones aumentan de oeste a este, con valores de 887 mm en Claromecó (Carbone, Piccolo y Perillo, 2003) a casi 1000 mm en Mar del Plata. La temperatura media del aire de Mar del Plata es de 14,6°C (variaciones promedio de 8 a 20°C) mientras que en Tres Arroyos es de 14°C (Carbone et al., 2003).

Los vientos de Mar del Plata son de todas direcciones con velocidades entre 4 y 9 m/seg (Lutejin, 2013) aunque la estación del aeropuerto ha tenido significativas variaciones debido a cambios en el ambiente (Isla y Pérez, 1998). Los vientos de la estación Tres Arroyos son predominantemente del norte y noroeste (Carbone et al., 2003); para las playas de Claromecó y Dunamar están protegidos por las dunas y por lo tanto las playas tienen vientos dominantes del cuadrante oeste. No obstante, cabe destacar cierta

estacionalidad en la dirección del viento, como producto del corrimiento latitudinal del Anticiclón Semipermanente del Atlántico Sur, el cual se desplaza durante el invierno hacia el Ecuador, y durante el verano hacia el sur de acuerdo con el ciclo estacional de radiación solar. Además, la variabilidad a lo largo del año se ve modulada por efectos locales típicos de zonas costeras, tales como la brisa, tanto continental como marítima. Como resultado se observa un predominio de vientos con componente oeste durante el invierno, cuando el Anticiclón se desplaza hacia el Ecuador, mientras que durante el semestre cálido se observa una mayor frecuencia de viento con componente este debido al incremento en la ocurrencia de la brisa marina.

La Barrera Austral va creciendo en ancho hacia el oeste hasta un máximo de 3,5 km en el municipio de Tres Arroyos. Los acantilados más altos (superiores a 20 m) están en Barranca de los Lobos mientras que hacia el oeste no sobrepasan los 6 m. Por otra parte, en la Estación Permanente de Estudios Ambientales frente a Miramar se han detectado florecimientos de diatomeas, dinoflagelados y algas en relación con situaciones oceánicas diferentes (Ruiz, Lutz, Segura, Berghof y Negri, 2020) (Fig. 2a y 2b).

Métodos

Se realizaron 6 delimitaciones de la línea de ribera de la Ensenada de Mogotes entre los años 2011 y 2016. En bajamar se recorrió la playa desde Los Acantilados en el sur hasta Punta Cantera en el norte con un *GPS Ensign* que tomaba la posición cada 2 minutos a paso de hombre. Se han recabado datos diarios de ola de Mar del Plata y horarios de un olígrafo instalado en el Puerto de Quequén (Fig. 2).

Existen otros métodos para aproximar el clima de olas en la provincia de Buenos Aires que se basan en bases de datos globales (Algera, Burger, Hartog y de Rijke, 2004; Cáceres y Castellano, 2012) aunque su conversión a olas de rompiente pueden dar lugar a errores mayores a los de mediciones directas.

Resultados

Sudestadas del sur

Cuando el viento del sur persiste más de 10 horas, las olas crecen al sur de la provincia de Buenos Aires (Fig. 2a). Estas sudestadas generan significativos problemas de erosión como los ocurridos en setiembre de 2019. El mareógrafo de la Estación de Observaciones Costeras-Mar del Plata (EOC-MdP) registró que la marea fue creciendo significativamente aunque las olas locales en Mar del Plata no superaron los 2 m de altura (Fig. 3a y 3b).

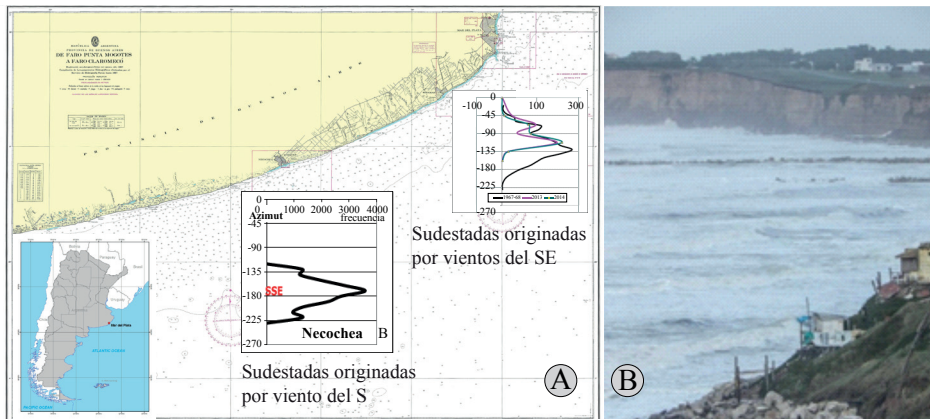


Figura 2. 2a). En la provincia de Buenos Aires se miden olas en los puertos de Mar del Plata y Quequén. Los datos de Mar del Plata comprenden estadísticas de olas medidas en Punta Mogotes (1967-68) y Playa Bristol (2013-2021). En el puerto de Quequén el olígrafo se instaló frente a la escollera sur. Fuente: elaboración propia sobre la base de cartografía del Servicio de Hidrografía Naval. 2b). Construcciones privadas y de concesiones balnearias en el sur de Mar del Plata (tormenta de 2016). Fuente: colección personal del autor

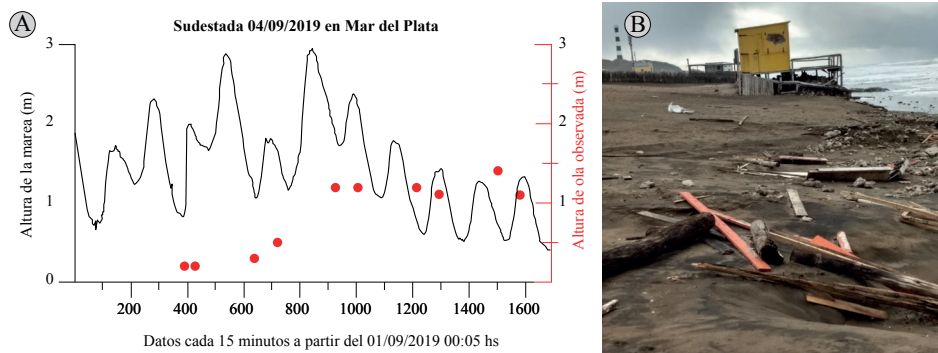


Figura 3. 3a). Registro de sudestada y estimación de altura de ola en el mareógrafo de Mar del Plata para el 4 de setiembre de 2019. Fuente: elaboración propia. 3b). Erosión en Claromecó luego del 4 de setiembre de 2019. Fuente: colección personal del autor

La sudestada del 20 de febrero de 2021 se debió a persistentes vientos del sur-suroeste (Fig. 4a y 4b) medidos en Pehuen C6 registrados por la estación meteorológica instalada por la Universidad Nacional del Sur. Los mismos originaron que la marea meteorológica superara el murall6n de la localidad vecina de Monte Hermoso.



Figura 4. 4a). Ciclón ubicado al sudeste de la provincia de Buenos Aires que originó persistentes vientos del sur durante el 20 de febrero de 2021. Fuente: elaboración propia sobre datos de windy.com. 4b). Erosión en Pehuén Có luego del 20 de febrero de 2021. Fuente: puntonoticias.com.ar

Sudestadas del sudeste

Durante las tormentas con viento predominante del sudeste en Mar del Plata se registra un aumento de los valores de la marea meteorológica en conjunción con aumentos de la altura de las olas. La mayor energía se produce cuando las olas descargan su energía durante la pleamar (Fig. 5a). La mayor energía se descarga en la costa orientada hacia el cuadrante sudeste. Como puede observarse en el evento de tormenta de 1970, el cual destruyó las instalaciones del Automóvil Club Argentino en el Barrio Alfar. Durante la sudestada del 20 de julio de 2020 se midieron olas de 2 m de altura, aunque las máximas no pudieron estimarse porque peligraba la estructura donde se emplaza la EOC-MdP (Fig. 5b). El 17 de marzo de 2021, una Sudestada excepcional afectó diferentes localidades del partido de la Costa incluyendo las obras de defensa dispuestas para evitar impactos (Fig. 5c).

Las sudestadas que se generan más allá de la plataforma continental son objeto de refracción de olas cuando comienzan a deformarse en su trayectoria a medida que atraviesan áreas poco profundas. Esto origina concentración de energía en determinadas playas del partido de Mar Chiquita (Isla, 1997), Villa Gesell y Pinamar (Isla, Bertola, Farenga y Cortizo, 2001) provocadas por los bancos alineados oblicuos a la costa entre 10 y 20 m de profundidad frente a estos partidos. Cuanto menor es la elevación de la costa, mayor es la penetración a través de abanicos de sobrelavados (Morton y Sallenger, 2003), como se ha registrado en las depresiones intermedanasas entre Mar Chiquita y Villa Gesell (Isla et al., 1998). Estos procesos resultan mucho más evidentes en las salientes rocosas de la costa atlántica uruguaya (Gómez Pivel, 2006).

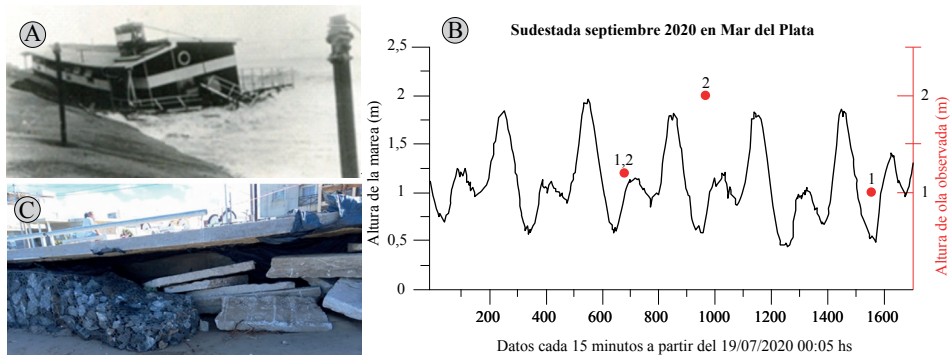


Figura 5. 5a). Imagen del año 1970 previa a la destrucción del Balneario del Automóvil Club Argentino, Barrio Alfar, General Pueyrredón. Fuente: colección personal del autor. 5b). Sudestada del mes de julio de 2020 en Mar del Plata con olas que llegaron a los 2 m (puntos). Fuente: elaboración propia. 5c). Hundimiento de los gaviones del partido de la Costa luego de la sudestada del 17 de marzo de 2021. Fuente: colección personal del autor

Registro de olas

Desde 2013 la EOC-MdP ha efectuado mediciones de marea y de las olas (altura significativa, periodo y dirección de proveniencia), a las 9 y 15 horas, en la playa Bristol de Mar del Plata. Durante el intervalo 2013-2021 la altura de ola ha disminuido estadísticamente mientras que los periodos están aumentando levemente (Fig. 6).

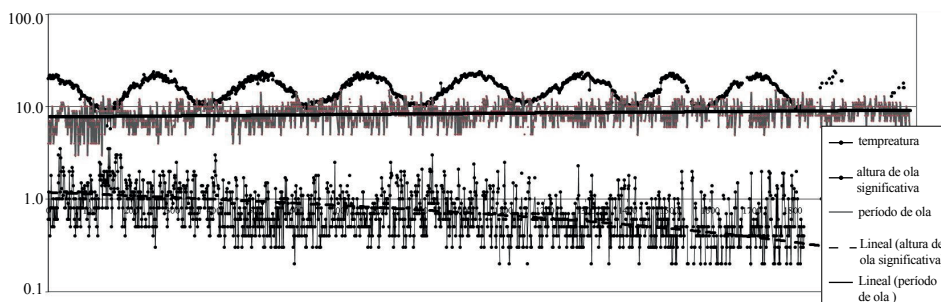


Figura 6. Registros diarios matutinos de temperatura del agua y olas (altura significativa y periodo) en la EOC-MdP (intervalo 2013-2021, las escalas de altura son logarítmicas). Fuente: elaboración propia.

La proveniencia bimodal de olas en la Punta Mogotes (Fig. 2a) puede inducir cambios significativos en las playas vecinas a esta punta. Gran parte de estas variaciones obedecen al efecto de refracción inducida por el Banco Pescadores que provocan un efecto tómbolo en el sector del Faro de Punta Mogotes (Fig. 7 A). Entre

2011 y 2016 la línea de ribera de esta zona tuvo variaciones significativas que incidieron en el perfil de las playas y en su configuración en planta (Fig. 7B-C).

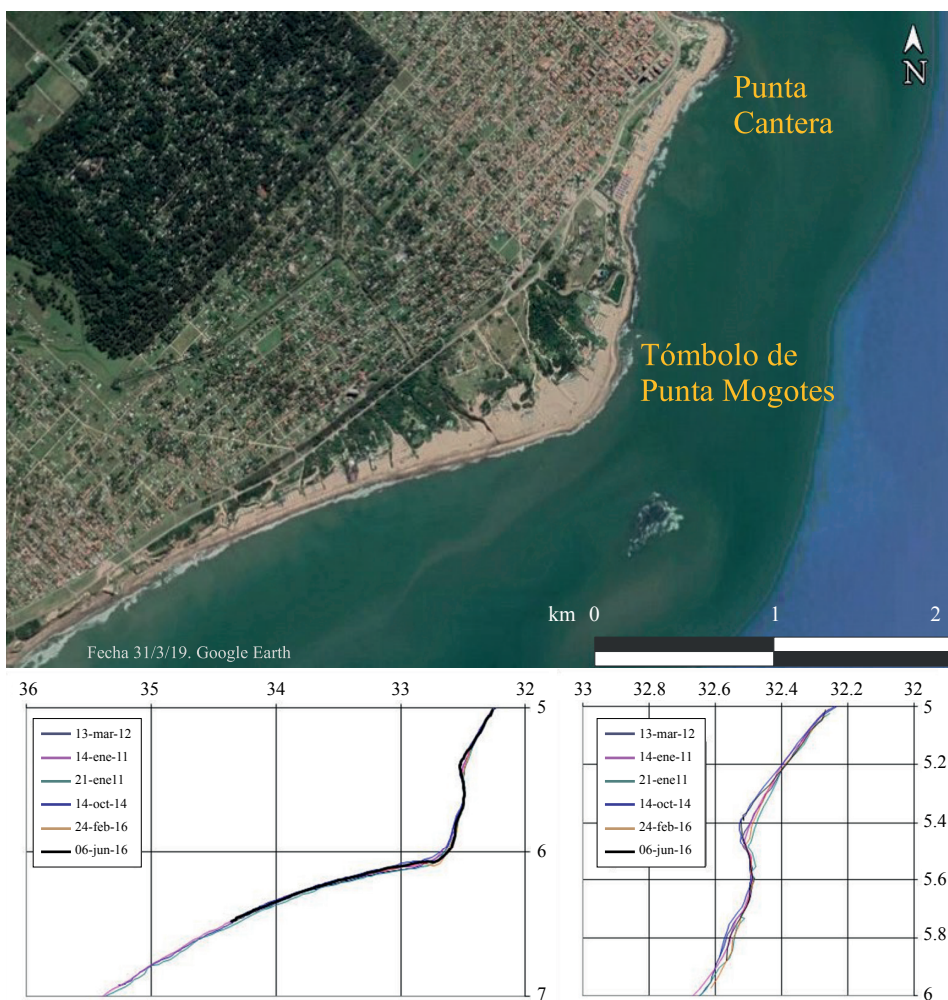


Figura 7. 7a). Tómbolo de Punta Mogotes al sur de Punta Cantera. Fuente: modificado sobre la base de Google Earth. 7b). Variaciones de la línea de costa de la Ensenada Mogotes (escalas en minutos y decimas de minuto). Fuente: elaboración propia. 7c). Variaciones de la línea de costa de la playa del Faro de Punta Mogotes. Fuente: elaboración propia.

Discusión

La importancia de la recurrencia en intervalos cortos

Entre el 24 y 27 de junio de 1994 hubo dos impactos de tormentas del sudeste que ocurrieron en menos de 3 días (Schnack, Pousa e Isla, 1998) (Fig. 8b). Los registros y sus impactos indican que la playa, tanto en sectores emergidos como sumergidos, no llegó a reponerse de los efectos de la primera tormenta por lo que la conjunción de eventos potenció sus efectos erosivos. Este tipo de fenómenos es también conocido en la costa este de Estados Unidos para referirse a las tormentas del nordeste (Lee, Nichols y Birkemeier, 1998).

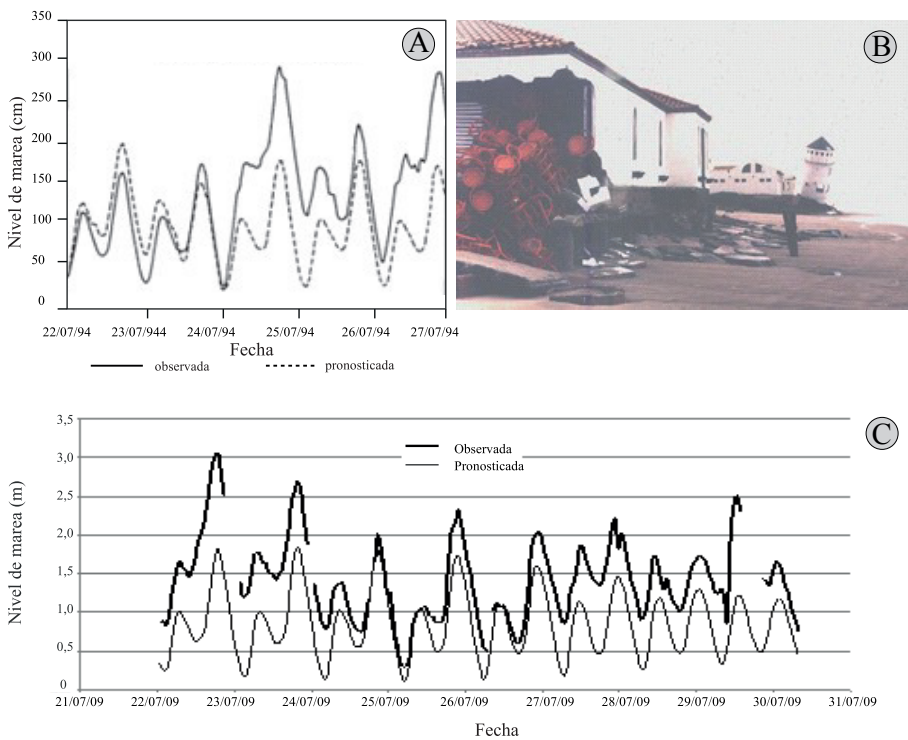


Figura 8. 8a). Registro de mareas en Mar del Plata del intervalo 22-27 de junio de 1994. Fuente: modificado de Isla et al. (2001). 8b). Imágenes previas a la destrucción del Balneario El Faro, Pinamar, afectado por la tormenta de junio de 1994. Fuente: modificado de Schnack et al. (1998). 8c). Mareas meteorológicas consecutivas en el intervalo 22-30 de julio de 2009. Fuente: elaboración propia.

La deriva litoral inducida por tormentas

La acumulación de arena inducida por los rompeolas desvinculados de Los Acantilados, sur de Mar del Plata (Fig. 2b) impide el transporte litoral, a pesar de que este transporte de sur a norte era lo que se procuraba mantener. Durante la tormenta del 13 de setiembre de 2016 el nivel del mar permitió que las olas superaran esta acumulación de arena. Hubo entonces algún transporte de arena desde los compartimentos del sur a los inmediatos al norte (Fig. 9a).



Figura 9. 9a). Fotografía del 13 de setiembre de 2016 donde se observa que las olas de tormenta sobrepasaban la acumulación de arena. Fuente: colección personal del autor. 9b). Fotografía del 20 de septiembre. Se restablecieron las condiciones que impiden el transporte de sur a norte (derecha a izquierda). Fuente: colección personal del autor

Tormentas extratropicales en Uruguay, Brasil y Chile

Las tormentas que inducen mareas meteorológicas no son exclusivas de la Argentina. Las mismas tormentas del Atlántico Sur causan erosión con cierto retardo en Uruguay (Gómez Pivel, 2006) y sur de Brasil (Machado, Calliari, Melo y Klein, 2010; Parise, Calliari y Krusche, 2009; Zambroni Maia, Calliari y Nicolodi, 2019), lo mismo está ocurriendo con marejadas provenientes del oeste-noroeste en el centro de la costa pacífica chilena (Martínez et al., 2018). En Brasil se han documentado eventos máximos en el intervalo 1997-2008 (Parise et al., 2009; Zambroni Maia et al., 2019). Las tormentas han aumentado en Valparaíso entre 1958 y 2015 (Martínez et al., 2018).

De modo similar a lo que ocurre en Buenos Aires, la playa de Cassino (Rio Grande do Sul) tiene mayor erosión cuando ocurren eventos máximos con frecuencia y se recupera con intervalos prolongados de buen tiempo. La mayor erosión no depende directamente de la magnitud y trayectoria de los eventos de alta energía sino también a las características del perfil de playa previas a estos eventos (Parise et al., 2009).

La reversión del nivel del mar

El nivel del mar en Buenos Aires ha descendido al menos 2 m en los últimos 6.000 años (Isla, 1998) (Fig. 10a). A partir de registros de 1993 se ha estimado en los registros de marea de todo el mundo un aumento antropogénico del nivel del mar. Las expectativas mundiales de acuerdo a los diferentes escenarios previstos por el IPCC consideran aumentos mínimos de 0,43 m y máximos de 0,86 m para el año 2100, de acuerdo con los distintos escenarios de ascenso térmico (Oppenheimer et al., 2019) (Fig. 10b). Por otro lado, a este aumento se suma el aumento del nivel inducido por la acción del oleaje (*wave setup*; Melet et al., 2020).

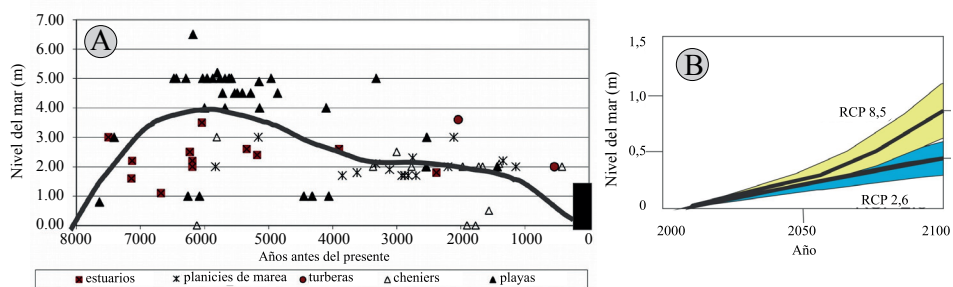


Figura 10. 10a). Nivel del mar en los últimos 6.000 años. Fuente: modificado de Isla (1998). 10b). Aumento antropogénico del nivel del mar a partir de 1993. Fuente: modificado de Oppenheimer et al. (2019).

A pesar de las tendencias globales, tendencias regionales pueden ocurrir y deben ser tenidas en cuenta (White et al., 2014). Los ritmos de aceleración de este aumento moderno del nivel del mar han sido objeto de debates metodológicos respecto al efecto de procesos regionales diferentes (Ezer, Haigh y Woodworth, 2016) y eventuales desaceleraciones del aumento del nivel del mar (Houston y Dean, 2011; Baart, Van Koningsveld y Stive, 2012). Por ejemplo, los efectos episódicos positivos y negativos en la boca del Río de la Plata tienen diferentes tendencias en los últimos años (D’Onofrio, Fiore y Pousa, 2008). Todos estos efectos deben ser tenidos en cuenta en la planificación de obras duras, el desarrollo de loteos y la planificación de tomas de agua y diseño de emisarios cloacales.

Si bien las tendencias del nivel del mar deben basarse en registros largos como los de Mar del Plata o Puerto Quequén (Lanfredi, Pousa y D’Onofrio, 1998), existen sectores de la costa bonaerense (San Clemente, Villa Gesell, Pinamar, Claromecó) donde la recurrencia de Sudestadas debe analizarse en relación a modificaciones de la costa, estructuras nuevas o recurrencia de tormentas (Fiore et al., 2009). Estas previsiones se están analizando hace años con relación al replanteo de la estabilidad de las playas, como a la indefectible incidencia de más frecuentes y más intensas tormentas en ciudades costeras (Walsh et al., 2004). Evitando datos que

pueden tener errores como las alturas derivadas de satélites altimétricos o de dispositivos de GPS, se ha propuesto que toda planificación urbana sea apoyada por datos ciertos medidos de por mareógrafos contrastados por el *Permanent Service of Mea Sea Level* (PSMSL; Holgate et al., 2013; Parker y Ollier, 2016), o por lo menos durante ventanas de 50 años (Boon y Mitchell, 2015).

Manejo costero

La recurrencia de tormentas sudestadas es un parámetro fundamental a tener en cuenta para una ley de manejo costero integrado en la provincia de Buenos Aires. El desarrollo urbano requiere establecer restricciones para la aprobación o ampliación de loteos con destino al turismo “sol y playa”. El Decreto Ley 8912 pautó restricciones de ocupación (100 m) para la ampliación de loteos. El Código de Aguas 12257/99 establece criterios para la fijación de la línea de ribera (Boscarol, Fulquet y Preliasco, 2016). El Decreto 3202/06 es optativo para las municipalidades que adhieran y considera la fijación áreas de reserva. En la práctica, algunas de las restricciones de distancia o usos de suelo no se cumplen. Por otro lado, la aceleración del ritmo de erosión costera inducido por recurrencia de tormentas o por ascenso antropogénico del nivel del mar no han sido considerados aún en la legislación vigente.

Conclusiones

Las tormentas con vientos dominantes desde el sur son las principales responsables de la erosión episódica en la costa sur de la Provincia de Buenos Aires: Necochea, Claromecó, Monte Hermoso y Pehuen Có.

Desde Mar del Plata hacia al norte, estos efectos obedecen a tormentas generadas desde el SE relacionadas a sistemas de presión localizados en el Atlántico Sudoccidental. Estas sudestadas causan serios efectos en General Pueyrredón, Mar Chiquita, Villa Gesell, Pinamar y el Partido de la Costa.

Estas tormentas extratropicales provenientes del sudeste no tienen mayor efecto en la costa sur de Buenos Aires. Allí la erosión obedece a la recurrencia de intervalos con viento soplando del sur. Los impactos aumentan cuando el oleaje coincide con intervalos altos de la marea (mareas meteorológicas).

Estos efectos erosivos inducidos por un aumento en la recurrencia y energía de las tormentas oceánicas, y el aumento antropogénico previsto del nivel del mar, deben contemplarse para hacer cumplir distancias precautorias en la autorización de loteos por parte de privados, o concesiones balnearias. Si bien esto está normado no se cumple en la práctica.

Agradecimientos

El presente trabajo es una síntesis de monitoreos topográficos y sedimentológicos en playas a través de diferentes convenios con municipalidades (Partidos de la Costa, Pinamar, Villa Gesell, Mar Chiquita, General Pueyrredón, Necochea, San Cayetano y Tres Arroyos).

Referencias bibliográficas

Algera, A., Burger, B., Hartog, W.M. y de Rijke, Q.C. (2004). *A study on the reconstruction of Los Acantilados Beach*. (Final Report Project group Argentina 2004 of Civil Engineering). Delft University of Technology, Mar del Plata.

Baart, F.; Van Koningsveld, M. y Stive, M. (2012). Trends in sea-level trend analysis. *Journal of Coastal Research* 28(2), 311-315.

Boon, J.D. y Mitchell, M. (2015). Nonlinear change in sea level observed at North American tide stations. *Journal of Coastal Research* 31(6), 1295-1305.

Boscarol, N., Fulquet, G. y Preliasco, S. (2016). *Aportes para una estrategia federal en manejo costero integrado. Estado de la gestión costera en el Litoral Atlántico Argentino*. Argentina: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

Cáceres, R.A. y Castellano, R.D. (2012). *Dinámica litoral en el entorno de la esollera sur del Puerto de Mar del Plata*. En VII Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria, 16 pp.

Carbone, M.E., Piccolo, M.C. y Perillo, G.M.E. (2003). Caracterización climática de la cuenca del Arroyo Claromecó, Argentina. *Papeles de Geografía* 38, 41-60.

Caviglia, F. y Pousa, J. (1997). Estimación de los valores de retorno de la altura de ola en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Pesquisas em Geociências* 24, 1-2, 13-24.

Dolan, R., Hayden, B. y Felder, W. (1979). Shoreline periodicities and linear offshore shoals. *Journal of Geology*, 87, 393-402.

D'Onofrio, E.E.; Fiore, M.M.E. y Pousa, J.L. (2008). Changes in the regime of storm surges at Buenos Aires, Argentina. *Journal of Coastal Research*, 24, 260-265.

Ezer, T., Haigh, I.D. y Woodworth, P.L. (2016). Nonlinear sea-level trends and long-term variability on western European coasts. *Journal of Coastal Research*, 32(4), 744-755.

Fiore, M., D'Onofrio, E.E., Grismeyer, W.H. y Mediavilla, D.G. (2009). El ascenso del nivel del mar en la costa de Provincia de Buenos Aires. *CienciaHoy*, 18, 106, 50-57.

Fiore, M., D'Onofrio, E.E., Pousa, J.L., Schnack, E.J. y Bértola, G.R. (2009). Storm surge and coastal impacts at Mar del Plata, Argentina. *Continental Shelf Research* 29, 1643-1649.

Gómez Pivel, M.A. (2006). *Geomorfología y procesos erosivos en la costa atlántica uruguaya*. En Menafrá, R., Rodríguez-Gallego, L., Scarabino, F., Conde, L. (eds). Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya (35-43). Montevideo, Uruguay: Vida silvestre.

Holgate, S.J., Matthews, A., Woodworth, P.L., Rickards, L.J., Tamisiea, M.E., Bradshaw, E., Foden, P.R., Gordon, K.M., Jevrejeva, S. y Pugh, J. (2013). New data systems and products at the Permanent Service for Mean Sea Level. *Journal of Coastal Research* 29(3), 493-504.

Houston, J.R. y Dean, R.G. (2011). Sea-level acceleration based on U.S. tide gauges and extensions of previous global-gauge analyses. *Journal of Coastal Research*, 27(3), 409-417.

Isla, F.I. (1997). Seasonal behaviour of Mar Chiquita tidal inlet in relation to adjacent beaches, Argentina. *Journal of Coastal Research* 13, 4, 1221-1232.

Isla, F.I. (1998). Holocene coastal evolution of Buenos Aires. *Quaternary of South America & Antarctic Peninsula*, A. A. Balkema, 11, 297-321.

Isla, F.I. (2010). Natural and artificial reefs at Mar del Plata, Argentina. *Journal of Integrated Coastal Management* 10, 1, 81-93.

Isla, F.I. (2014). Variaciones espaciales y temporales de la deriva litoral, SE de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Geográfica del Sur*, 5, 8, 24-41.

Isla, F.I., Bertola, G.R., Farenga, M.O. y Cortizo, L.C. (2001). Morfodinámica y balance sedimentario de las playas del Partido de Pinamar (1995-1999). Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 54, 2, 150-160.

Isla, F.I. y Pérez, C. (1998). Efectos de la capa urbano-canópea en los registros meteorológicos de Camet, Mar del Plata. *5as. Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses*, CIC, Mar del Plata, 2, 59-60

Isla, F.I., Witkin, G., Bertola, G.R. y Farenga, M.O. (1994). Variaciones morfológicas decenales (1983-1993) de las playas de Mar del Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 49, 3-4, 55-70.

Isla, F.I., Bertola, G.R., Farenga, M.O. y Cortizo, L.C. (2001). Morfodinámica y balance sedimentario de las playas del Partido de Pinamar (1995-1999), Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 54, 2, 150-160.

Lanfredi, N., Pousa, J. y D'Onofrio, E. (1998). Sea-level rise and related potential hazards on the Argentine coast. *Journal of Coastal Research*, 14, 1, 47-60.

Lee, G., Nichols, R.K. y Birkemeier, W.A. (1998). Storm-driven variability of the beach-nearshore profile at Duck, North Carolina. *Marine Geology* 148, 179-201.

Lutejin, J.M. (2013). *Study on sedimentation and effects of mitigating measures at port of Mar del Plata, Argentina*. (Unpubl. Ms. S. thesis). Delft University of Technology, The Netherlands-

Machado, A. A., Calliari, L.J., Melo, E. y Klein, A.H.F. (2010). Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in southern Brazil and their relation to erosion episodes. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(2): 277-286.

Martin, P., Prario, B. y Dragani, W. (2020). *Tormentas severas registradas en la ciudad de Mar del Plata: Impactos en aguas costeras*. (Informe técnico 01/20). Buenos Aires: Depto. Oceanografía, SHN

Martínez, C., Contreras-López, M., Winkler, P., Hidalgo, H., Godoy, E. y Agredano, R. (2018). Coastal erosion in central Chile: A new hazard? *Ocean & Coastal Management* 156, 141-155.

Melet, A., Almar, R., Hemer, M., Le Cozannet, G., Meyssignac, B. y Ruggiero, P. (2020). Contribution of wave setup to projected coastal sea level changes. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125. Doi: <https://doi.org/10.1029/2020JC016078>

Morton, R.A. y Sallenger, A. (2003). Morphological impacts of extreme storms on sandy beaches and barriers. *Journal of Coastal Research* 15, 3, 560-573.

Oppenheimer, M., Glavovic, B., Hinkel, J., Van der Wal, R. Magnan, A.K., Abd-Elgawad, A, Cai, R., Cifuentes-Jara, M., Deconto, R.M., Ghosh, T., Hay, J., Isla, F., Marzeion, B., Meyssignac, B. y Sebesvari, Z. (2019). *Chapter 4: Sea level rise and implications for low lying islands, coasts and communities*. En SROCC Report, International Panel for the Climatic Change IPCC, 31 pp.

Parise, C.K., Calliari, L.J. y Krusche, N. (2009). Extreme storm surges in the South of Brazil: Atmospheric conditions and shore erosion. *Brazilian Journal of Oceanography* 57(3):175-188.

Parker, A. y Ollier, C.D. (2016). Coastal planning should be based on proven sea level data. *Ocean & Coastal Management* 124, 1-9.

Prario, B. y Dragani, W. (2019). *Estimación del clima de olas en dos sitios costeros de Mar del Plata para el aprovechamiento de energía undimotriz*. (Informe Técnico SHN N° 01/19-DC). Buenos Aires

Ruiz, M.G., Lutz, V.A., Segura, V., Berghof, C.F. y Negri, R. (2020). The color of EPEA: Variability in the in situ bio-optical properties in the period 2000-2017. *Marine and Fishery Sciences* 33, 2, 105-225.

Salcedo-Castro, J., Pillar da Silva, N., de Camargo, R., Marone, E. y Sepúlveda, H.H. (2018). Estimation of extreme wave height return periods from short-term interpolation of multi-mission satellite data: application to the South Atlantic. *Ocean Sci.*, 14, 911-921. Doi: <https://doi.org/10.5194/os-14-911-2018>

Schnack, E. J., Pousa, J.L. e Isla, F.I. (1998). Erosive processes on the sandy coastline of Argentina. *Veichtaer Studien zur Angewandten Geographie und Regionalwissenschaft*, Band 20, 133-136.

Schnack, E. J., Pousa, J.L. e Isla, F. I. (1997). Olas, tormentas y playas. *Revista "Museo", Fundación Museo de La Plata "Francisco Pascasio Moreno", FCN, UNLP, La Plata*, 2, 10, 85-90.

Swift, D.J. P., Parker, G., Lanfredi, N., Perillo, G. y Figge, K. (1978). Shoreface-connected sand ridges on American and European shelves: a comparison. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 7, 257-257.

Sunrise Technical Consultants Co. (1971). *Estudio mediante ensayo hidráulico sobre modelo del Puerto de Mar del Plata y sus alrededores*. Harmi, Chou-Ku, Tokio, Japan, 7 volúmenes.

Walsh, K.J.E., Betts, H., Church, J., Pittock, A.B., Mc Innes, K.L., Jackett, D.R. y Mc Dougall,

T.J. (2004). Using sea level rise projections for urban planning in Australia. *Journal of Coastal Research* 20(2), 586-598.

White, N.J., Haigh, I.D., Church, J.A., Koen, T., Watson, C.S., Pritchard, T.R., Watson, P.J., Burgette, R.J., McInnes, K.L., You, Z.J., Zhang, X. y Tregoning, P. (2014). Australian sea levels. Trends, regional variability and influencing factors. *Earth-Science Reviews* 136, 155-174.

Zambroni Maia, N., Calliari, L.J. y Nicolodi, J.L. (2019). *Eventos meteo-oceanográficos extremos e riscos de inundação no litoral sul do Brasil*. En *Saindo da Zona de Conforto: A Interdisciplinaridade das Zonas Costeiras - Tomo VIII da Rede BRASPOR*, Ministerio de Meio Ambiente, Rio Grande, RS, Cap. 22, 326-341.

Fecha de Recepción: 9 de abril de 2021

Fecha de Aceptación: 22 de octubre de 2021