

Variaciones espaciales y temporales de la deriva litoral, SE de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Spatial and temporal variations of the litoral drift, Southeastern Buenos Aires Province, Argentina.

Federico Ignacio Isla
Lic. En Geología, Dr. En RRNN
CONICET-UNMDP
Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario
fisla@mdp.edu.ar

Resumen

El bloqueo de la deriva litoral provocó significativos impactos en las costas de Mar del Plata y Necochea, Buenos Aires, Argentina. En algunos sectores, la construcción de espigones no dio los mismos resultados que tuvieron entre los años sesenta a ochenta. Se especula que la deriva litoral ha disminuido. Hubo varios intentos de estimar este transporte litoral, o al menos la magnitud de las olas y tormentas que son determinantes de ese transporte. La compilación de estimaciones dispersas sobre el tema confirmó que la deriva potencial calculada a partir de datos de ola no se corresponde con la efectiva en relación a la disponibilidad de arena en el sistema litoral. Esta falta de arena ocurre donde se produjo un aumento en la frecuencia de corrientes rips por largo de playa.

Palabras clave: deriva litoral, variaciones temporales, Buenos Aires, Mar del Plata

Abstract

The blocking of the longshore drift has caused significant impacts along the Mar del Plata and Necochea coastline, Buenos Aires, Argentina. In certain sectors, groyne construction is not giving the same results they did in the sixties to eighties. It was speculated that potential longshore drift has diminished. Several attempts have tried to estimate this transport, or at least the magnitude of waves and storms that seem to have a significant role with this transport. A compilation of scattered data about the subject confirms a minimum drift amount of 100,000 m³/year. However, certain issues should be considered. The number of storms per year (locally called "sudestadas") has a significant weight in the northwards coastal transport. As wave statistics is completely dependent on the location where they are measured, wave-based models should be handled with much care. Groyne fields increase the density of rip currents and therefore are responsible for a reduction of the longshore transport. However, there are natural variations of the coastal dynamics and transport that are also explaining morphological changes that occurred during the Holocene.

Keywords: longshore drift, spatial variations, Buenos Aires, Mar del Plata

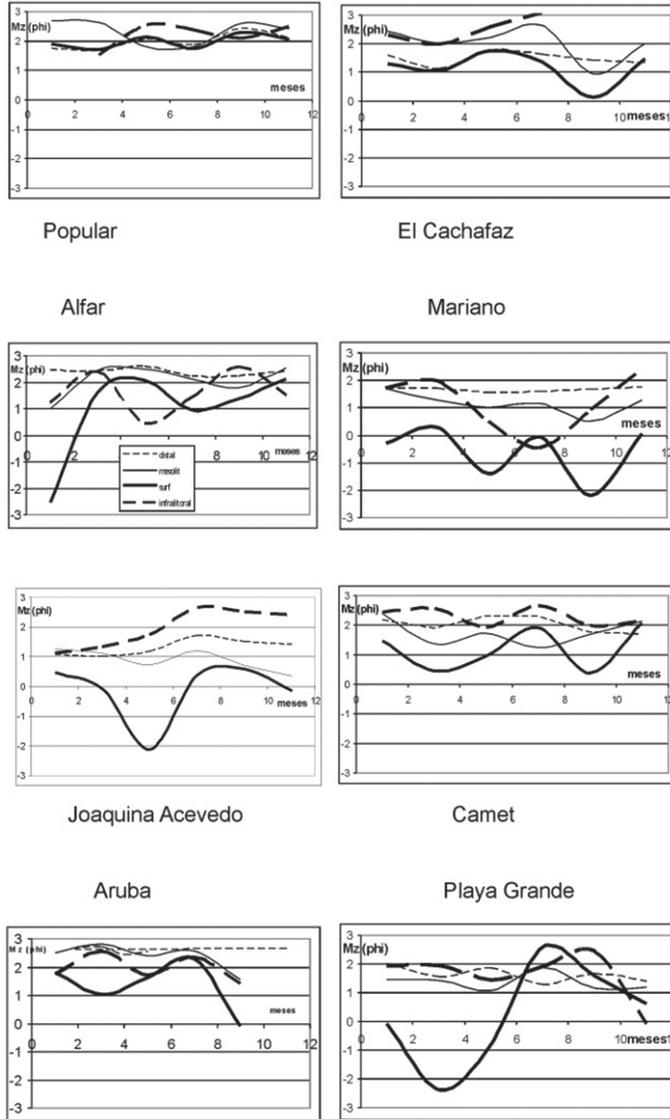


Figura 2: Variaciones estacionales en el tamaño de grano en diferentes playas y zonas de playa. Las playas del tope son artificiales (modificadas por construcciones) mientras que las de abajo son naturales con grandes variaciones en la zona de surf.

Fuente: Elaboración propia.

Los muestreos de Playa Grande fueron anteriores al repoblamiento y modificación de 1998.

Con el tiempo, se pudieron analizar los perjuicios a escala regional, pero también se concluyó empíricamente que la deriva litoral del Sudeste de Buenos Aires está disminuyendo como consecuencia de la

escasez de arena, producto de extracciones históricas pero también por las mismas obras de defensa. Para dilucidar este tema derivado de falta de mediciones históricas y a la vez sistemáticas, se ha compilado en este trabajo la información más precisa o confiable originada por diferentes fuentes. En algunos casos se ha podido estimar el transporte de arena mientras que en otros

sólo se han podido analizar cambios en los mecanismos capaces de transportarla. La mayor parte de estos aportes han sido recopilados de informes que nunca fueron publicados.

2. Métodos

Diferentes métodos se han utilizado para aproximar el valor de la deriva litoral en el SE de Buenos Aires. De la comparación de áreas de la espiga de Mar Chiquita obtenidas a partir de fotografías aéreas (a escalas 1/10.000 a 1/20.000) se han logrado estimar volúmenes acumulados o erosionados. Lamentablemente de algunos vuelos no se ha logrado conocer la fecha de vuelo de modo que los valores de deriva tienen un error derivado de esta imprecisión temporal. Los sondeos ejecutados en el banco de acceso al puerto de Mar del Plata entre 1947 y 1950 fueron llevados a formato raster, en entorno Idrisi y luego superpuestos para estimar zonas de acumulación y erosión. Así se ha logrado una estimación de la deriva litoral que afectaba el acceso al puerto en aquellos días.

La deriva litoral puede también ser aproximada de estadística de olas o de corrientes costeras. La estadística de olas de Mar del Plata corresponde a estimaciones sistemáticas efectuadas entre 1967 y 1968 por la empresa japonesa Sunrise. En cambio la moderna estadística del Puerto de Quequén corresponde a la operación de un ológrafo Interocean S4 que obtuvo mediciones sistemáticas cada 20 minutos entre julio de 2006 y junio de 2007. Este ológrafo está ubicado a unos 400 m del extremo de la escollera más larga del puerto (oeste). Respecto a mediciones de corrientes debemos destacar que aquellas realizadas con flotadores registran corrientes superficiales y en muchos casos la influencia del viento (dependiendo de la profundidad y peso del lastre utilizado). En

cambio, las mediciones con correntómetros usualmente se tomaron considerando diferentes profundidades (Lanfredi, 1973) de modo de poder reconocer los efectos de fricción por el fondo. Los correntógrafos son generalmente posicionados a una profundidad media. En cambio, durante 20 días de 1996, tres correntógrafos (dos Hydroproducts y uno Endeco) operaron a escasa distancia del fondo, con el objeto de estimar las condiciones de operabilidad que tendrá el futuro emisario submarino de Mar del Plata a 11 m de profundidad (Isla y Casanelli 2000).

3. Resultados

Los resultados son una recopilación de informes relacionados al transporte litoral de sedimentos, sobre datos de corrientes y olas que aproximan el transporte potencial en la zona litoral (dentro de la zona de rompiente) o costero (fuera de la zona de rompientes normales), así como de estimaciones recientes en base al bloqueo de la deriva litoral.

3.1 Evolución de la espiga de Mar Chiquita (1885-1908 y 1957-1979)

La batimetría de detalle ejecutada en 1915 por el crucero "Patria" bajo el mando del Capitán Storni incluyó bosquejos de detalle sobre sus variaciones morfológicas naturales entre 1885 y 1908, y la canalización practicada en 1912 (Figura 3). El esquema resume información recabada y dragados ejecutados por la Comisión de Canales y Desagües de la Provincia de Buenos Aires. Como en aquella época hubo frecuentes intervenciones, sólo durante el período 1885-1897 estuvo libre de dragados. En esos 12 años, la espiga creció unos 720,000 m³, considerando un espesor de arena de 4 m (2 m sobre el nivel del mar y 2 m al nivel de la plataforma de abrasión sumergida, Isla 1997). Esto significó una deriva litoral de 60.000 m³/año.

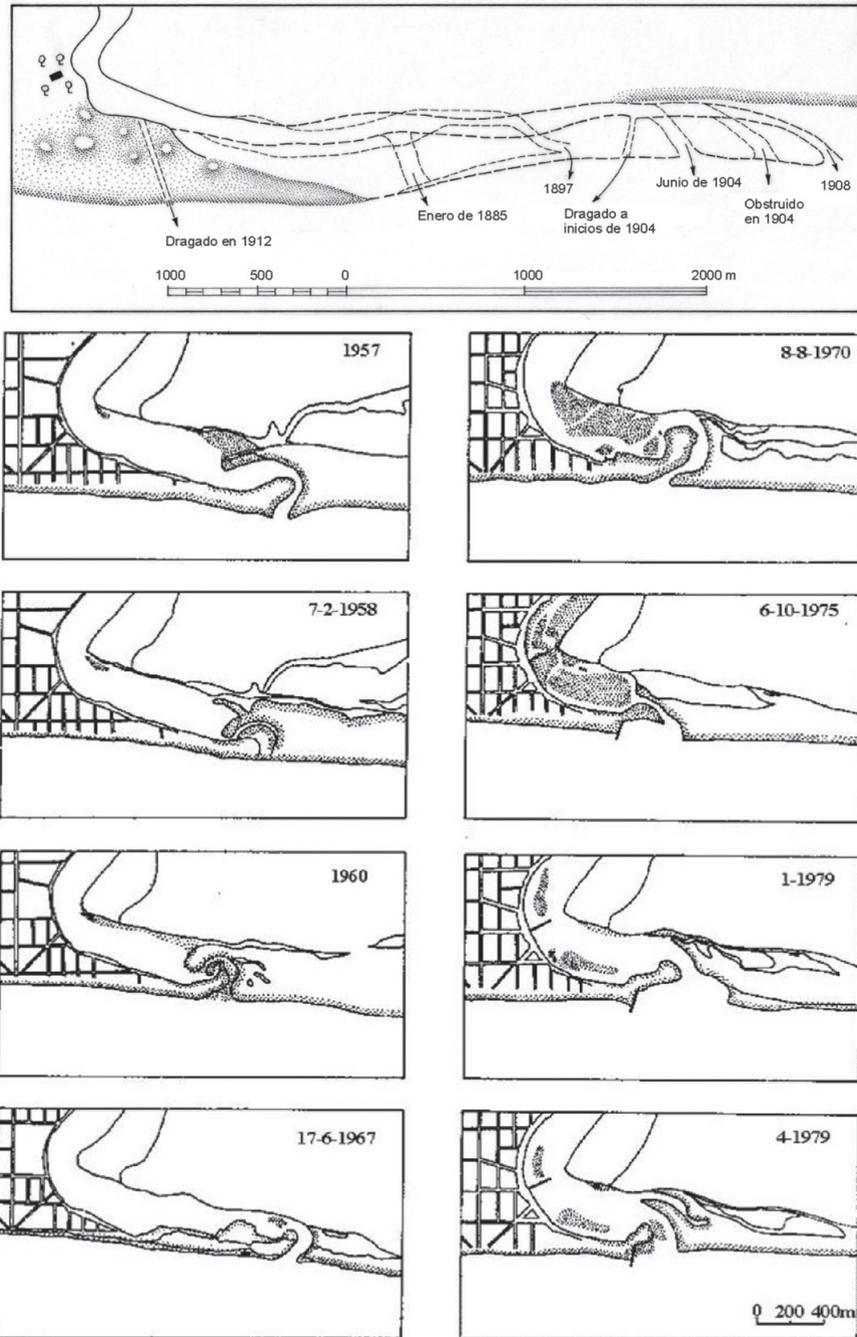


Figura 3: Variaciones de la desembocadura de la laguna entre 1885 y 1912 (modificado de Storni 1916, e Isla 1997).

Fuente: Elaboración propia.

La espiga que bloquea la desembocadura de la laguna Mar Chiquita ha tenido significativos cambios morfológicos en relación a la interacción entre corrientes

de marea, efectos de ola y al caudal de la laguna. Si bien la estabilidad del delta de flujo ha sido atribuida a bajos caudales del canal de descarga (1970, 1975), en

aquellos años la espiga crecía hacia el norte y obstruía parcialmente el flujo y transporte de sedimento entre la laguna y el mar. En 1971 se comenzó a construir un espigón cuyo objetivo principal fue justamente disminuir la deriva litoral hacia la boca (Figura 4). Comparando las áreas de la espiga y asumiendo una cota máxima de +2 m (cota de los bermas de tormentas en la región), se ha podido tener una idea de los volúmenes

acumulados y/o erosionados. Considerando los intervalos entre fotografías sucesivas se pudo estimar la magnitud de la deriva litoral (Tabla 1). Estos datos son estimativos de la magnitud ya que la boca de la laguna tiene un comportamiento estacional migrando hacia el norte en invierno y primavera, pero retrocediendo y reorientándose hacia el sur durante los meses de verano cuando predominan los vientos del norte (Isla 1997).

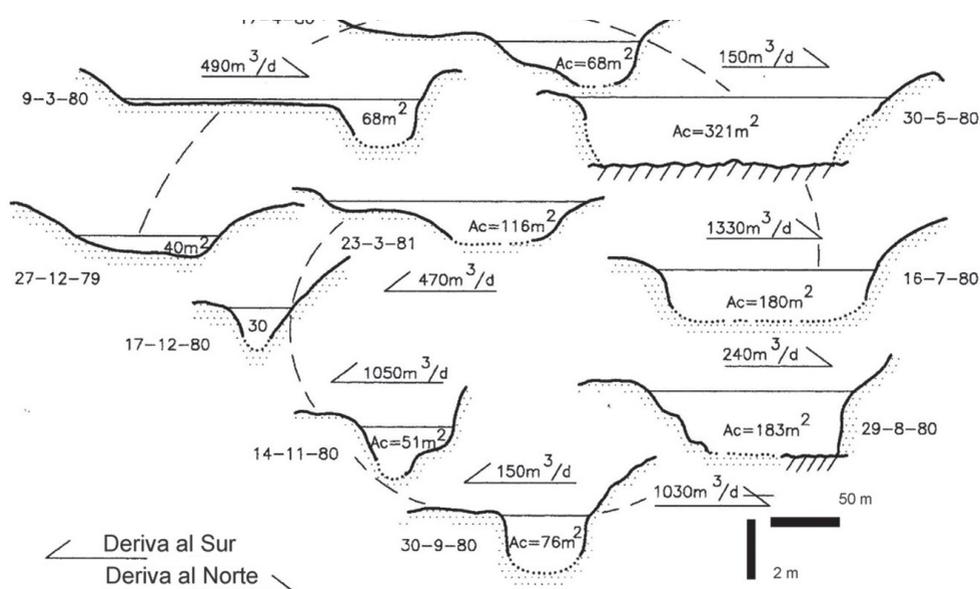


Figura 4: a) Variaciones morfológicas de la desembocadura de la laguna Mar Chiquita de acuerdo a fotografías obtenidas entre 1957 y 1979 (modificado de Isla 1997).

b) Variaciones morfológicas de la migración de la espiga de Mar Chiquita entre diciembre de 1979 y marzo de 1981 (Isla 1997).

Fuente: Elaboración propia.

Si bien este método de estimación del crecimiento de espigas ha sido considerado como indicador de la deriva litoral (CERC 1966), sólo estima la porción emergida, restando analizar los sectores sumergidos. Las variaciones morfológicas de la boca de mareas asociada a esta espiga (entre 1979 y 1981) han permitido cuantificar volúmenes de arena transportados hacia

el norte o sur a ritmos de 150 a 1000 m³/día, que totalizan valores de 54,7000 a 365,000 m³/año, respectivamente. El detalle de los relevamientos permitió reconocer inversiones de la deriva del orden de los 1000 m³/día hacia el sur que se extendieron de setiembre de 1980 a marzo de 1981 (Isla 1997).

3.2 Crecimiento del banco de acceso al puerto de Mar del Plata (1947-1950)

Durante el período 1947-1950 el banco de arena que se forma en el acceso al Puerto de Mar del Plata fue objeto de sondeos sistemáticos entre 5 y 9 m de profundidad. Del análisis en detalle de los planos batimétricos (Escala 1/2000) se

pudo reconocer el carácter errático de las variaciones durante ciertos meses pero también se pudo precisar que en 1949-1950 el banco anclado en la Escollera Sur se prolongó de acuerdo a la deriva litoral actual de S a N (Figura 5). Comparando la batimetría de 1947 y 1950 se cuantificó un volumen acumulado de 650.000 m³, lo que indica una deriva de 220,000 m³/año.

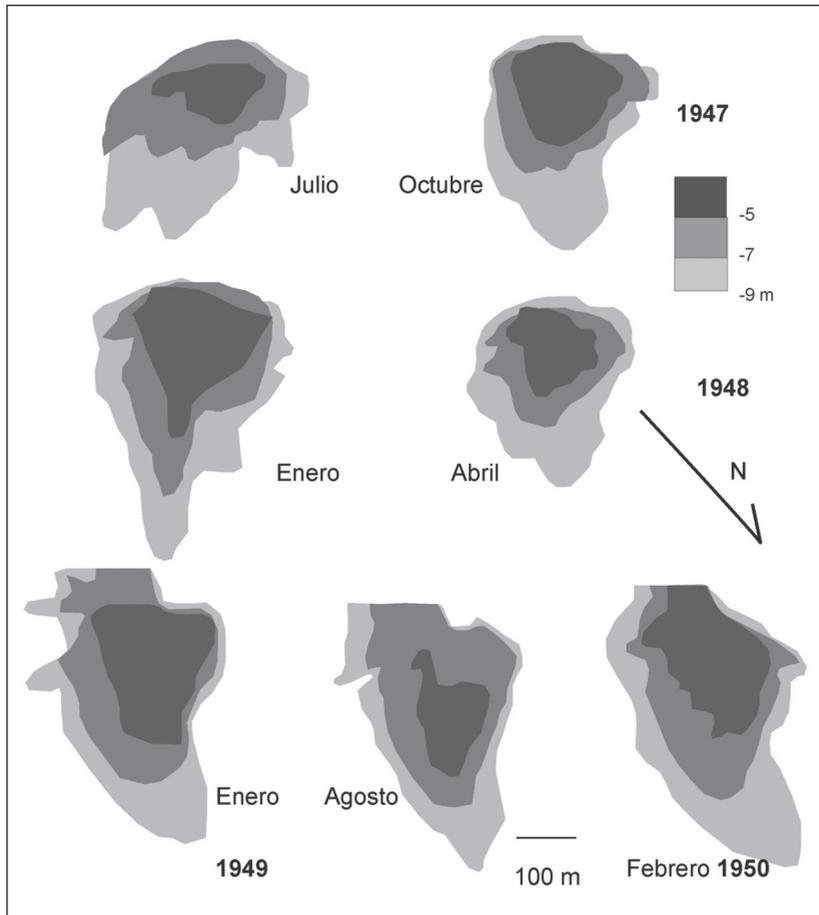


Figura 5: Variaciones del banco de arena acumulado en el acceso al puerto de Mar del Plata según sondeos efectuados entre 1947 y 1950.

Fuente: Elaboración propia.



3.3 Obstrucción de deriva por los espigones de Los Acantilados (2011-2012).

Los campos de espigones procuran obstruir la deriva litoral. Un pormenorizado monitoreo de las acumulaciones que estos provocan permiten una estimación precisa de la deriva litoral efectiva. En la Ensenada Peralta Ramos (al sur de Mar del Plata) existe una celda litoral con erosión en el sur (Los Acantilados), transporte en el centro (Alfar) y acumulación en el tómbolo inducido por el Banco Pescadores (Figura 1; Farenga et al. 1993; Isla 2010a). El retroceso de los acantilados en el sector del sur fue del orden de los 3.5 m/año (Cionchi et al., 1998) disminuyendo posteriormente a 1,6 m/año (Isla y Cortizo, 2014). Se planificaron rompeolas desvinculados que proponían no obstruir la deriva litoral. La obra fue cuestionada en ámbitos municipales, provinciales y nacionales: se objetaban los materiales de construcción (bloques de cuarcita en lugar de geotubos rellenos de arena) e impactos paisajísticos (los rompeolas iban a emerger por encima del nivel del mar). Por cuestiones técnicas

se propuso construir siete espigones en "T" que luego serían parcialmente desarmados para evitar los impactos en la deriva. Finalmente el financiamiento alcanzó para sólo tres espigones (Figura 6), de los cuales sólo dos fueron desarmados como se propuso; el último espigón no fue desarmando provocando lo que se prometió que no iba a ocurrir: la deriva litoral fue totalmente obstruida. La arena se acumuló rápidamente al sur del campo de rompeolas-espigón mientras que desaparecían las playas al norte de la obra. Si consideramos que entre la imagen de 2011 y la del 2012 en 600 m la playa la línea de ribera se extendió en promedio unos 160 m (Figura 6), con un perfil de equilibrio de +2 m en los bermas a -2 m en la base de la acumulación de arena, se estima una acumulación de unos 192,000 m³/año. Esta obra mal diseñada -en cuanto a los materiales empleados-, y mal terminada -en cuanto a que en definitiva obstruyó la deriva litoral-, ha demostrado que algunas intervenciones en la costa pueden ser más adversas que los impactos originados por los procesos naturales.



Figura 6: Variaciones morfológicas de la playa Los Acantilados durante su etapa erosiva y con posterioridad a la construcción de los rompeolas-espigón en T.
Fuente: Elaboración propia.

3.4 Estadística de olas: Mar del Plata (1967-68) y Necochea (2007-08).

Entre los años 1967 y 1968 la empresa Sunrise Consultants (Tokio) efectuó estimaciones sistemáticas de olas. Con estos datos se montó un modelo a escala reducida (Lagrange 1993). La estadística

de proveniencia de olas indicaba una distribución bimodal (Figura 7a) con una moda principal para olas provenientes del SE (N130) y una moda secundaria para olas provenientes del ENE (N70). Esto explica también las diferencias en la magnitud de las olas: en algunas playas la distribución de 6 olas chicas y 3 grandes se explica por



una interacción entre olas generadas en el Atlántico Sur y otras originadas desde el NE de Mar del Plata.

En el año 2006 se instaló un olígrafo (Interocean S4) en el acceso al Puerto de Quequén-Necochea (Figura 1), a unos 400 m de la punta de esa escollera oeste. En el año 2007 se completó una serie anual (julio de 2006 a junio de 2007) con información de dirección de proveniencia de olas y altura de olas significativas (Figura 7b). Se procesaron

todos los datos (obtenidos cada 20 minutos) dejando de lado los lapsos sin información por problemas técnicos. Las olas más frecuentes provinieron del SSE, aunque son frecuentes bruscos cambios en los que las olas comienzan a provenir del S y SO (Isla et al. 2009).

De la comparación de ambas estadísticas anuales, podemos diferenciar el registro bimodal de Mar del Plata del unimodal de Puerto Quequén (Figura 7).

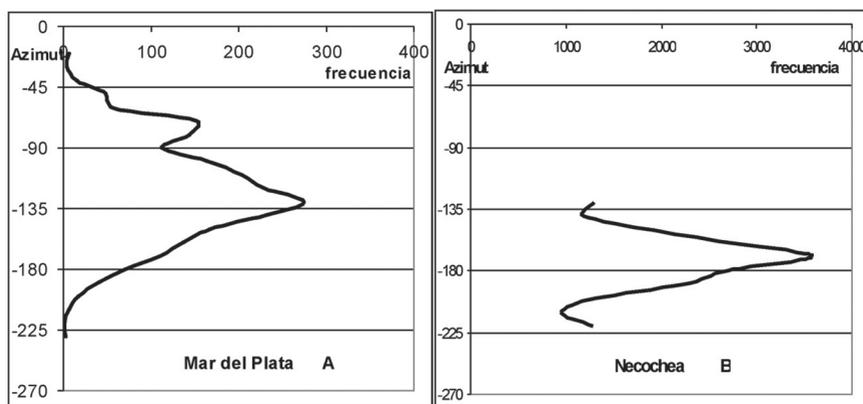


Figura 7: A) Las olas más frecuentes en Mar del Plata provienen del SE y del ENE (datos de 1967-68) incrementando el transporte en la costa orientada N-S. B) En Necochea las olas más frecuentes provienen del SSE (datos de 2006/07).

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Corrientes costeras del sector céntrico de Mar del Plata.

Las corrientes costeras de la plataforma de Mar del Plata fueron objeto de mediciones en repetidos momentos (Tabla 2). Entre septiembre de 1982 y octubre de 1983, se midieron corrientes utilizando correntógrafos EG&G y Endeco hasta profundidades de 25 m; las velocidades oscilaron entre 10 y 41 cm/seg (COBA 1995).

Como parte de un estudio del medio receptor donde se planeó el emisario submarino de Mar del Plata en la zona de Camet se fondearon tres correntógrafos (Isla y Casanelli 2000). El propósito era

analizar las corrientes cada 30 minutos y a 11 m de profundidad, donde funcionarían los difusores del emisario submarino (Isla y Casanelli 2000). Los equipos fueron fondeados el 23 de mayo de 1996 y retirados a los 20 días. Uno de los correntógrafos funcionó durante 18 días otorgando así unas 850 mediciones. Las corrientes de reflujo (hacia el sur) dominaron en el tiempo. Las corrientes de flujo hacia el norte se caracterizaron por valores máximos de 0,4 m/seg y muy bien definidos durante períodos cortos coincidentes con máximos del flujo de marea. Las corrientes al sur dominan seguramente por efecto de vientos aunque los máximos de reflujo no estuvieron tan bien definidos (Figura 8).

De todos modos, puede no haber coincidencia entre las corrientes litorales (entre rompiente y orilla) y las corrientes costeras: en la costa sur de Sao Paulo el

transporte litoral es hacia el SO mientras que las corrientes costeras dominan hacia el NE (Araújo y Alfredini 2003).

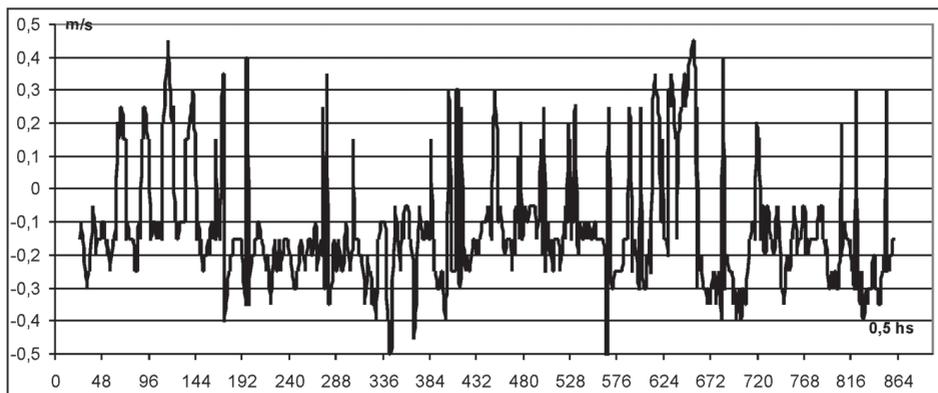


Figura 8: Variaciones de las corrientes de marea cercanas al fondo a 11 m de profundidad (+ hacia el norte; -hacia el S). Cada valor de x es un dato obtenido cada media hora.
Fuente: Elaboración propia.

3. 6. Modelos derivados de estadística de olas

Aplicando el modelo UNIBEST-LT, un grupo de expertos holandeses calculó entre dos perfiles transversales a la escollera sur del Puerto de Mar del Plata una deriva litoral de 100,000 m³/año para el perfil cercano al sitio de extracción de arena y de sólo 50,000 m³/año en la punta de la escollera (Rijkswaterstaat 1997).

Durante el año 2004, un grupo de Estudiantes de ingeniería de la Delft University of Technology derivó el transporte litoral de la Ensenada de Peralta Ramos (playa Alfar; figura 1) a través de datos obtenidos de estadísticas de olas de mar abierto (Algera et al. 2004). Los datos combinaron mediciones obtenidas del sistema Argoss y Alkyon. El primero se basa en mediciones desde satélite en un área de 100x100 km. Alkyon está basado en observaciones directas desde barcos que operaron en una zona entre 37 y 38,5 ° S; la serie de 1960 a 1997 disponía de 3522 datos

que informaron un período medio de 6.6 seg (Algera et al. 2004). Se utilizó el programa UNIBEST basado en las fórmulas de Bijker (1971) como en la del CERC (1984), pero se confió en la primera dado que considera variables como la rugosidad del fondo y condiciones de olas profundas y poco profundas. Finalmente, la fórmula de Bijker permitió asignar a la Ensenada Mogotes una deriva litoral hacia el norte de 140,000 m³/año (Algera et al. 2004). UNIBEST permite analizar la capacidad de transporte litoral en cada perfil. Para esta ensenada la mayor capacidad se da en el centro del embahiamiento (playa Alfar; Algera et al. 2004). En la misma Ensenada de Mogotes, y con el objeto de analizar el impacto que tendrán los rompeolas (desvinculados y emergentes), se hicieron cálculos utilizando el Sistema de Modelado Costero (SMC) de la Universidad de Cantabria, y el programa GENESIS del CERC. Se concluyó que el transporte neto hacia el NE es del orden de 445,000 m³/año (Gyssels et al., 2007). Se destaca entonces cómo a través de técnicas basadas en estadísticas de olas se pudieron

estimar derivas de 100,000, 140,000 y 445,000 m³/año.

3.7 Estadística de tormentas (1980-2007)

La magnitud de la deriva litoral también puede depender de la frecuencia y magnitud de las tormentas. Las tormentas pueden estimarse a partir de mediciones de presión o a partir de registros mareográficos. En el período 1980-1992, las tormentas más intensas fueron analizadas de acuerdo a cartas meteorológicas (Manolidis y Alvarez, 1994; Tabla 3). El índice del potencial erosivo por efecto de tormentas (SEPI; Zhang et al. 2001) fue calculado en base

a datos mareográficos de Mar del Plata en el período 1987-2007 (Fiore et al. 2009; tabla 3). De acuerdo a este parámetro SEPI se puede obtener una recurrencia de las tormentas más intensas (Figura 9). En el Partido de la Costa se han informado otras tormentas en el lapso 1997-2003 que no coinciden mayormente con las analizadas a través del mareógrafo de Mar del Plata. Estas tormentas no sólo afectan los sectores costeros subaéreos sino que también tienen efectos en la playa sumergida. Las acumulaciones de organismos epi e infaunales en las playas dan idea de estos efectos en la playa sumergida (López et al. 2008).

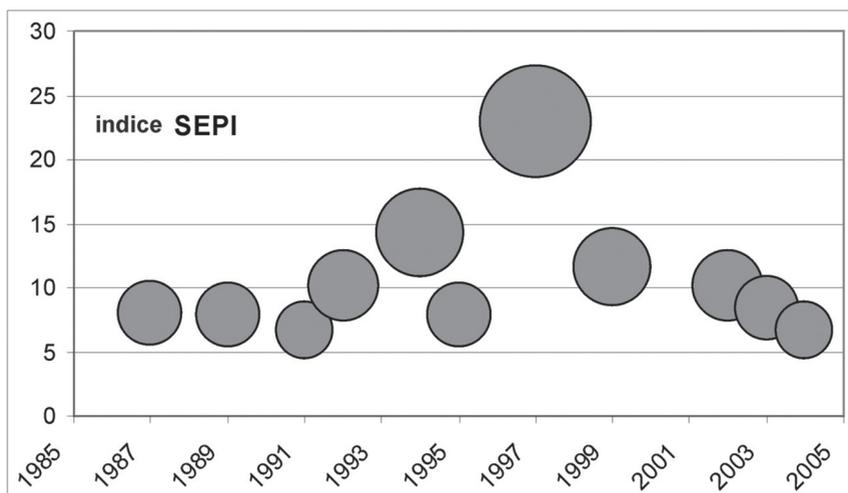


Figura 9: Estadística del potencial erosivo por tormentas (SEPI) de los últimos 20 años (modificado de Zhang et al., 2001, y Fiore et al. 2009).

Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

De acuerdo a las variaciones morfológicas del acceso al Puerto de Mar del Plata (60,000 m³/año) y las estimadas por el crecimiento de la espiga de Mar Chiquita (220,000 m³/año), las derivas reales son significativamente menores a las derivas potenciales estimadas en relación a la energía y ángulo del oleaje. No obstante, existen otras tres fuentes de error muy difíciles de estimar:

- los efectos de las tormentas en el transporte litoral,
- variaciones en la altura de las olas, y
- variaciones en el ángulo de incidencia de olas.

De estas 3 fuentes de error, sólo existe una estimación del posible aumento en la energía de las olas en este sector (Dragani et al. 2010).

Fluctuaciones en los aportes sedimentarios son comunes aunque difíciles de precisar en tiempo y volumen. En Fire Island, Nueva York, a pesar de todas las estimaciones de transporte litoral que se han efectuado se ha concluido que los cambios transversales a la costa son muy significativos, y deben considerarse para estimar correctamente el transporte litoral (Hapke et al. 2010). A través de batimetrías de detalle se ha logrado precisar que las variaciones en los bancos vecinos a la costa (en profundidades de 6 m) pueden alterar significativamente el transporte transversal y por lo tanto el transporte litoral.

Existen por otro lado fórmulas de aproximación al transporte de sedimento. Para utilizar estas fórmulas se requiere precisar particularmente la profundidad de cierre (depth of closure) y este límite al transporte de arena por olas es difícil de estimar (Dean 2002; Phillips y Williams 2007; Robertson et al. 2008) y lleva a errores muy costosos (Wallace et al. 2010). En Carolina del Norte existen cambios en el transporte litoral neto según efectos de ola: durante condiciones de buen tiempo el transporte inducido por olas afecta las zonas menos profundas pero el transporte aumenta significativamente durante condiciones de tormenta (Park y Wells 2005).

La costa al norte de Mar del Plata tiene significativas diferencias en su relación con la playa sumergida y plataforma interior. En el sector de Camet, la construcción de espigones distanciados 200 m ha aumentado la densidad de corrientes rip, y por lo tanto ha aumentado el transporte offshore de los sectores sumergidos de la playa (Figura 10a). Estos efectos no son únicos y han sido perfectamente descritos para la costa holandesa, en donde

espigones distanciados cada 200-300 m provocaron un aumento de corrientes rip por largo de playa (Short 1992). Por otro lado, diferentes espaciamientos entre espigones también ha provocado aumentos del transporte offshore por corrientes rips en Ilhéus, Bahía (do Nascimento y Lavenère-Wanderley 2006). Hacia el norte de Mar Chiquita (sin espigones), la operabilidad de una caudalosa deriva litoral está avalado por barras litorales muy estables (Figura 10b). No obstante, significativas diferencias deben darse por efecto de la refracción de las olas más largas (tormentas) causada por bancos alineados oblicuos. Esta morfología rítmica es responsable de la configuración ondulada que puede tomar la costa entre Villa Gesell y Mar Chiquita temporalmente (Isla y Bértola 2005). A través del programa de observaciones de olas llevado a cabo entre 1981 y 1984 en Mar de Ajó, se pudo estimar una deriva potencial de 400.000 m³/año fluctuando entre valores mínimos de 312.000 m³/año y 530.000 m³/año (Caviglia et al. 1992). Sin embargo, estos valores pueden variar significativamente al decidir los valores adimensionales que deben considerarse al relacionar flujo de energía de ola con caudales sedimentarios anuales. La concentración de energía de olas en el Farol Conceição ha sido explicada por estos efectos de refracción inducida por bancos sumergidos (Calliari et al. 1998). Las estimaciones del potencial de transporte litoral alcanzan valores máximos (2.700.000 a 2.900.000 m³/año) en las zonas de mayor erosión del embahiamiento de Río Grande do Sul (Lima et al. 2001). Estas grandes variaciones espaciales de la deriva litoral explican las acumulaciones de playa y dunas en Mostradas (Toldo et al., 2006).

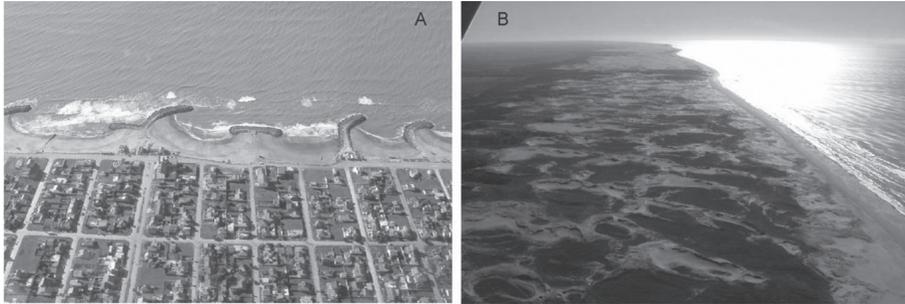


Figura 10: a) La gran densidad de espigones transversales origina un aumento de las corrientes rip por largo de playa, y disminuye así la cantidad de arena disponible para ser transportado literalmente. b) El transporte litoral se restablece al norte de Mar Chiquita, aunque las ondulaciones temporales de la costa prueban variaciones espaciales inducidas por refracción de olas.

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a las fluctuaciones de deriva litoral durante el pasado geológico más reciente, existen algunas referencias derivadas de la interpretación de cambios en la dinámica sedimentaria durante el Holoceno. En la costa australiana, por ejemplo, las dunas colgadas (cliff-top dunes) han servido para admitir que mayormente se originaron durante el Holoceno temprano a medio y que luego han quedado desconectadas de la costa (Short 2010). Del mismo modo, en las barreras de Río Grande do Sul y Buenos Aires, los suelos datados en barreras medanosas han servido para distinguir lapsos de transporte de arena separados por momentos estables de desarrollo de suelos en zonas intermedanasas (Martinho et al. 2008; Isla 2010b).

5. Conclusiones

La mayoría de las aproximaciones a la deriva litoral apuntan a cálculos del transporte potencial. Debido al grado de alteración de los balances sedimentarios de algunas costas no son recomendables estas aproximaciones potenciales basados en estadísticas de olas. Los modelos basados en datos de olas pueden dar estimaciones que no se pueden extrapolar

a sectores con diferentes orientaciones. Por otro lado, existen sectores en donde el transporte entre la rompiente y la orilla ha sido totalmente alterado por el aumento en la densidad de corrientes rips relacionada a campos de espigones. Las variaciones naturales registradas en los últimos años confirman variaciones muy significativas en el transporte litoral inferidas en el pasado reciente, y mucho mayores si consideramos los últimos 4000 años.

1. Diferentes aproximaciones al transporte de sedimento han permitido reconocer un caudal mínimo hacia el norte del orden de 100.000 m³/año.
2. Las evaluaciones en la boca de Mar Chiquita confirmaron que inversiones estacionales de la deriva durante los meses de primavera a verano son esperables.
3. Los efectos de tormentas son la variable de mayor significación para aproximar el volumen de arena transportado a lo largo de la costa en un año.
4. Obras de defensa mal diseñadas o mal terminadas pueden ser más contraproducentes que la erosión natural.

Agradecimientos

Durante muchos años, diversos colegas han ayudado a recopilar información geomorfológica y sedimentológica. El presente trabajo ha sido financiado a través de los proyectos CONICET PIP 1318 y 0382.

Bibliografía.

ALGERA, A., BURGER, B., HARTOG, W. M. y DE RIJKE, Q. C. (2004). A study on the reconstruction of Los Acantilados Beach. Final Report. Unpublished report, Delft University of Technology, Project group Argentina 2004, Mar del Plata, 73 p.

ARAÚJO, R. N. y ALFREDINI, P. (2003). Longshore sediment transport rate along Suarão and Cibratel beaches, Itanhaém, SP, Brazil. *Journal of Coastal Research* SI 35: 232-243.

CALLIARI, L. J., SPERANSKI, N. y BOUKAREVA, I. (1998). Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the Southern Brazilian coast. *Journal of Coastal Research* SI 26: 19-23.

CAVIGLIA, F. J., POUSA, J. L. y LANFREDI, N. W. (1992). Transporte de sedimentos: una alternativa de cálculo. II Congreso de Ciencias de la Tierra, Memorias, Santiago de Chile, 413-422.

CENTRO OCEANOGRÁFICO BUENOS AIRES (1995). "Series de corrientes costeras en Mar del Plata". Serie Ciencia y Técnica COBA No. 4, ITBA, Buenos Aires, 16 p.

CIONCHI, J. L., ALVAREZ, J. R., DEL RÍO, J. L. y FERRANTE, A. (1998). El efecto antrópico en el retroceso de la línea de costa del Partido de General Pueyrredón (Provincia de Buenos Aires). XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración

de Hidrocarburos, Actas, VI, 318-322.

COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER (1966). "Shore protection, planning and design". Tech report 4, 3rd. ed., Washington DC, 401p.

DEAN, R. G. (2002). "Beach nourishment: Theory and practice". Advanced series on Ocean Engineering 18, World Scientific, Singapur, 399p.

DO NASCIMENTO, L. y LAVNÈRE-WANDERLEY, A. A. (2006). Effect of shore Protection Structures (Groins) On Sao Miguel Beach, Ilhéus, Bahía, Brazil. *Journal of Coastal Research* SI 9: 858-862.

DRAGANI, W.C., MARTIN, P. B., SIMIONATO, C. G. y CAMPOS, M. I. (2010). Are wind wave heights increasing in south-eastern South American continental shelf between 32° S and 40° S? *Continental Shelf Research* 30: 481-490.

FARENGA, M. O., ADAMINI, R. e ISLA, F. I. (1993). Evaluación de playas de intensa extracción de arena: Ensenada Mogotes, Mar del Plata, Argentina, 1987-1990. *Revista Thalassas* 10: 41-47.

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.

GYSSSELS, P., RAGESSI, M., RODRIGUEZ, A., CARDINI, J., y CAMPOS, M. (2007). Aplicaciones de modelos numéricos a un estudio de prediseño de un sistema de diques exentos en el litoral argentino. *Mecánica computacional XXVI*: 1252-1271.

- HAPKE, CH. J., LENTZ, E. E., GAYES, P. T., MCCOY, C., HEHRE, R., SCWAB, W. C. y WILLIAMS, S. J. (2010). A review of sediment budget imbalances along Fire Island, New York. Can nearshore geologic framework and patterns of shoreline change explain the deficit? *Journal of Coastal Research* 26(3): 510-522.
- ISLA, F. I. (1991). Balance sedimentario y estacionalidad en 8 playas de Mar del Plata. *Revista Thalassas* 11: 11-21.
- 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. (2010a). Natural and artificial reefs at Mar del Plata, Argentina. *Journal of Integrated Coastal Management* 10, 1, 81-93.
- ISLA, F. I. (2010b). Barreras medianosas del pasado. En Isla, F. I. y Lasta, C. A. (eds.) *Manual de manejo de barreras medianosas de la Provincia de Buenos Aires*. EUDEM, Mar del Plata, 249-263.
- ISLA, F. I., BÉRTOLA, G. R., FARENGA, M. O. y CORTIZO, L. C. (2001). Variaciones antropogénicas de las playas del sudeste de Buenos Aires, Argentina. *Revista Pesquisas em Geociências* 28(1): 27-35.
- ISLA, F. I., y BÉRTOLA, G. R. (2005). Litoral bonaerense. En de Barrio, R., Etcheverry, R. O., Caballé, M. F. y Llambías, E. (eds.) *Geología y recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires*. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, 265-276.
- ISLA, F. I. y CASANELLI, A. (2000). Simulación del transporte dispersivo con decaimiento: Aproximaciones a la dispersión del futuro emisario submarino de Mar del Plata. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 6(1-2): 61-73.
- ISLA, F., BÉRTOLA, G., MERLOTTO, A., FERRANTE, A. y CORTIZO, L. (2009). Requerimientos y disponibilidad de arenas para la defensa de las playas de Necochea y Lobería. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65(3): 446-456.
- ISLA, F. I. y CORTIZO, L. C. (2013). Sediment input from fluvial sources and cliff erosion to the continental shelf of Argentina. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*. Available on-line: 30 October 2013. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-436_Isla.pdf | DOI:10.5894/rgci436
- LAGRANGE, A. A. (1993). "Mar, playas y puerto". *Fundación Bolsa de Comercio de Mar del Plata*, 540p.
- LANFREDI, N. W. (1973). Estudio de antecedentes del Puerto de Mar del Plata. Informe inédito Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires, 7p.
- LIMA, S.F., ALMEIDA, L. E. S. B y TOLDO JR., E. E. (2001). Estimativa da capacidade do transporte longitudinal de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências* 28(2): 99-107.
- LÓPEZ, R. A., PENCHASZADEH, P. E. y MARCOMINI, S. C. (2008). Storm-related strandings of mollusks on the northeast coast of Buenos Aires, Argentina. *Journal of Coastal Research* 24(4): 925-935.
- MANOLIDIS, N. y ALVAREZ, J. A. (1994). Grandes tormentas en la zona costera

marplatense entre 1980 y 1992. COBA 5, Serie Ciencia y Técnica, 11p.

MARTINHO, C. T., DILLENBURG, S. R. y HESP. P. A. (2008). Mid to Late Holocene evolution of transgressive dunefields from Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. *Marine Geology* 256: 49-64.

PARK, J. Y. y WELLS, J. T. (2005). Longshore transport at Cape Lookout ; North Carolina. Shoal evolution and the regional sediment budget. *Journal of Coastal Research* 21(1): 1-17.

PHILLIPS, M. R. y WILLIAMS, A. T. (2007). Depth of closure and shoreline indicators: empirical formulae fro beach management. *Journal of Coastal Research* 23(2): 487-500.

RIJKSWATERSTAAT (1997). Port and coastal study Mar del Plata. Final Report, Document WB1062-4-96045, 127p.

ROBERTSON, W., ZHANG, K, FINKL, CH. W. y WHITMAN, D. (2008). Hydrodynamic and Geologic influence of event-dependent depth of closure along the South Florida Atlantic Coast. *Marine Geology* 252: 156-165.

SCAGLIOLA, M., FERRANTE, A. y RETA, R. (1998). Medición de corrientes superficiales en un sector litoral costero de Mar del Plata durante el período estival 1997-1998. Informe

final, Convenio Obras Sanitarias de Mar del Plata Sociedad de Estado y Universidad Nacional de Mar del Plata, 102p.

SHORT, A. D. (1992). Beach systems of the central Netherlands coast: processes, morphology and structural impacts in a storm driven multi-bar system. *Marine Geology* 107: 103-137.

SHORT, A. D. (2010). Sediment transport around Australia: Sources, mechanisms, rates and barrier forms. *Journal of Coastal Research* 26(3): 395-402.

TOLDO JR., E. E., ALMEIDA, L. E. S. B., NICOLODI, J. L., ABSALONSEN, L. y GRUBER, N. L. S. (2006). O controle da deriva litorânea no desenvolvimento do campo de dunas e da antepraia no litoral médio do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências* 33(2): 35-42.

WALLACE, D. J., ANDERSON, J. B. y FERNÁNDEZ, R.A. (2010). Transgressive ravinement versus depth of closure: a geological perspective from the Upper Texas coast. *Journal of Coastal Research* 26(6): 1057-1067.

ZHANG, K., DOUGLAS, B.C. y LEATHERMAN, S.P. (2001). Beach erosion potential for severe nor'easters. *Journal of Coastal Research* 17 (2): 309-321.

Anexos:

Tabla 1: Variaciones volumétricas de la espiga de Mar Chiquita (previos a la construcción del espigón de la desembocadura de la laguna) y estimación de la deriva litoral (“+” deriva hacia el norte; “-“ deriva hacia el sur).

Año	Volumen espiga	+/- m ³	Deriva litoral m ³ /año
1957	448800		
Febrero de 1958	460000	11.200	11.200
1960	364800	-95.200	-47.600
Junio de 1967	431200	66.400	9.500
1970	384800	-46.400	-15.400

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Mediciones de corrientes costeras colectadas en las proximidades de Mar del Plata (Z: profundidad)

Año	1 ^a . medición	Uma. medición	Método	Z(m)	Referencia
1928	22 ago 1928	24 ago 1928	correntómetro		Lanfredi
1932	22 dic 1932	22 dic 1932	correntómetro	10	Lanfredi
1967	18 set 1967	8 oct 1967	correntómetro	7	Lanfredi
1981-84	2e set 1982	15 oct 1983	correntógrafo	5-25	COBA 1995
1996	30 abr 1996	12 nov 1996	correntógrafo	11	Isla <i>et al.</i> 1997
1997-98	11 dic 1997	12 mar 1998	flotadores		Scagliola <i>et al.</i> 1998

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3: Mayores tormentas que afectaron el SE de Buenos Aires entre 1983 y 2009 (modificado de Manolidis y Alvarez 1994; Fiore *et al* 2009).

Año	Fecha	Índice SEPI	Duración (h)	Altura máxima (cm)
1983	may 29-Jun 1			
1984	abr 3			
	may 28-30			
1987	junio	7,94	52	211
1989	julio	7,88	35	174
1990	abr 16-17			
1991	ene 30-Feb 1			
	jun 19			
	agosto	6,73	45	193
1992	feb 20			
	marzo	10,11	34	213
1994	junio	14,33	87	267
1995	enero	7,86	49	228
1997	abril 3-4	22,95		
1999	diciembre 5	11,59	73	251
2003	abril	8,39	69	240
2004	julio	6,64	45	267
2009	Julio 22-29		160	300

Fuente: Elaboración propia.