



# **Universidad de Buenos Aires**

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Ciencias de la atmósfera y los Océanos

Tesis de Licenciatura en Oceanografía

## **Estudio del campo de olas, del flujo de energía paralelo a la costa y de sus tendencias en la región litoral, entre Bahía Blanca y Puerto Quequén**

Tesista: Iael Perez

Director: Walter Dragani

-2014-

## **Agradecimientos**

Quiero dedicarle un especial agradecimiento a todo el equipo de trabajo con el que compartí muchas horas y me acompañaron e hicieron que la realización de esta tesis haya sido una linda experiencia. En particular a Walter, por todo el tiempo y la dedicación que me brindó.

También le quiero agradecer a todos los profesores, amigos y a mi familia, que me guiaron y acompañaron durante toda la carrera, sin los cuales nunca hubiera podido realizar este trabajo

## Índice

Resumen	1
Abstract	2
1.Introducción	3
1.1 Objetivo	5
2. Área de estudio. Descripción	7
3.Antecedentes	11
4. Datos utilizados	14
4.1 Olas	14
4.1.1. Puerto Quequén	14
4.1.2. Canal de acceso a Bahía Blanca	16
4.2. Viento	17
4.3. Batimetría	17
5. Modelado numérico de olas	18
5.1. El modelo de olas utilizado. Descripción general.	18
5.2. Nodos seleccionados para este trabajo	19
5.3. Validación de los resultados de SWAN en Puerto Quequén	22
5.4. Validación de los resultados de SWAN en el canal de acceso a Bahía Blanca	23
5.5. Validación de los resultados de SWAN durante eventos energéticos en Quequén	24
6. Resultados	27
6.1 Olas	27
6.2 Flujo de energía de olas	40
7. Discusión	49

8. Conclusiones

54

Referencias

57

## **Resumen**

*En este trabajo se investigó el campo de olas y el flujo de energía paralelo a la costa entre el estuario de Bahía Blanca y Puerto Quequén, utilizando resultados de simulaciones numéricas obtenidas con el modelo SWAN (período 1971-2005). Se estudió la tendencia de las alturas de ola significativa ( $H_s$ ) y su dependencia con la dirección del oleaje. Asimismo se analizó la variabilidad espacial e interanual del flujo de energía paralelo a la costa ( $PI$ ) y su tendencia. Los resultados numéricos disponibles fueron validados con observaciones cercanas a Puerto Quequén y al canal de acceso a Bahía Blanca. De dicha validación surgió que los resultados numéricos considerados son representativos del oleaje en la región estudiada. Como resultado de esta tesis se obtuvo que tanto la  $H_s$  media como las máximas aumentan de W a E y que en general las tendencias de  $H_s$  son positivas y significativas. El análisis direccional realizado reveló que las direcciones SE y S presentaron las mayores tendencias. Con referencia al  $PI$  se obtuvo que, al W de Monte Hermoso el flujo es hacia el W y, al E de dicha localidad, es hacia el E. Esto sugiere existencia de una zona de divergencia o, posiblemente, de un mínimo de  $PI$  en la región. Por otro lado, los resultados indican que el  $PI$  medio anual presenta años con flujo neto hacia el W y otros con flujo neto hacia el E indicando una marcada variabilidad interanual. Finalmente, se obtuvo que en la región estudiada el  $PI$  neto anual presenta una tendencia negativa.*

## **Abstract**

*The wave field and the long-shore energy flux, between the Bahía Blanca estuary and Puerto Quequén, were studied using numerical results produced by SWAN model (period: 1971-2005). Significant wave height ( $H_s$ ) trend and the dependency with the wave direction were also studied. The spatial and inter-annual variability of the long-shore energy flow (PI) and its trend were also analyzed. Numerical results were validated using observations gathered close to Puerto Quequén and near the access channel to Bahía Blanca port. From the base of this validation it was found that available numerical results can be considered as representative of the wave climate in the region. It was found that the mean and maxima  $H_s$  increased from W to E and the  $H_s$  trends are positive and significantly different to zero. From the directional analysis of the waves it can be seen that SE and S are the directions which presented the highest trends. Regarding to PI, it was found that westward Monte Hermoso the flux is towards the W and, eastward Monte Hermoso the flux is towards the E. This last suggested the possibility of a zone of divergence or, more likely, a zone of minima PI. On the other hand, it was also found that the mean annual PI presented a noticeable inter-annual variability, that is, some years the mean annual PI flowed towards the W and others towards the E. Finally, it was found that the net annual PI presented a negative trend in the region.*

## 1.Introducción

Las playas arenosas se encuentran en un delicado balance entre el lento, pero continuo, transporte de la arena paralelo a la costa y el movimiento de sedimentos hacia la playa (“on-shore”) y hacia el mar (“off-shore”) producido durante condiciones de buen tiempo y tormentas, respectivamente (Dean y Dalrymple, 2004). Durante eventos - esporádicos y energéticos - caracterizados por intensos vientos, grandes alturas de olas y elevados niveles del mar la arena costera se moviliza predominantemente mar afuera originando cerca de la costa una barra de arena sumergida. Con respecto al transporte de arena paralelo a la costa, el sedimento es movilizado por las olas y la corriente litoral ("longshore current") y sostenido por el flujo de energía asociado a la incidencia oblicua de las olas. Este fenómeno de transporte es un proceso lento y constante, mueve grandes volúmenes de arena a lo largo de las playas y contribuye al mantenimiento del perfil de playa en un delicado equilibrio natural (CERC, 1984).

Aunque desde el punto de vista teórico los procesos litorales mencionados se conocen bastante bien, debe aclararse de antemano que en la actualidad no se tiene un conocimiento integral y acabado de todos estos procesos físicos en la zona costera de la provincia de Buenos Aires. La causa principal de este déficit es sin dudas la carencia de observaciones sistemáticas y sostenidas en el tiempo de parámetros ambientales en la región. En la actualidad se dispone de un conocimiento físico bastante bueno sobre la marea y la onda de tormenta en la zona costera de la provincia de Buenos Aires (por ejemplo, Fiore et al., 2009). Sin embargo, se sabe relativamente muy poco sobre el clima de olas y los procesos físicos asociados a ellas que, tal vez, sean los más importantes a la hora de cuantificar los principales fenómenos costeros para la gestión de las playas.

Entre el estuario de Bahía Blanca y el extremo S de la bahía Samborombón (Fig. 1.1) la zona costera de la provincia de Buenos Aires puede dividirse en tres sectores, teniendo en cuenta la orientación predominante de la costa: (1) desde el estuario de Bahía Blanca hasta el Puerto de Mar del Plata, con dirección predominante WNW a ENE, (2) desde el Puerto de Mar del Plata hasta Punta Médanos, con orientación SSW-NNE y, finalmente, (3) el cabo San Antonio, extendiéndose desde Punta Médanos hasta Punta Rasa (este último demarca el límite SW del Río de la Plata Exterior, SHN, 1973) con orientación N-S. Está establecido que en la costa

bonaerense el transporte neto de arena es preponderantemente de S a N (Caviglia et al. 1992 a y b; Dragani et al 2013). Entre Mar del Plata y Punta Médanos el transporte neto de arena es predominantemente hacia el NNE, evidenciado por la acumulación de arena en la escollera S de Mar del Plata y por algunos estudios regionales basados en el método del flujo de energía (Schmidt y Lanfredi, 1979; Caviglia et al. 1991; Dragani et al., 2013). Consistentemente, en el cabo San Antonio el transporte neto de arena es también predominantemente hacia el N, lo cual es avalado por algunos trabajos (Kokot, 2010). Es interesante señalar que entre Mar del Plata y Punta Rasa el oleaje más frecuente es proveniente del sector NE, pero, el dominante, es decir, el más intenso - que pauta la dirección del transporte neto - es debido al oleaje proveniente del S-SE, el cual caracteriza a los eventos más energéticos (Speroni et al., 1999 a y b).



Figura 1.1. Mapa de ubicación. Fuente: Google Earth



Aunque no exista evidencia científica rotunda, se supone que el transporte neto de arena en las playas ubicadas en el SW de la costa bonaerense, entre el estuario de Bahía Blanca y Mar del Plata (Fig. 1.1), estaría también en concordancia con el de los otros dos sectores, es decir, éste sería también predominantemente hacia el ENE. Esto es muy evidente en el sector oriental de dicha costa donde, en Puerto Quequén, la escollera S actúa como barrera para la arena proveniente del W. Sin embargo, en el sector occidental de este tramo de costa (por ejemplo en Pehuen C6 o en Monte Hermoso, Figura 1.2) la direcci6n predominante del transporte de arena es m6s incierto. En esta regi6n no hay estructuras costeras de porte que posibiliten inferir claramente acumulaciones de arena ni tampoco mediciones sistem6ticas costeras que permitan determinar la direcci6n predominante del oleaje.

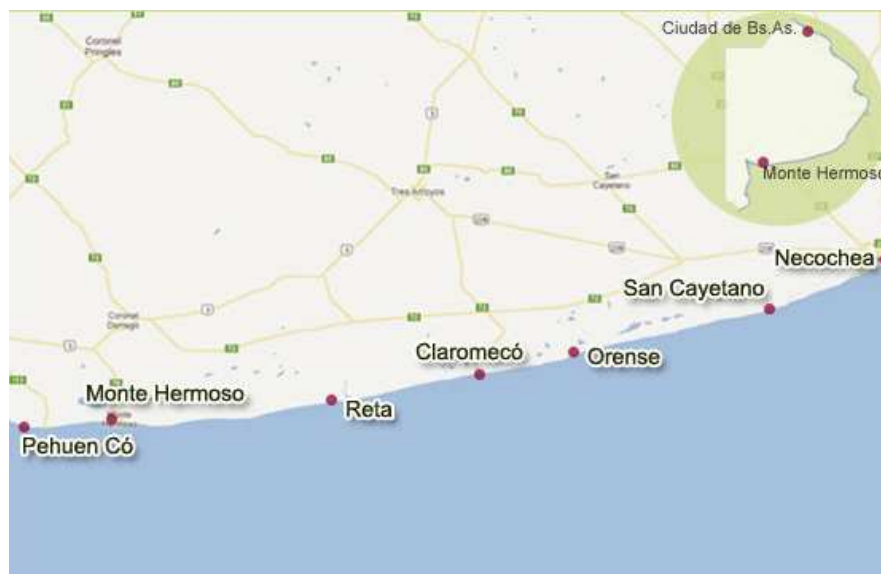


Figura 1.2. Costa bonaerense entre Bahía Blanca y Necochea/ Quequén. Fuente: <http://www.argentinaviajera.com.ar/costa/hermoso.html>

## 1.1 Objetivo

El objetivo de esta tesis de grado es investigar el campo de olas costero y el flujo de energía paralelo a la playa (generado por la incidencia oblicua de las olas) en el sector S de la costa arenosa bonaerense, entre el estuario de Bahía Blanca y Puerto Quequén, empleando resultados de simulaciones numéricas obtenidas con el modelo SWAN. Se presenta un análisis minucioso

sobre la tendencia de las alturas de ola significativa ( $H_s$ ) y su dependencia de la dirección del oleaje. Finalmente, se estudia la variabilidad interanual del flujo de energía paralelo a la costa y su tendencia temporal.

El área de estudio se extiende desde los 38.5° S hasta los 39.1° S y no incluye al estuario de Bahía Blanca. La información de base que se utiliza en este trabajo son los parámetros de olas (alturas, períodos y direcciones) simulados en los nodos del modelo SWAN entre 1971 y 2005 (Dragani et al., 2010) ubicados a lo largo de la costa entre Bahía Blanca y Puerto Quequén. Dicho modelo fue estrictamente validado para el sector nordeste de la costa bonaerense, en consecuencia, para este trabajo se realizó un análisis comparativo (validación) entre los parámetros modelados y las observaciones disponibles en Puerto Quequén y en Bahía Blanca. Considerando que en la región de estudio prácticamente no se dispone de series de observaciones de olas se espera que este trabajo constituya un aporte para el conocimiento de algunos de los procesos costeros presentes entre Bahía Blanca y Puerto Quequén. Esta tesis de grado se enmarca en el proyecto de investigación del Ministerio de Defensa PIDDEF 0043/10/SHN titulado “Estudio de olas, corrientes y niveles del mar en la Zona de Seguridad del Polígono de Artillería de la Estación de Experiencia de la Base Naval Puerto Belgrano, Bahía Blanca”.

## 2. Área de estudio. Descripción

La región de estudio (Fig. 1.2) se destaca por sus amplias playas, algunas de las cuales permanecen aún vírgenes, con médanos y bosques que se extienden a lo largo de la costa dando lugar al nacimiento de pequeños asentamientos urbanos para veranear. Los ambientes litorales de la región presentan una cierta heterogeneidad resultante de la interacción entre el relieve de las zonas adyacentes (llanuras o serranías) y la dinámica litoral y los procesos costeros, entre ellos, la corriente de deriva que transporta y distribuye los sedimentos continentales, el viento, las olas, la marea y la descarga de los ríos y arroyos (Juárez y Mantobani, 2006). Las playas del área de estudio están expuestas a la acción directa del oleaje, con dos direcciones principales de incidencia de los trenes de ola: los provenientes del S y del SE, lo que originaría, en estos casos, una corriente de deriva litoral neta hacia el W. Normalmente, los mayores impactos sobre la playa están dados por el efecto de las ondas de tormentas que, aunque no presentan una recurrencia periódica, generalmente suceden en verano.

Hacia el E de la región de estudio se encuentran los partidos de Necochea y Quequén. Aquí se ubica la principal ciudad de la región de estudio, Necochea, que ocupa una superficie de 4.791,57 km<sup>2</sup> y tiene 89.096 habitantes (<http://www.necocheanet.com.ar/la-ciudad/datos-geograficos>). Hacia el SW, el partido de San Cayetano ocupa una superficie de 300.000 ha, en donde el 65% de la superficie se destina a la agricultura y el resto a la ganadería. Los principales cultivos son trigo, soja, girasol, avena, cebada, maíz ([http://es.wikipedia.org/wiki/Partido\\_de\\_San\\_Cayetano](http://es.wikipedia.org/wiki/Partido_de_San_Cayetano)). En cuanto a la ganadería, la explotación principal es la de vacunos de carne con predominio de la cría, re cría y en algunos casos ciclos completos.

En relación al relieve la región costera tiene una topografía de llanuras que presenta ligeras ondulaciones y algunos médanos. El terreno resulta en general apto para la actividad agropecuaria, siendo excelente en su calidad en un 80% de su extensión. El suelo es de color negro con una buena cantidad de materia orgánica. La altura sobre el nivel del mar varía entre los 90 y 130 m en su línea media de W a E. El clima de la región es templado oceánico, con temperaturas medias de 21° C en verano y de 9.4° C en invierno, con una media anual de

15.1° C. El régimen de lluvias varía entre 600 y 700 mm anuales. Los vientos predominan del S (desde la costa Atlántica) en la época invernal, cambiando al N en la estación estival. En cuanto a las precipitaciones, los meses más lluviosos son diciembre, enero y febrero, sin embargo el análisis hídrico paradójicamente indica que las sequías más prolongadas se dan en la misma época del año. La textura del suelo varía entre arenoso y arcilloso y, por su alto contenido de materia orgánica, son aptos para los cultivos. Estos son ricos en Ca y K y, en menor grado, en P. En su mayor parte el relieve es llano, pero a lo largo de la costa marítima se extiende una ancha franja medanosa. Una descripción de las diferentes formas geomorfológicas para la costa de la provincia de Buenos Aires se presenta en la Figura 2.1.

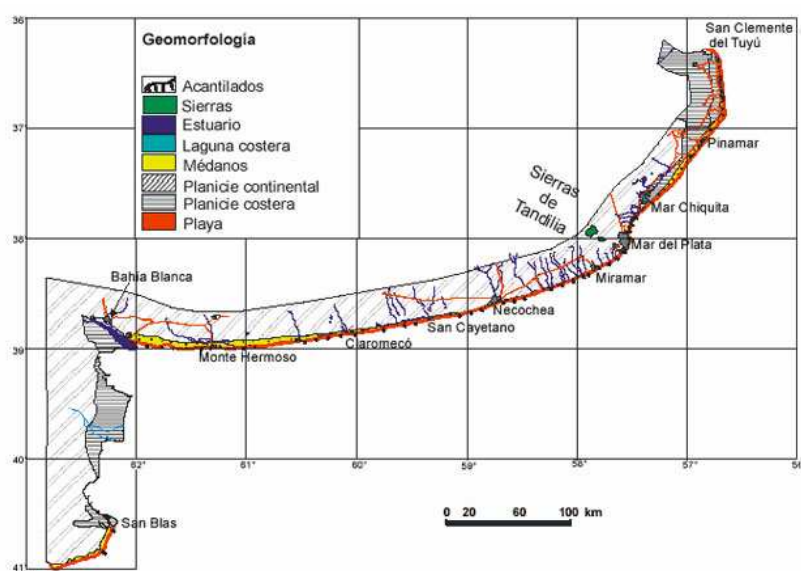


Fig. 2.1. Mapa geomorfológico del litoral atlántico bonaerense.

Hacia el centro de la zona de estudio se ubica Tres Arroyos, que es otro de los 135 partidos de la provincia de Buenos Aires ([http://es.wikipedia.org/wiki/Partido\\_de\\_Tres\\_Arroyos](http://es.wikipedia.org/wiki/Partido_de_Tres_Arroyos)). Tiene el gran atractivo turístico basado en 100 km de excepcionales playas a lo largo de las cuales están sus tres balnearios principales: Claromecó, Reta y Orense, de imponente belleza natural (Fig. 1.2). La zona se caracteriza por tener un suelo de tierra negra, rica en humus sobre depósitos loésicos, con algunos sectores arenosos. Contiene abundante porcentaje de materia orgánica lo que le confiere

un gran potencial productivo. El relieve de esta área se caracteriza por ser en su mayor parte un área semiondulada, con algunas elevaciones hacia el W, inmersa en la región interserrana meridional y hacia el S en la amplia región de dunas costeras.

Hacia el W de la zona de estudio se ubica Monte Hermoso, en cuya cabecera está uno de los principales atractivos turísticos de esta región: sus playas arenosas. Estas se extienden a lo largo de 32 km, con un suave declive que rematan en una cadena de dunas costeras ([http://es.wikipedia.org/wiki/Partido\\_de\\_Monte\\_Hermoso](http://es.wikipedia.org/wiki/Partido_de_Monte_Hermoso)). Climatológicamente Monte Hermoso se encuentra ubicado en el límite oriental de una zona de transición o de convergencia entre las masas de aire tropical y polar. Por lo tanto, esta es una región ventosa en la que predomina el viento del sector N, con rotación periódica al SW y S.

Ubicado al E del estuario de Bahía Blanca, se ubica el partido de Coronel de Marina Leonardo Rosales, más conocido como Coronel Rosales. Su cabecera es la ciudad de Punta Alta y entre sus principales atractivos turísticos se encuentra la localidad balnearia de Pehuen-Có. El clima de este sector costero de la Provincia de Buenos Aires se puede considerar como templado de transición. Los vientos son moderados registrándose las mayores frecuencias de la dirección N-NW. La velocidad media del viento, varía entre 9 y 13 km/h. Dichas características de intensidad y frecuencia permiten el aprovechamiento para la generación de energía eólica. Con precipitaciones medias anuales de aproximadamente 600 mm y una humedad relativa media del 68%, es una región en donde se alternan períodos húmedos y secos. Las lluvias se concentran en primavera y verano, decrecen en otoño, y son mínimas en invierno.

En esta región se encuentra la Reserva Geológica, Paleontológica y Arqueológica Provincial Pehuén Co - Monte Hermoso que es un área protegida que data de una antigüedad de más de 12.000 años y que contiene impresas las pisadas de megaterios, gliptodontes, mastodontes y macrauchenias, entre otros animales del pasado. La Reserva Natural conserva un corte labrado por el ingreso marino durante el Holoceno: un registro geológico, paleontológico y arqueológico de características extraordinarias. Conformar una franja de aguas, playas y barrancas de importancia excepcional debido a su rico yacimiento de paleocnitas. Tiene una superficie total de 16.5 km<sup>2</sup> y se extiende a lo largo de 25 km de playa. El yacimiento está constituido por capas de limo arcilloso que asoman entre la arena de la playa. Presenta numerosas huellas de diferentes

tipos de aves y mamíferos que vivieron en la región hace unos 12 mil años, constituyendo un yacimiento único en su tipo. Precisamente su importancia paleontológica radica en la calidad y cantidad de esas huellas presentes, muchas de ellas pertenecientes a grandes mamíferos extinguidos, también la conservación de restos fósiles de más de 5 millones de años. (<http://www.opds.gba.gov.ar/index.php/articulos/ver/842>).

Las aguas costeras de Monte Hermoso y Pehuén Co se caracterizan por sus temperaturas relativamente cálidas durante el verano contrariamente a lo esperable para la región. Esto impulsó un gran desarrollo turístico que, de no ser así, hubiera sido mucho más limitado. Se supone que la presencia de aguas cálidas se deberían a la advección de una masa con alta temperatura proveniente del estuario de Bahía Blanca transportando, además, una significativa carga de sedimentos y, en ciertas condiciones, medusas que inciden negativamente con las actividades de los turistas (ver, por ejemplo, Perillo et al., 2005).

Hacia el W de la Rada de Monte Hermoso se encuentra la zona de Baterías y la de seguridad del polígono de artillería de la estación de experiencia de Puerto Belgrano, reservadas para maniobras y ejercicios de la Armada Argentina. En esta zona, todos los años, se realizan ejercicios navales (a veces en conjunto con otras fuerzas) que involucran centenares de hombres y cuentan con situaciones de apoyo de fuego aéreo, evacuación médica, apoyo logístico, comunicaciones, saltos y desembarco, entre otras actividades que movilizan helicópteros, botes de goma, vehículos anfibios, avisos y transportes navales.

### 3. Antecedentes

La ausencia de un monitoreo ambiental costero sistemático, fundamentalmente de parámetros de olas, entre el estuario de Bahía Blanca y Puerto Quequén, hace que prácticamente no se disponga de trabajos científicos concernientes a la dinámica costera de esta región. En contraposición, el sector NE de la costa bonaerense, ubicado entre Mar del Plata y Punta Rasa, ha sido objeto de mayor interés por parte de la comunidad científica probablemente debido al gran desarrollo turístico que caracteriza a esta región, sobre todo en la estación estival donde, por ejemplo en el Partido de la Costa en 2012 se registraron más de un millón de turistas (<http://ambito.com/noticia.asp?id=622655>).

La marea en la región costera bonaerense va del régimen mixto predominantemente semidiurno (Puerto Quequén) a semidiurno hacia el W de Monte Hermoso (SHN, 2013). La componente de marea más importante es la semidiurna lunar principal ( $M_2$ ) cuya superposición con la componentes diurnas produce una señal con desigualdades diurnas. En la zona de estudio la amplitud de marea astronómica aumenta gradualmente hacia el W (SHN, 2013; Simionato et al., 2004). En la zona de Necochea-Quequen la marea tiene una amplitud media de 1.02 m (con una máxima amplitud de 1.78 m). Más hacia el W, en Monte Hermoso, la marea presenta una amplitud media de 2.42 m y una máxima de 3.48 m (SHN, 2013).

Por otro lado, las ondas de tormenta (ODT) positivas - es decir, la sobreelevación de las aguas producida por el efecto del viento - han sido estudiadas por Etala (2000) y por Pierini (2007) en la región del estuario de Bahía Blanca. La coincidencia de mareas altas, con ODT positivas y oleaje intenso (Dragani et al., 2013), ha causado inundaciones catastróficas en áreas costeras, amenazando, cobrando vidas y produciendo daños económicos y materiales en la zona costera. El efecto combinado de ODT con las olas potencia el efecto de la erosión de las mismas sobre las playas. La ODT genera un aumento del nivel del mar, sobre el cual se desarrollan las olas, permitiendo que estas lleguen y erosionen zonas que en condiciones normales quedarían secas. Fiore et al. (2009) realizaron un estudio estadístico de cambios en la frecuencia, duración e intensidad de ODT positivas y negativas para el período 1905-2003 para Mar del Plata. Hallaron, entre otras cosas, que la frecuencia decaica promedio en las últimas tres décadas se ha incrementado para las ondas de tormenta positivas y ha disminuido para ondas de tormenta

negativas. Lamentablemente no se disponen de estudios estadísticos específicos sobre ODT en el área costera comprendida entre Puerto Quequén y Bahía Blanca debido a la carencia de mediciones continuas y sistemáticas del nivel del mar en este sector de la costa.

Con respecto al oleaje, en el litoral atlántico bonaerense se dispone de observaciones (visuales) costeras en Pinamar desde 1979 al 2013, realizadas por el SHN. Sobre la base de un estudio realizado con dichos datos se estimaron los estadísticos más importantes surgiendo que la altura media de la rompiente es 0.87 m con un período asociado de 9.2 s (Speroni et al., 1999a). En Punta Médanos se registraron olas entre fines de la década de los 70's y comienzos de los 80's, con dos olígrafos no direccionales (Waverider/Datawell) ubicados en la isobata de 10 m donde los registros analógicos obtenidos fueron analizados con el método de Draper (1966). Entre Pinamar y Bahía Blanca no se dispone de mediciones prolongadas y sistemáticas que permitan elaborar una estadística confiable del clima de olas en esa área costera. En Puerto Quequén y en el canal de acceso al Puerto de Bahía Blanca se dispone de registros de olas relativamente cortos y con brechas de longitudes variables. Estudios preliminares (Framiñan, 1990) basados en datos de viento indican que para la región del estuario de Quequén, la altura de ola de rompiente es de 1.33 m y el período de 8 s. Cabe destacar que desde mayo de 2012 está operando la Estación de Observaciones Costera de Mar del Plata del SHN (EOC-MDP) en donde actualmente se estiman visualmente los parámetros de ola dos veces al día.

Desde 2006 en Puerto Quequén se están relevando los parámetros de olas con un instrumento direccional cerca de la escollera S pero, a la fecha, la cantidad de datos disponible no permite elaborar una estadística o climatología confiable. Asimismo, en la Torre mareográfica del canal de acceso a Bahía Blanca se están midiendo parámetros ambientales costeros, entre ellos olas con un sensor no direccional. La serie de datos disponible es corta y discontinua lo que no permite la construcción de un clima de olas para la región S de la costa bonaerense.

Las alturas deducidas de la altimetría satelital (por ejemplo, con TOPEX o GEOSAT, <http://science.nasa.gov/missions/topex-poseidon/>) ofrecen una alternativa válida para llenar este vacío de información en la región. Sin embargo las alturas obtenidas satelitalmente no son confiables para la zona costera y, por otro lado, a la fecha, son no direccionales. Los modelos globales de olas implementados por los grandes centros meteorológicos mundiales, por ejemplo,



el NCEP/NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml> ) ofrecen también una muy buena alternativa para cubrir áreas con información deficitaria. Sin embargo, éstos al presente poseen una baja resolución espacial sirviendo como referencia confiable para la estimación del oleaje en aguas profundas (en general zonas con profundidades superiores a 40-50 m) o para suministrar condiciones de borde a modelos locales.

Para paliar de alguna manera la carencia de mediciones directas de olas se recurre frecuentemente a la simulación numérica de olas con modelos implementados y validados local o regionalmente. Dragani et al. (2008) implementó y validó el modelo numérico SWAN para el Río de la Plata (RDP) exterior y la plataforma continental adyacente – que incluye el sector S de la costa bonaerense – ajustando cuidadosamente la arquitectura óptima para las simulaciones numéricas en lo que respecta a la selección del dominio computacional, la resolución espacial y temporal, la batimetría, y las condiciones iniciales y de borde. Los resultados de este modelo son utilizados como información de base para la realización del presente trabajo.

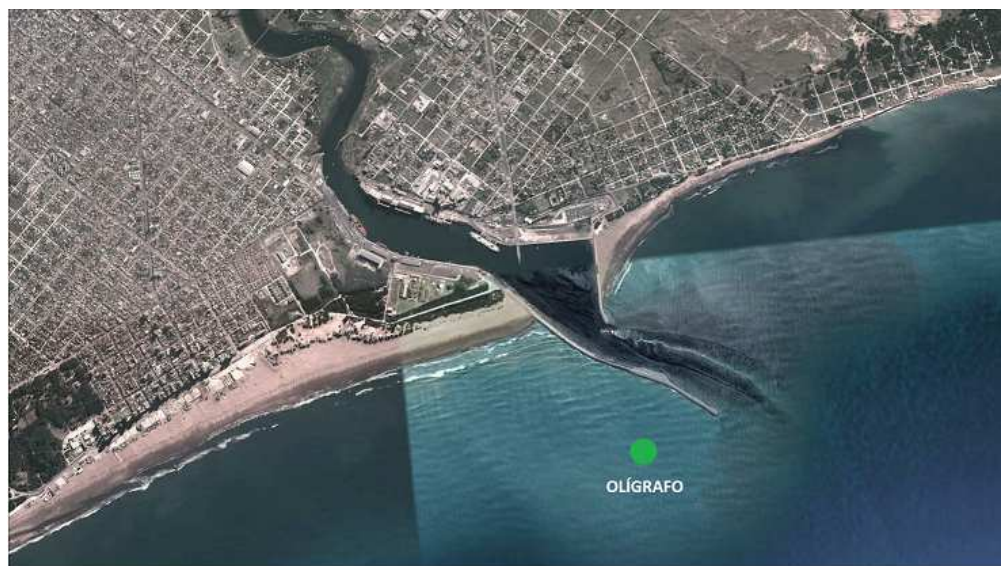
Con respecto a la corriente litoral, algunas estimaciones indirectas disponibles para la zona de Quequén, indican que la dirección predominante (más frecuente) es hacia el W con intensidades medias de 0.4 m/s, aunque la deriva litoral neta parecería ser hacia el E, con máximos de  $1.3 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/año (Framiñan, 1990). Consecuentemente, existe cierta incertidumbre sobre la dirección predominante del flujo de energía o del transporte en el sector costero ubicado al W de Puerto Quequén. Justamente, en este trabajo se investigan algunos aspectos relacionados con la dirección predominante del flujo de energía en la región.

## 4. Datos utilizados

### 4.1 Olas

#### 4.1.1. Puerto Quequén

En este trabajo se utilizaron parámetros de olas medidos por un ológrafo marca Interocean System modelo S4ADW instalado a unos 400 m de distancia de la escollera S de Puerto Quequén ( $38^{\circ} 32' 05''\text{S}$ ,  $58^{\circ} 43' 00''\text{W}$ ) a una profundidad aproximada de 13 m (Fig. 4.1). El período de registros disponibles se extiende desde el 2005 al 2012. Sin embargo, cabe aclarar que durante este período la serie de datos presenta discontinuidades, existiendo brechas muy prolongadas con datos faltantes debido a inconvenientes propios del instrumento.



*Figura 4.1. Puerto Quequén y posición del ológrafo. Fuente: Google Earth.*

Este instrumento (S4ADW) integra la familia de los S4 (<http://www.interoceansystems.com/s4main.htm>), los cuales son equipos diseñados para la adquisición de datos hidrográficos/oceanográficos. Este conjunto de equipos permite medir directamente variables como intensidad y dirección de la corriente, oleaje direccional y marea. También puede operar como un CTD (conductividad, temperatura y profundidad) y opcionalmente pueden adicionarse

sensores para la medición de turbidez y clorofila. El rango de profundidad para su fondeo va de 0 a 70 m, siendo esta versión del instrumento ideal para aguas de plataforma. La frecuencia de adquisición de datos es de 2 Hz (un dato cada 0.5 s) con una resolución teórica de 0.004 m para la profundidad, 0.002 m/s para la intensidad y  $0.5^\circ$  en la dirección. El material de la cubierta (esfera) es de fibra de vidrio epóxica (incorrosible) y posee un eje de amarre de titanio. Su peso es de 11 kg y su diámetro de 0.25 m.

Este instrumento pertenece al Consorcio de Gestión del Puerto de Quequén y forma parte del Sistema de Medición de Mareas, Olas y Viento del Puerto (SMOV) que brinda información oceanográfica y meteorológica. En un primer momento este sistema se utilizó como apoyo para la construcción de la ampliación de la escollera S y a posteriori se constituyó en una importante ayuda a la navegación de buques en el canal de acceso. A partir de los datos medidos por el equipo se dispone de una serie de tiempo con parámetros estadísticos medidos cada 20 minutos constituida por  $H_{m\acute{a}x}$ ,  $H_s$ ,  $H_{1/10}$ ,  $T_{m\acute{a}x}$ ,  $T_p$ ,  $T_s$  y dirección del oleaje, los cuales se definen a continuación:

$H_{m\acute{a}x}$ : altura de ola máxima del registro.

$H_s$ : altura de ola significativa (promedio del tercio de olas más altas). Es el parámetro más usado a la hora de describir un estado de mar y coincide aproximadamente con la estimación visual de los navegantes.

$H_{1/10}$ : altura promedio del décimo de olas de mayores alturas en el registro.

$T_{m\acute{a}x}$ : períodos de ola máxima.

$T_p$ : período del pico espectral.

$T_s$ : período asociado a la  $H_s$ .

Dirección: dirección media (magnética) en la cual es máximo el flujo de energía de las olas presentes en cada registro. Corresponde a la dirección desde donde vienen las olas.

En este trabajo, para caracterizar a los parámetros de ola en la validación realizada, se utilizó  $H_s$  y  $T_p$ .

#### 4.1.2. Canal de acceso a Bahía Blanca

A la altura del Km 60 del canal principal de acceso a Bahía Blanca se emplaza la Torre Mareográfica (Fig. 4.2.). Se trata de una estructura metálica consistente en una caño de 1.52 m de diámetro, hincado sobre el lecho marino aproximadamente a 3500 m del canal principal de acceso, en su parte superior dispone de paneles solares que la proveen de la energía que necesita para funcionar. El instrumental instalado en la torre transmite automáticamente datos de altura de marea, altura de ola y velocidad y dirección del viento en esa zona, a la estación receptora ubicada en Puerto Ingeniero White proporcionándole información a la Delegación de Vías Navegables, a la Prefectura Naval Argentina y el sistema de control de tráfico (VTS) del Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca en tiempo real.



*Figura 4.2. Torre mareográfica emplazada en el Km 60 del canal principal de acceso a Bahía Blanca.*

Las alturas de las olas son medidas por un sensor de presión que sondea el nivel del mar con una frecuencia de 10 Hz durante un período de 2 minutos. El instrumento mide desde agosto del 2001 hasta la actualidad. Sin embargo para este estudio se dispone de tan solo 2 meses de registro: junio a julio de 2009, que fueron facilitados por el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-CONICET).

## **4.2. Viento**

El forzante atmosférico utilizado para el modelo SWAN, implementado por Dragani et al. (2008), fueron los campos de las componentes zonal y meridional del viento a 10 m obtenidos de reanálisis de NCEP/NCAR. Los reanálisis no son observaciones directas sino que son el resultado de un análisis que combina observaciones de radiosonda alrededor del mundo, observaciones remotas recolectadas con instrumentos satelitales y un modelo numérico físico (Kalnay et al., 1996). El resultado de este análisis es una grilla con una resolución espacial de  $1.875^\circ$  de longitud y  $1.905^\circ$  de latitud con una resolución temporal de 6 h. La principal ventaja del reanálisis es la consistencia física y la relativamente alta cobertura temporal (desde el 01/01/1948 hasta el presente).

## **4.3. Batimetría**

Los datos de batimetría para el modelo SWAN fueron obtenidos a partir del ensamble entre la base de datos de profundidades GEBCO (2003) con una resolución  $1' \times 1'$  y la proveniente de la digitalización de las cartas náuticas del SHN (1986, 1992, 1993, 1999a y 1999b). Estos datos (longitud, latitud y profundidad) fueron interpolados para cada uno de los nodos de una matriz (grilla o reticulado) del dominio computacional del modelo aplicando el método de interpolación espacial ponderado por la inversa de la distancia, entre el nodo y la posición del dato, al cuadrado. Cabe aclarar que todas profundidades se refirieron al nivel medio del mar.

## 5. Modelado numérico de olas

### 5.1. El modelo de olas utilizado. Descripción general.

El modelo SWAN (“Simulating Wave Nearshore”) es una herramienta numérica que se utiliza particularmente en zonas costeras. Está basado en la ecuación de balance de la acción de energía ( $S/f$ , del inglés “wave action balance equation”) siendo  $S$  la energía espectral de olas y  $f$  la frecuencia (inversa del período de la ola) por ser esta cantidad más conveniente desde el punto de vista de su conservación. Para este trabajo se utilizaron los resultados de las simulaciones de Dragani et al. (2008), que tenían como objetivo la simulación de olas en la zona exterior del RDP. Sin embargo, dado que el dominio computacional que se utilizó en ese trabajo (RDP y plataforma adyacente, Fig. 5.1) incluye la región de estudio de esta tesis (costa S bonaerense), los resultados obtenidos han sido considerados aquí para estudiar la zona costera comprendida entre Quequén y Bahía Blanca. La resolución espacial del modelo fue de 22.7 km x 20.0 km y la temporal de 6 h.

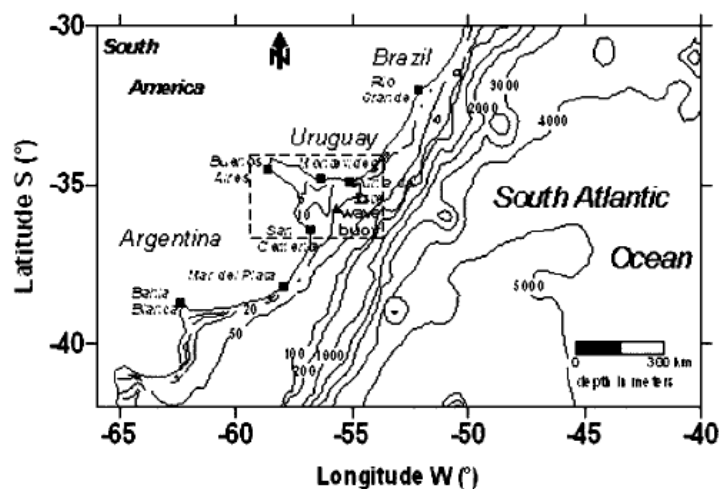


Figura 5.1. Dominio computacional utilizado por Dragani et al. (2008).

Los resultados obtenidos con el modelo descrito fueron validados oportunamente con observaciones obtenidas en la boca del RDP por la empresa de dragado Jan de Nul. Para ello se computaron los errores cuadráticos medios (Erms) entre las alturas significativas, los períodos y

las direcciones simuladas y observadas resultando 0.37 m y 2.3 s y 61°, respectivamente. Los diagramas de dispersión correspondientes entre los parámetros observados y las alturas y direcciones simuladas se muestran en la Fig. 5.2. En la misma se observa una buena correlación para las alturas y direcciones observadas en el RDP y simuladas con SWAN, con un coeficiente de determinación,  $r^2$  de 0.93 para  $H_s$  y de 0.82 para la dirección. Por otro lado, coincidentemente con Lin et al. (2002), el modelo SWAN subestimó los períodos simulados en aproximadamente 2s.

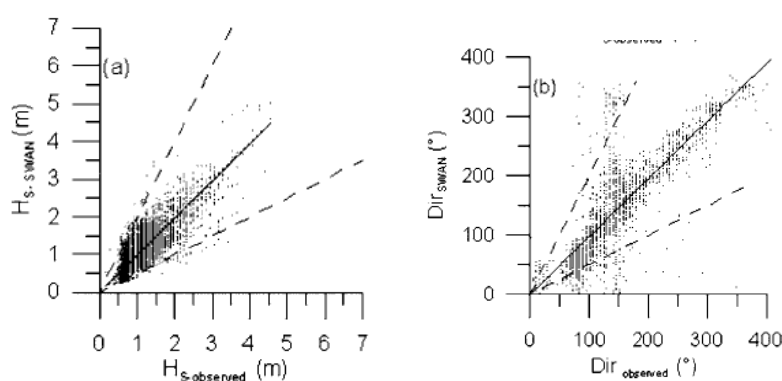


Figura 5.2. Diagrama de dispersión entre (a) alturas significativas y (b) direcciones, observadas en la boca del RDP y simulados con SWAN, basado en 3596 pares de datos. La línea sólida representa la recta de ajuste obtenida por el método de cuadrados mínimos. Las líneas punteadas son la recta de pendiente 0.5 y 2 puestas como referencia. Fuente: Dragani et al. (2008).

## 5.2. Nodos seleccionados para este trabajo

El objetivo de este trabajo es estudiar el oleaje y el flujo de energía paralelo a la costa en el sector S de la provincia de Buenos Aires, al W del Puerto de Mar del Plata. Para ello, originalmente, se consideraron 54 nodos del dominio computacional, ubicados en la región costera de la provincia de Buenos Aires, entre Monte Hermoso y Mar del Plata, aproximadamente (puntos rojos de la Fig. 5.3). Luego se hizo una nueva selección en donde se eligió una línea de nodos paralelos a la costa (puntos azules, Fig. 5.3) los cuales cubren bastante homogéneamente la zona costera bajo



este estudio, de los cuales se estudiaron los parámetros de olas. Cada uno de los nodos seleccionados fue caratulado con un número para facilitar el análisis de los resultados (Fig. 5.4).

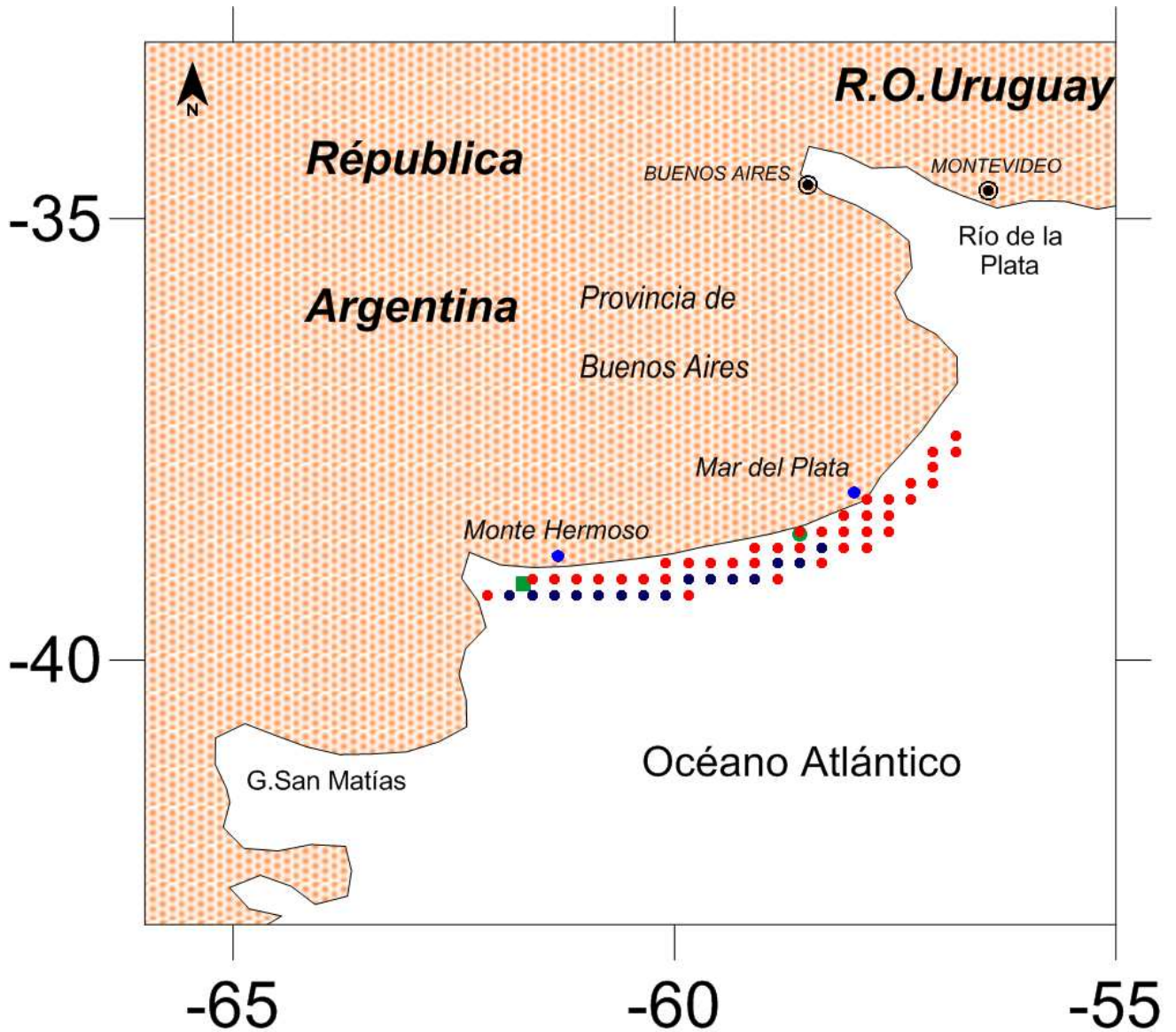


Figura 5.3. Zona de estudio. Los puntos rojos corresponden a los nodos considerados preliminarmente y los azules a los seleccionados definitivamente. El punto verde corresponde a la posición del ológrafo de Puerto Quequén y el cuadrado a la posición del sensor de presión ubicado en adyacencias del canal principal de acceso a Bahía Blanca.



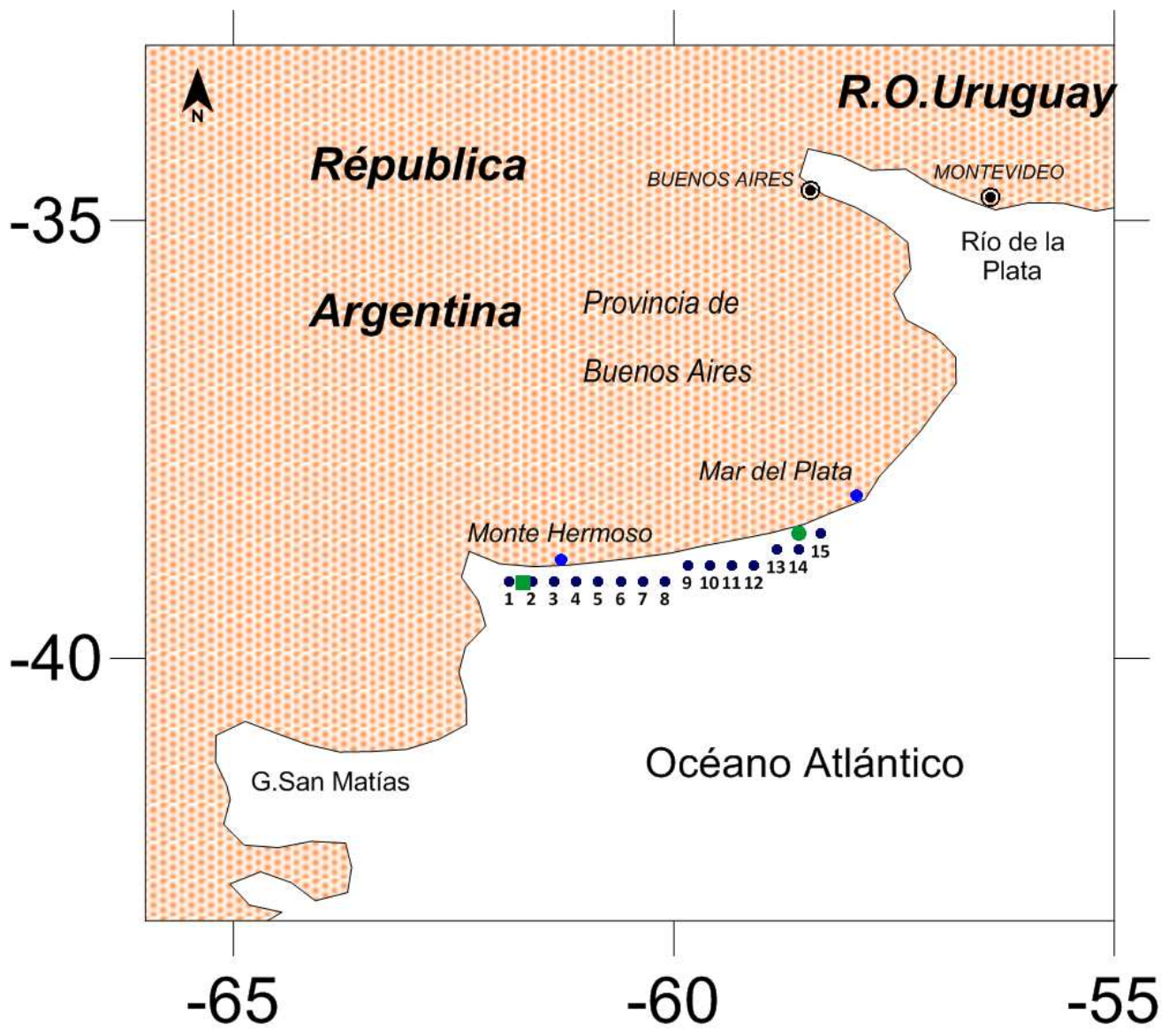


Figura 5.4. Nodos seleccionados para este trabajo. El punto verde de mayor tamaño indica el nodo que se corresponde con la posición del olígrafo de Puerto Quequén y el cuadrado la posición del sensor de presión ubicado en adyacencias del canal principal de acceso a Bahía Blanca.

### 5.3. Validación de los resultados de SWAN en Puerto Quequén

En primer lugar se compararon los parámetros de ola obtenidos con el modelo SWAN, correspondientes a un nodo ubicado en las proximidades de Puerto Quequén (Figs. 5.3 y 5.4) con los obtenidos con el ológrafo Interocean System modelo S4ADW (Sección 4.1). Para poder realizar esta validación fue necesario primeramente compatibilizar ambos registros, ya que ambas series no tienen la misma frecuencia de adquisición de datos. Mientras que las observaciones son cada 20 min., las simulaciones son cada 6 h. Se seleccionaron entonces las Hs, Tp y direcciones observadas temporalmente más próximas a los parámetros provenientes de las simulaciones. A los fines prácticos de esta validación, y considerando que la serie de observaciones tenía interrupciones significativas, se optó por seleccionar un lapso del registro observado que estuviera lo más completo posible (2007). Luego se compararon las Hs observadas con las modeladas. A continuación se muestra el diagrama de dispersión obtenido (Fig. 5.5).

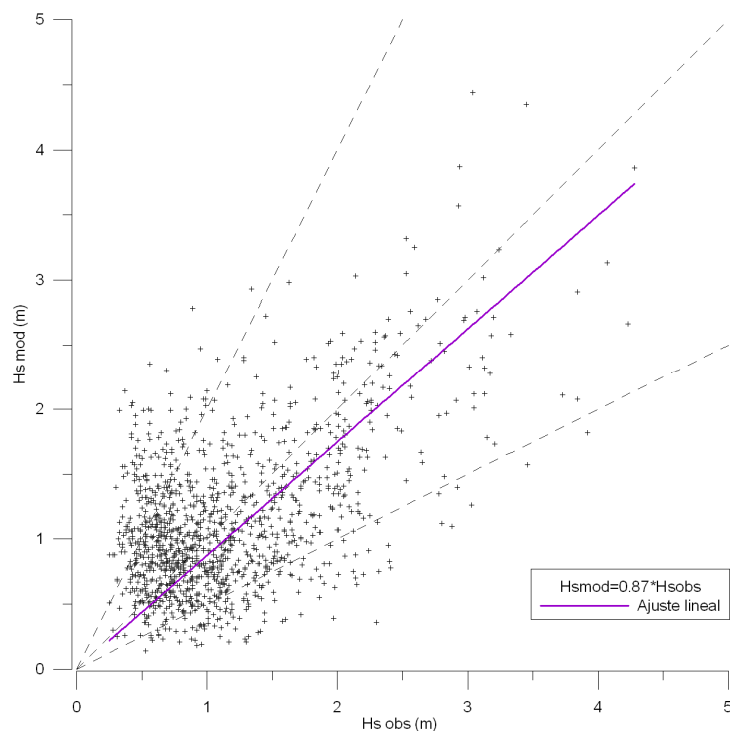


Figura 5.5. Diagrama de dispersión entre Hs modelada y observada correspondiente al nodo más cercano al ológrafo al Puerto Quequén para el año 2007. Se presenta la recta de ajuste lineal obtenida y los parámetros de la misma.

Cabe aclarar que en la Fig. 5.5 se excluyó una Hs máxima observada (6 m) debido a que al incluirla se perjudicaba la escala gráfica de la figura. En la Fig. 5.5 se puede observar una notable dispersión entre las simulaciones y las observaciones ( $r^2 = 0.8$ ) aunque se aprecia una tendencia general del modelo a reproducir a las observaciones. La pendiente de la recta que se observa en el gráfico es aproximadamente 0.9, por lo cual se concluye que el modelo subestima la altura de olas. Por otro lado se realizó un análisis similar entre las direcciones simuladas y observadas. Se pudo concluir del mismo que la correlación entre direcciones medidas y las simuladas con el modelo no es muy buena. Finalmente, al comparar los períodos obtenidos con el modelo con las observaciones se apreció claramente que el modelo subestima las observaciones en al menos 2-3 s, lo cual se corresponde con lo esperado, ya reportado por otros autores (Lin et al., 2002).

La causa de estas diferencias entre la simulaciones y las observaciones podría deberse a que la distancia entre la posición del ológrafo y la del nodo más cercano es relativamente grande (el nodo se ubica a aproximadamente 20 km aguas afuera del instrumento). Al estar el ológrafo muy cerca de la costa y el nodo más cercano a varios kilómetros mar adentro, algunos fenómenos de transformación de olas como, por ejemplo, la refracción, el bajío y la difracción batimétrica, podrían estar modificando sustancialmente las alturas y direcciones del oleaje costero y provocar entonces diferencias significativas entre las observaciones y las simulaciones.

#### **5.4. Validación de los resultados de SWAN en el canal de acceso a Bahía Blanca**

Para la validación del modelo SWAN en aguas adyacentes al estuario de Bahía Blanca se utilizó la misma metodología explicada en la sección 5.3. Es decir, primeramente se compatibilizaron las observaciones y las simulaciones para disponer de pares de alturas comparables. El diagrama de dispersión obtenido entre alturas medidas y modeladas se muestra en la Fig. 5.6. Es importante notar que el lapso utilizado para la validación en este caso no se encuentra dentro del período de simulaciones analizadas. El grado de ajuste no es muy bueno apreciándose nuevamente una

subestimación en las alturas. Debe tenerse en cuenta que, en este caso, el nodo del modelo no coincide exactamente con la posición de la Torre Mareográfica.

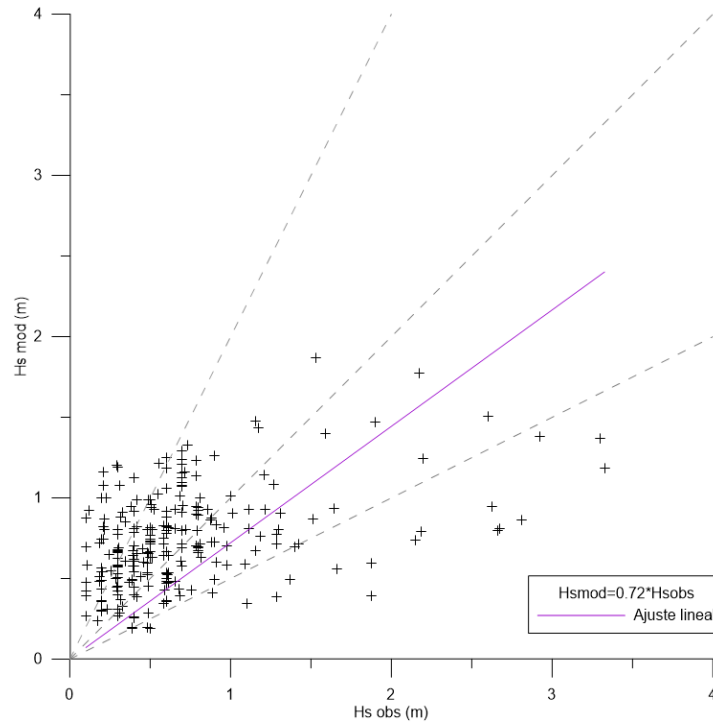


Figura 5.6. Diagrama de dispersión entre Hs modelada y observada correspondiente al nodo más cercano a la Torre Mareográfica del canal de acceso de bahía Blanca, para el período junio - julio de 2009. Se presenta la recta de ajuste lineal obtenida y los parámetros de la misma.

### 5.5. Validación de los resultados de SWAN durante eventos energéticos en Quequén

Un punto particular al que se le prestó especial atención es la capacidad del modelo SWAN implementado para reproducir eventos severos (tormentas) en adyacencias de Puerto Quequén. Se tomó este sitio por disponerse de un registro de olas significativamente más largo que el de Bahía Blanca. Se seleccionaron los eventos más intensos y se compararon con las simulaciones del modelo. En las Figs. 5.7 y 5.8 se muestran, a modo de ejemplo, dos eventos energéticos, para junio y julio de 2007, caracterizados por Hs mayores a 3.5 m.

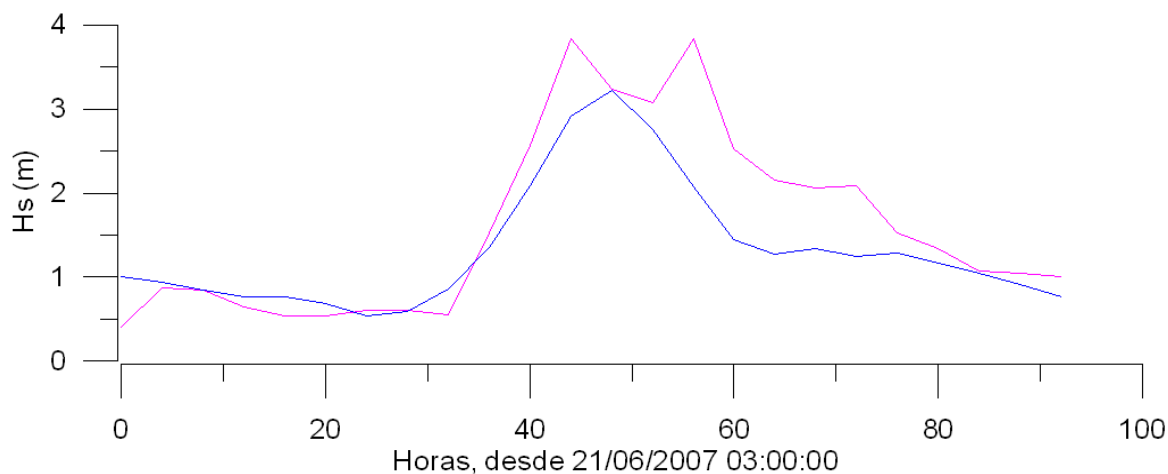


Figura 5.7. Evento severo del 22 y 23 de junio de 2007 en Quequén. La línea azul indica las alturas modeladas y la rosa las medidas.

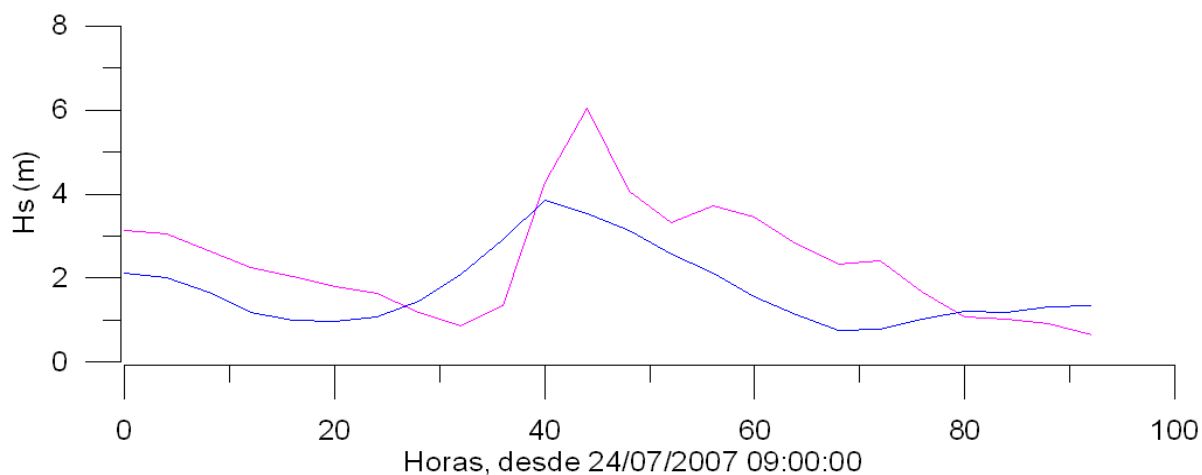


Figura 5.8. Evento severo del 25 y 26 de julio de 2007 en Quequén. La línea azul indica las alturas modeladas y la rosa las medidas.

Sobre la base de esta comparación se concluye que el modelo tiene la capacidad de captar los eventos energéticos. En ambos casos estudiados se aprecia una subestimación en las Hs simuladas pero, sin embargo, se observa una razonable coincidencia temporal en la posición de los extremos, notándose que en el evento de junio el máximo modelado ocurre entre los dos picos observados y, en el evento de julio, el máximo modelado ocurre unas 10 h antes del observado.

Por lo tanto, los resultados de las simulaciones disponibles captan razonablemente bien los instantes de los máximos pero subestiman un poco las Hs de los mismos.

Concluyendo, aunque la validación del modelo SWAN para Puerto Quequén y para el canal de acceso a Bahía Blanca no resultó ser tan satisfactoria como la obtenida para el RDP exterior, es importante destacar que los sitios de medición estaban mucho más cerca de la costa que los nodos disponibles del modelo. Consecuentemente, los resultados del modelo SWAN correspondiente a los 15 nodos seleccionados podrían ser, tal vez, más representativos del oleaje imperante en aguas profundas (AP, donde el cociente entre la profundidad local y la longitud de onda de la ola supera 0.5) que del costero, en donde las rompientes, la refracción y la difracción batimétrica, la reflexión costera, el bajío y la fricción de fondo juegan un papel relevante en la transformación no sólo de la Hs sino también de la dirección de propagación de las olas.

## 6. Resultados

### 6.1 Olas

En esta sección se analizan los resultados de las simulaciones (Dragani et al., 2008; Dragani et al., 2010) correspondientes a la zona costera comprendida entre Puerto Quequén y Bahía Blanca. Este estudio se realizó sobre los 15 nodos seleccionados sobre la costa de Buenos Aires (Fig. 5.4). Para cada uno de estos nodos se cuenta con valores simulados de altura, dirección y período de olas, cada 6 h, entre 1971 y 2005. Para cada nodo se computó la altura media anual resultando 15 series temporales de 35 años de datos sobre las cuales se estimó la tendencia lineal (pendiente de la recta de ajuste). En la Fig. 6.1 se muestra, a modo de ejemplo, la serie temporal de Hs medias anuales correspondiente al nodo 13 (Fig. 5.4) ubicado aproximadamente entre el Puerto de Mar del Plata y el de Quequén.

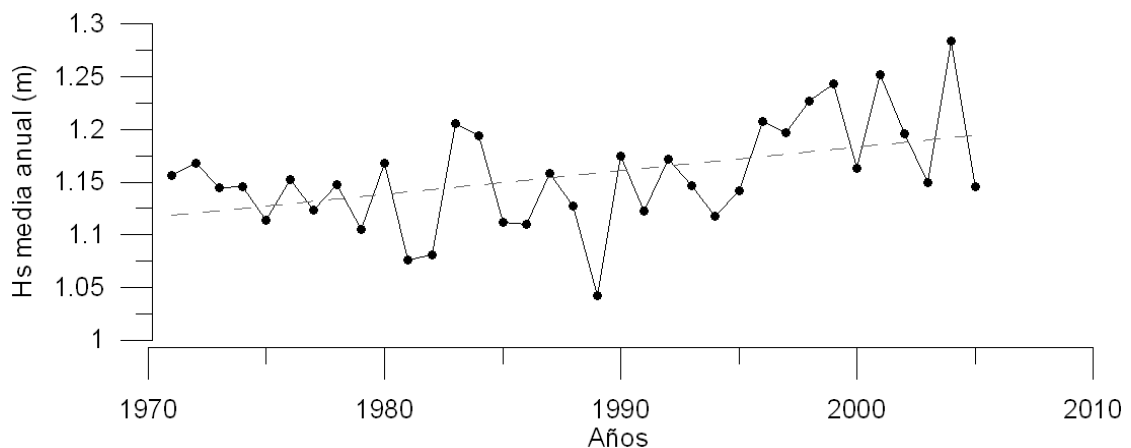


Figura 6.1. Hs media anual correspondiente al nodo 13 (Fig. 5.4; 38.75° S, 58.83° W). La recta correspondiente al ajuste lineal se indica con trazo punteado. La pendiente obtenida (tendencia) es 22 mm/década y el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) es 0.20.

En la Tabla 6.1 se muestran los valores medios y máximos anuales de las Hs obtenidas para cada uno de los nodos analizados correspondientes a los resultados de las simulaciones del modelo SWAN para el período de 35 años considerado (1971-2005). En la misma se aprecia que la Hs media (máxima) anual aumenta hacia el E, desde 0.40 m (1.16 m) en cercanías del estuario de

Bahía Blanca hasta valores que no superan 1.37 m (8.72 m) en inmediaciones del Puerto Quequén.

<i>Nodo</i>	<i>Hs</i> <i>(media)</i>	<i>Hs</i> <i>(máxima)</i>
<b>1</b>	0.40	1.16
<b>2</b>	0.67	3.02
<b>3</b>	0.72	3.11
<b>4</b>	0.81	3.6
<b>5</b>	0.90	4.13
<b>6</b>	1.00	4.95
<b>7</b>	1.11	6.12
<b>8</b>	1.20	6.78
<b>9</b>	1.18	6.86
<b>10</b>	1.24	7.33
<b>11</b>	1.30	7.77
<b>12</b>	1.35	8.26
<b>13</b>	1.31	8.55
<b>14</b>	1.37	8.72
<b>15</b>	1.32	8.52

*Tabla 6.1. Hs media y máxima (m) para cada uno de los quince nodos seleccionados.*

Posteriormente se testearon si las tendencias de la Hs media anual (no direccional) obtenidas para cada nodo eran significativamente diferentes de cero. Para ello se utilizó el test t-Student con un nivel de significancia del 90%. Se concluye que las tendencias obtenidas resultaron ser significativamente distintas de cero para doce de los quince nodos estudiados. En la Fig. 6.2 se presentan las tendencias estimadas. Los puntos verdes representan los nodos en donde las tendencias resultaron ser significativamente diferentes de cero. En contraposición, los rojos indican los nodos en los que la tendencia resultaron ser no significativamente distinta de cero. En dicha figura se puede notar que los valores de tendencias aumentan hacia el este.



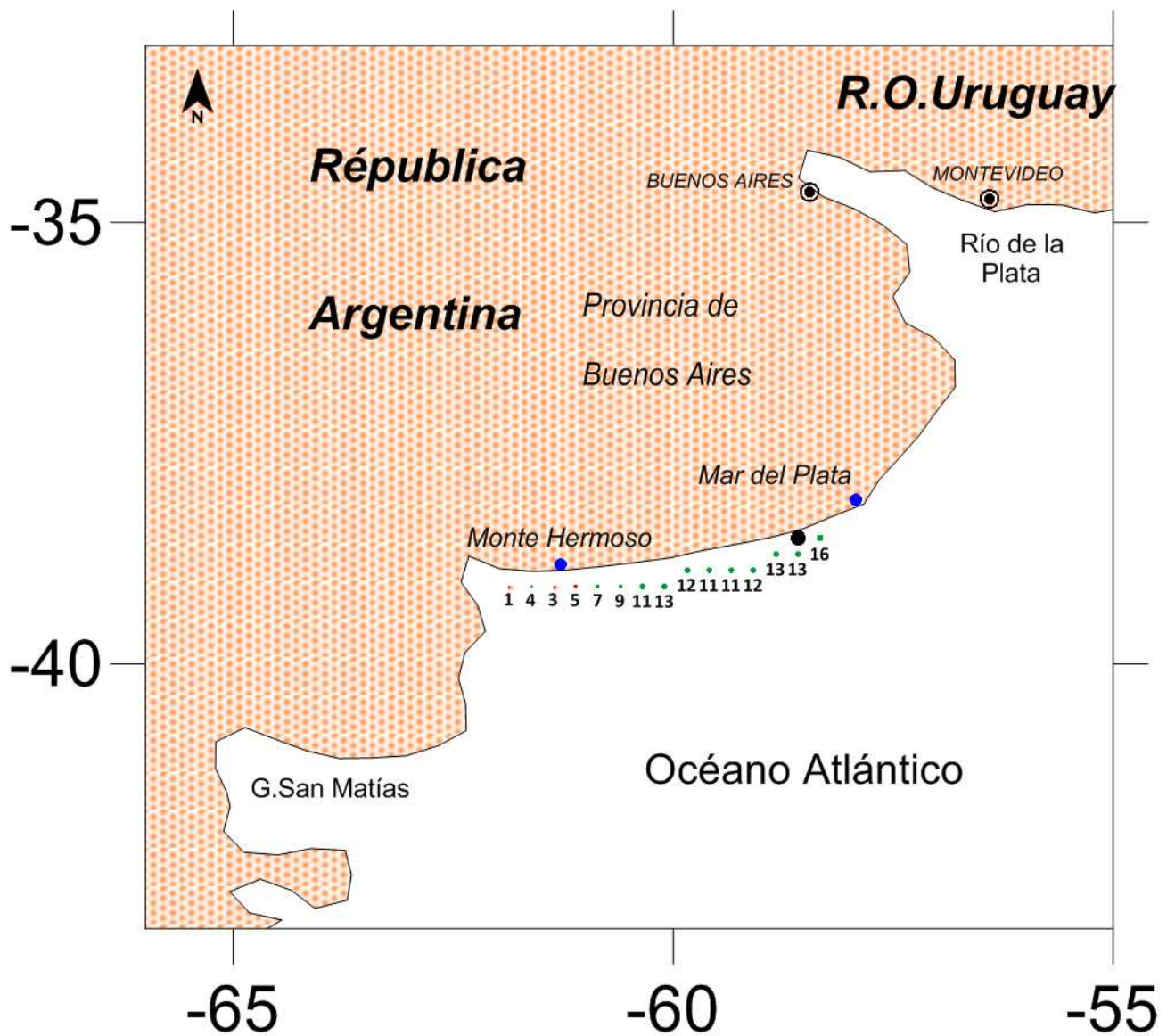


Figura 6.2. Tendencias estimadas. Los puntos verdes representan los nodos en donde las tendencias resultaron ser significativamente diferentes de cero y los rojos en donde no. Las tendencias estimadas son todas positivas. El tamaño de los símbolos es proporcional al valor de la tendencia (mm/década).

A continuación se presentan las tendencias estimadas para la misma región costera pero discriminando por dirección. Para esto, primero, se consideraron las Hs simuladas para las ocho direcciones principales (N, NE, E, etc.) y se practicó la misma metodología de análisis para cada una de las ocho direcciones para cada uno de los quince nodos seleccionados. Se obtuvieron así las tendencias por direcciones y se contrastaron nuevamente con el test t-Student, con un nivel de significancia del 90 %. En las figuras comprendidas entre la 6.3 y la 6.10 se presentan las tendencias estimadas para cada una de las ocho direcciones principales de la rosa de los vientos. De la misma manera, los puntos verdes representan los nodos en donde las tendencias resultaron ser significativamente diferentes de cero. En contraposición, los rojos indican los nodos en los que la tendencia resultaron ser no significativamente distinta de cero.

En la Fig. 6.3 se observa que los tres nodos más orientales y los dos más occidentales presentan tendencia no significativas. Los diez nodos restantes muestran valores de tendencia positivos, que varían entre 6 y 20 mm/década. Las mayores tendencias aparecen en el centro de la zona de estudio mientras que los mínimos valores se presentan en los bordes oriental y occidental de la zona costera analizada.

En la Fig. 6.4 se puede ver que para la dirección del NE del total de 15 nodos en 6 se obtuvieron valores de tendencias no significativas, y que 9 si son significativas. Además se observa que los que dieron tendencias significativas son los nodos que están ubicados al W. Los valores de la tendencia varían nuevamente entre 10 mm/década y 27 mm/década, y son todos positivos.

A diferencia que en los casos correspondientes a las direcciones N y NE, Figs. 6.3 y 6.4, respectivamente, para la dirección E (Fig. 6.5) puede notarse que de los quince nodos en nueve la tendencia no es significativamente diferente de cero. Los valores de las tendencias varían entre 8 y 25 mm/década.

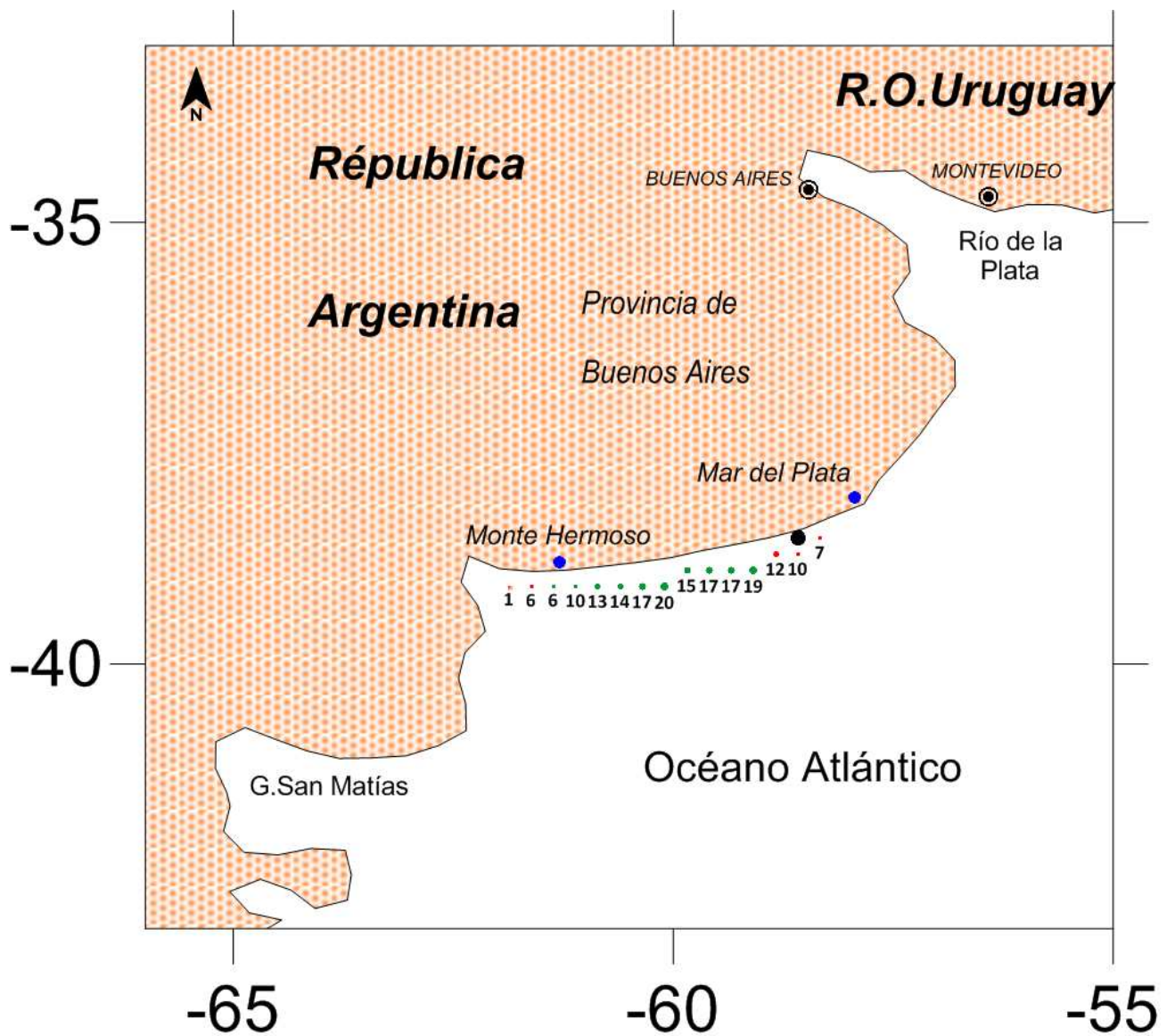


Figura 6.3. Tendencias estimadas para olas provenientes del N, direcciones mayores que  $337.5^\circ$  y menores que  $22.5^\circ$ . Los puntos verdes representan los nodos en donde las tendencias resultaron ser significativamente diferentes de cero y los rojos en donde no. Las tendencias estimadas son todas positivas. El tamaño de los símbolos es proporcional al valor de la tendencia (mm/década).



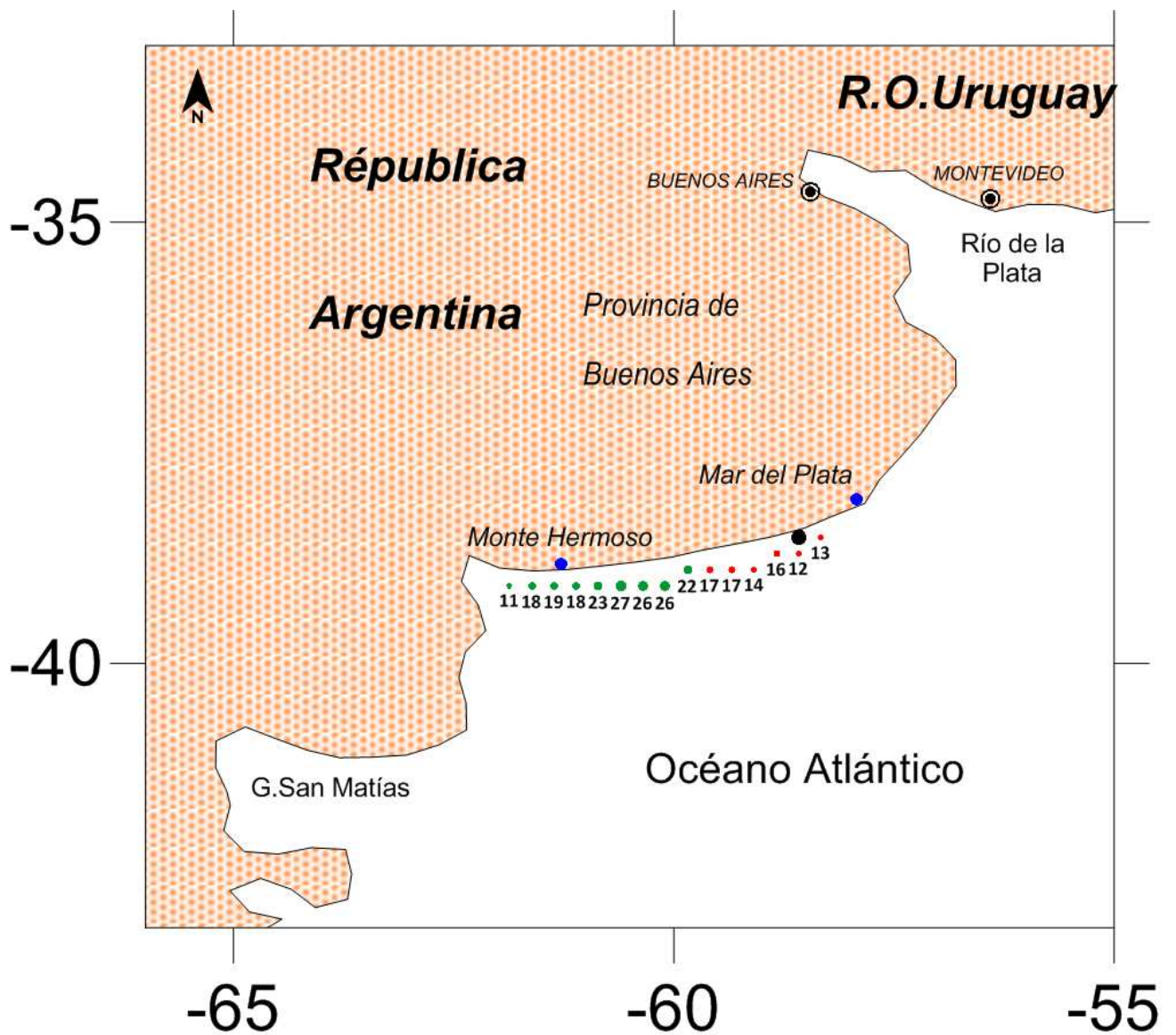


Figura 6.4. Tendencias estimadas para olas provenientes del NE, direcciones mayores que  $22.5^\circ$  y menores que  $67.5^\circ$ . Los puntos verdes representan los nodos en donde las tendencias resultaron ser significativamente diferentes de cero y los rojos en donde no. Las tendencias estimadas son todas positivas. El tamaño de los símbolos es proporcional al valor de la tendencia (mm/década).

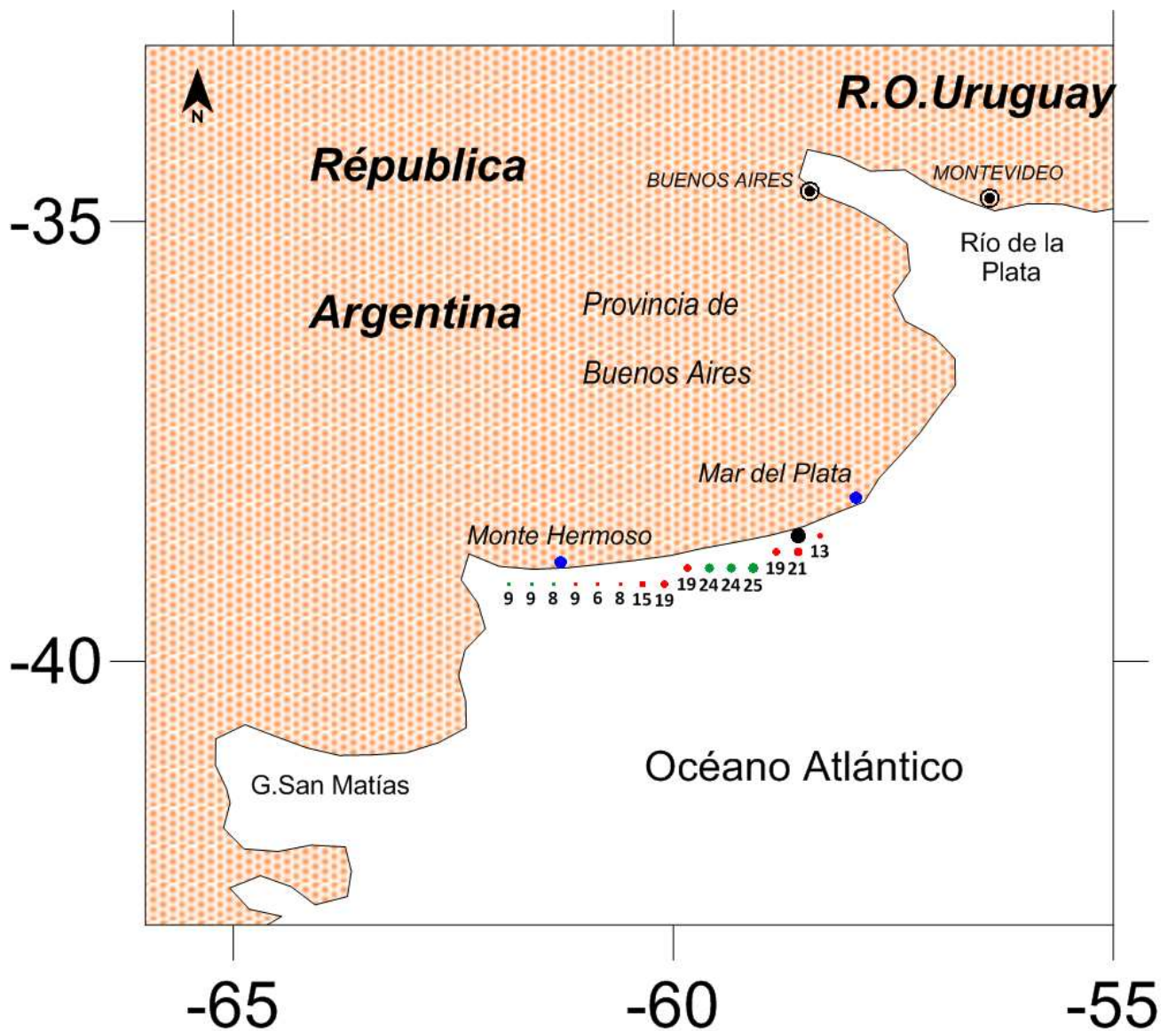


Figura 6.5. Tendencias estimadas para olas provenientes del E, direcciones mayores que  $67.5^\circ$  y menores que  $112.5^\circ$ . Los puntos verdes representan los nodos en donde las tendencias resultaron ser significativamente diferentes de cero y los rojos en donde no. Las tendencias estimadas son todas positivas. El tamaño de los símbolos es proporcional al valor de la tendencia (mm/década).

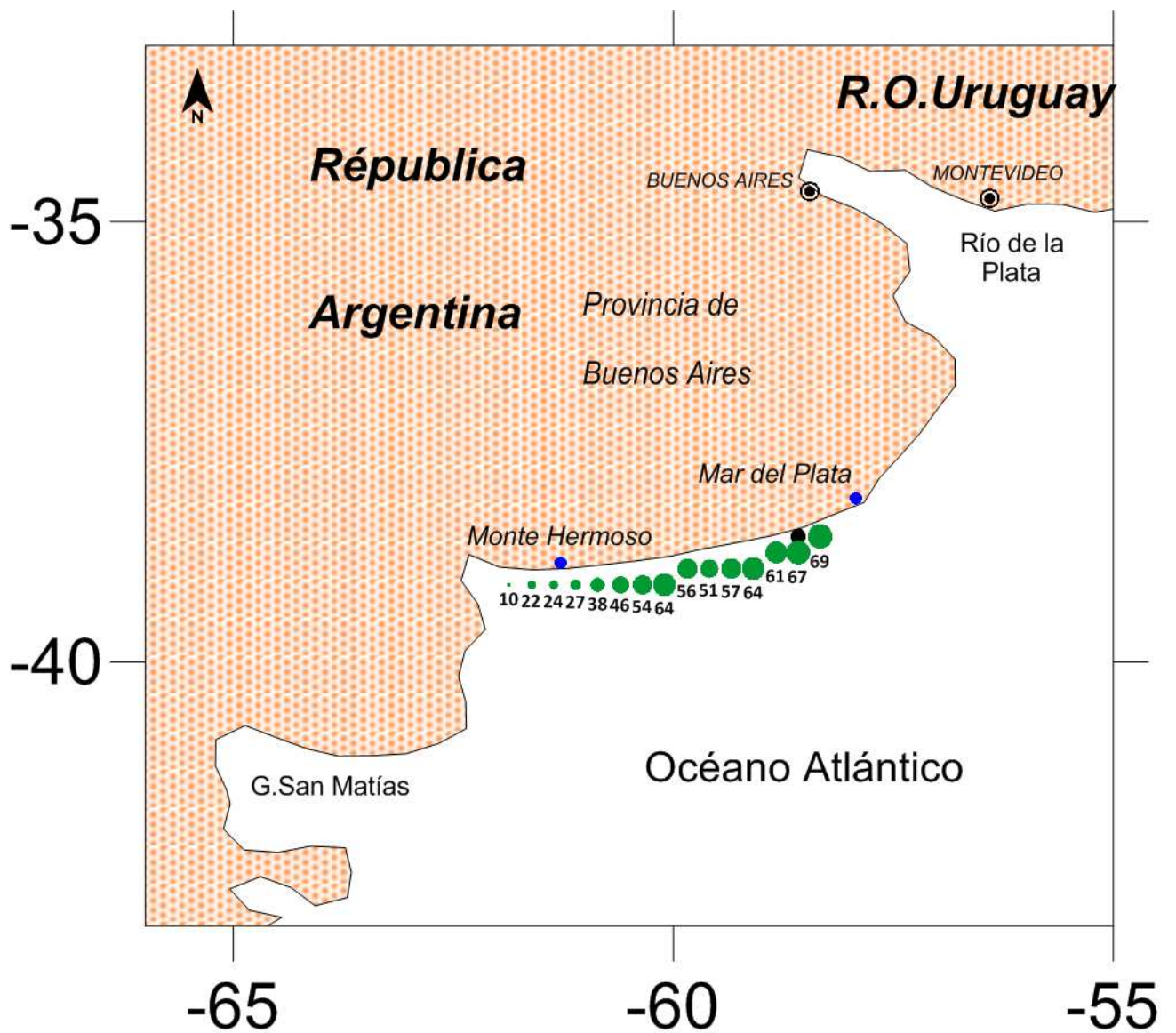


Figura 6.6. Tendencias estimadas para olas provenientes del SE, direcciones mayores que  $112.5^\circ$  y menores que  $157.5^\circ$ . Los puntos verdes representan los nodos en donde las tendencias resultaron ser significativamente diferentes de cero y los rojos en donde no. Las tendencias estimadas son todas positivas. El tamaño de los símbolos es proporcional al valor de la tendencia (mm/década).



Los resultados correspondientes a la dirección SE (Fig. 6.6) presentan un comportamiento diferente al de los casos anteriores: todos los nodos presentan tendencias (positivas) significativas y, además, son mayores que los obtenidos previamente para las direcciones N, NE y E, comprendidas entre 10 y 69 mm/década. Es particularmente interesante notar que las tendencias aumentan hacia el E hasta 69 mm/década pero se aprecian dos máximos relativos intermedios de 64 mm/década. Sugestivamente, los valores máximos corresponden a los nodos más alejados de la costa respondiendo más a una característica de la grilla computacional que a un aspecto físico de la variable analizada ( $H_s$ ).

Los resultados correspondientes a la dirección S (Fig. 6.7) presentan un comportamiento similar al de la dirección SE. Aquí también las tendencias aumentan hacia el E, pero el máximo de 54 mm/década no está ubicado en el extremo oriental del área estudiada, donde la tendencia es de 43 mm/década. Aquí también los valores máximos corresponden a los nodos más alejados de la costa.

Para la dirección SW (Fig. 6.8) las tendencias presentan valores (positivos y negativos) no significativos en los quince nodos analizados. Para la dirección W (Fig. 6.9) también los valores de las tendencias en todos los nodos son no significativos, pero es interesante notar que para esta dirección todos los nodos presentan valores de tendencia negativos. Finalmente, para la dirección NW (Fig. 6.10) puede observarse que las tendencias son no significativas y, además, presentan valores más pequeños que en caso anterior (dirección W, Fig. 6.9). Dada la dirección de la costa en región, prácticamente E-W para las direcciones del oleaje del W y NW es esperable obtener valores de altura y de tendencia relativamente bajos debido a la limitación geográfica de la zona de generación de olas (“fetch”).

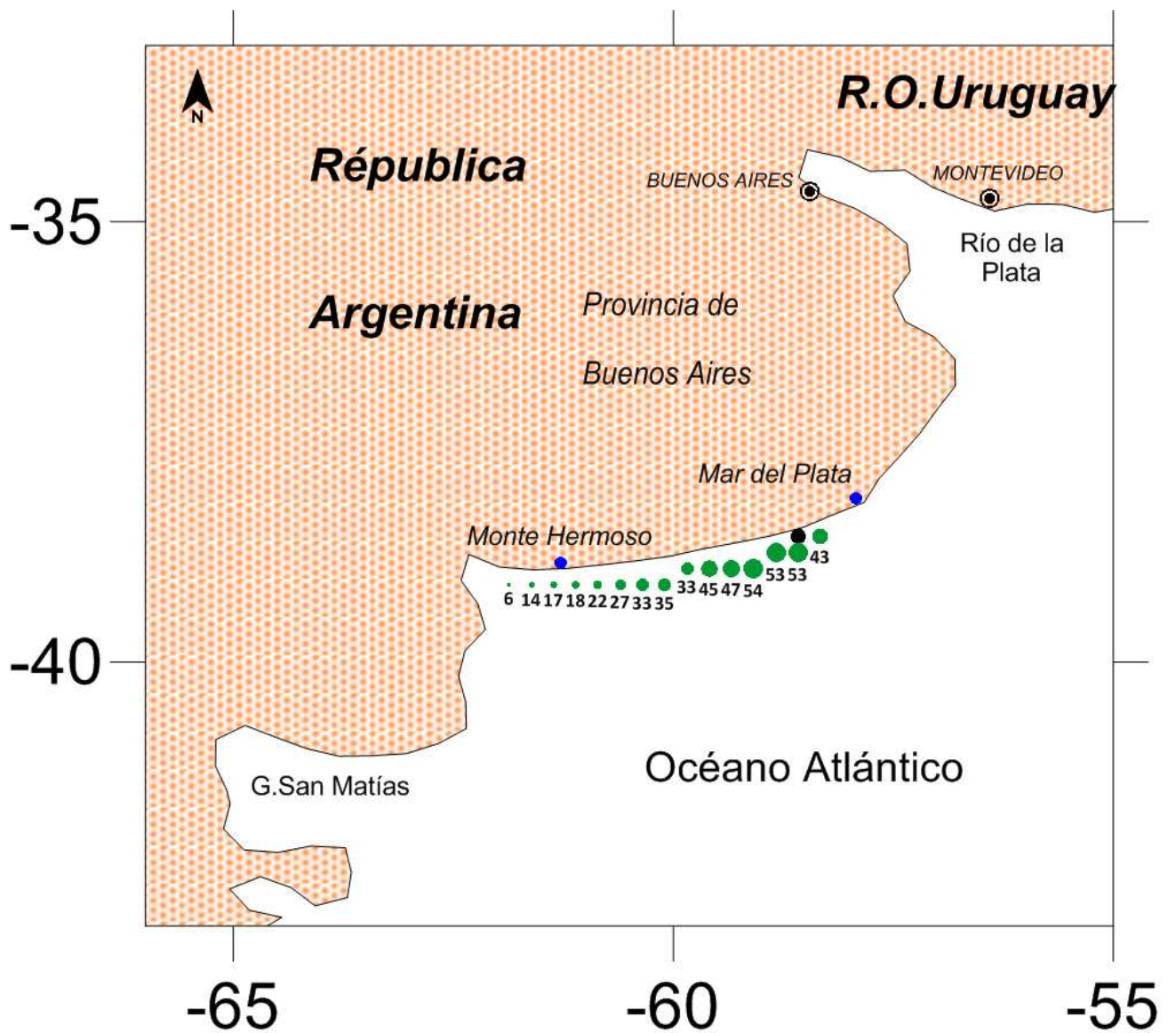


Figura 6.7. Tendencias estimadas para olas provenientes del S, direcciones mayores que  $152.5^\circ$  y menores que  $202.5^\circ$ . Los puntos verdes representan los nodos en donde las tendencias resultaron ser significativamente diferentes de cero y los rojos en donde no. Las tendencias estimadas son todas positivas. El tamaño de los símbolos es proporcional al valor de la tendencia (mm/década).



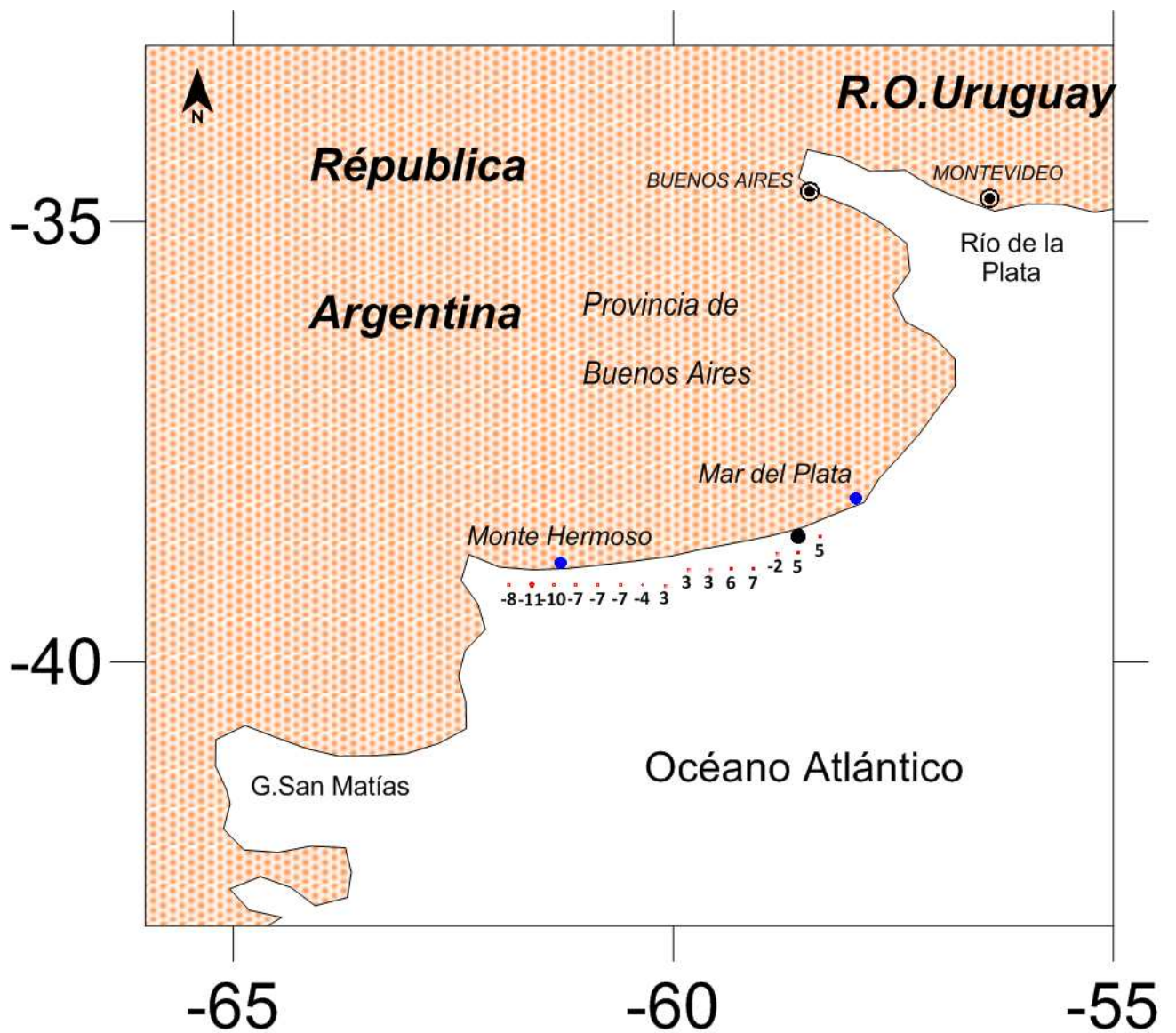


Figura 6.8. Tendencias estimadas para olas provenientes del SW, direcciones mayores que  $202.5^\circ$  y menores que  $247.5^\circ$ . Todas las tendencias resultaron ser significativamente no diferentes de cero. Los círculos llenos corresponden a tendencias positivas y los vacíos a negativas. El tamaño de los símbolos es proporcional al valor de la tendencia (mm/década).

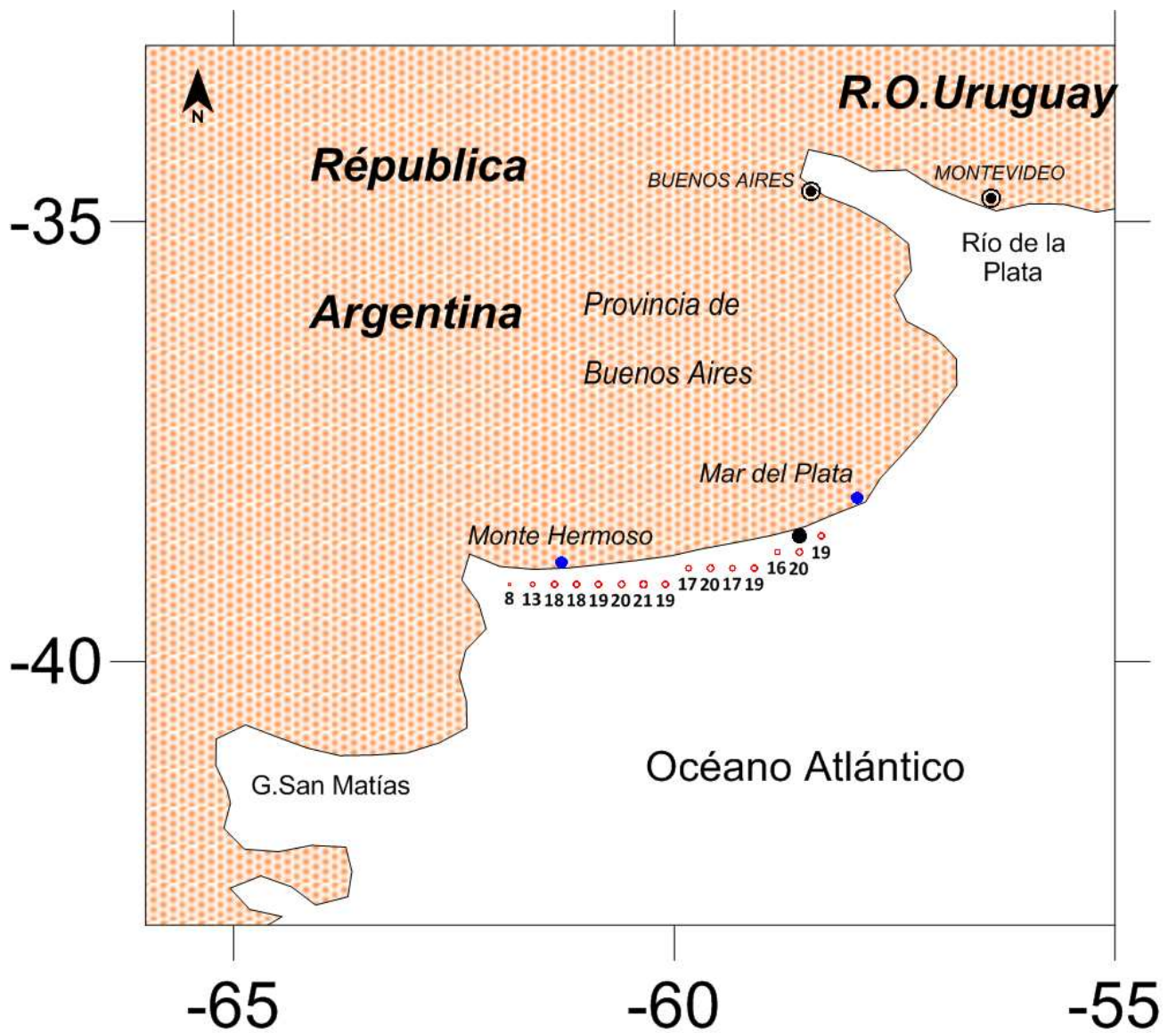


Figura 6.9. Tendencias estimadas para olas provenientes del W, direcciones mayores que  $247.5^\circ$  y menores que  $292.5^\circ$ . Todas las tendencias resultaron ser significativamente no diferentes de cero. Las tendencias estimadas son todas negativa, aunque no se indique el signo negativo. El tamaño de los símbolos es proporcional al valor de la tendencia (mm/década).

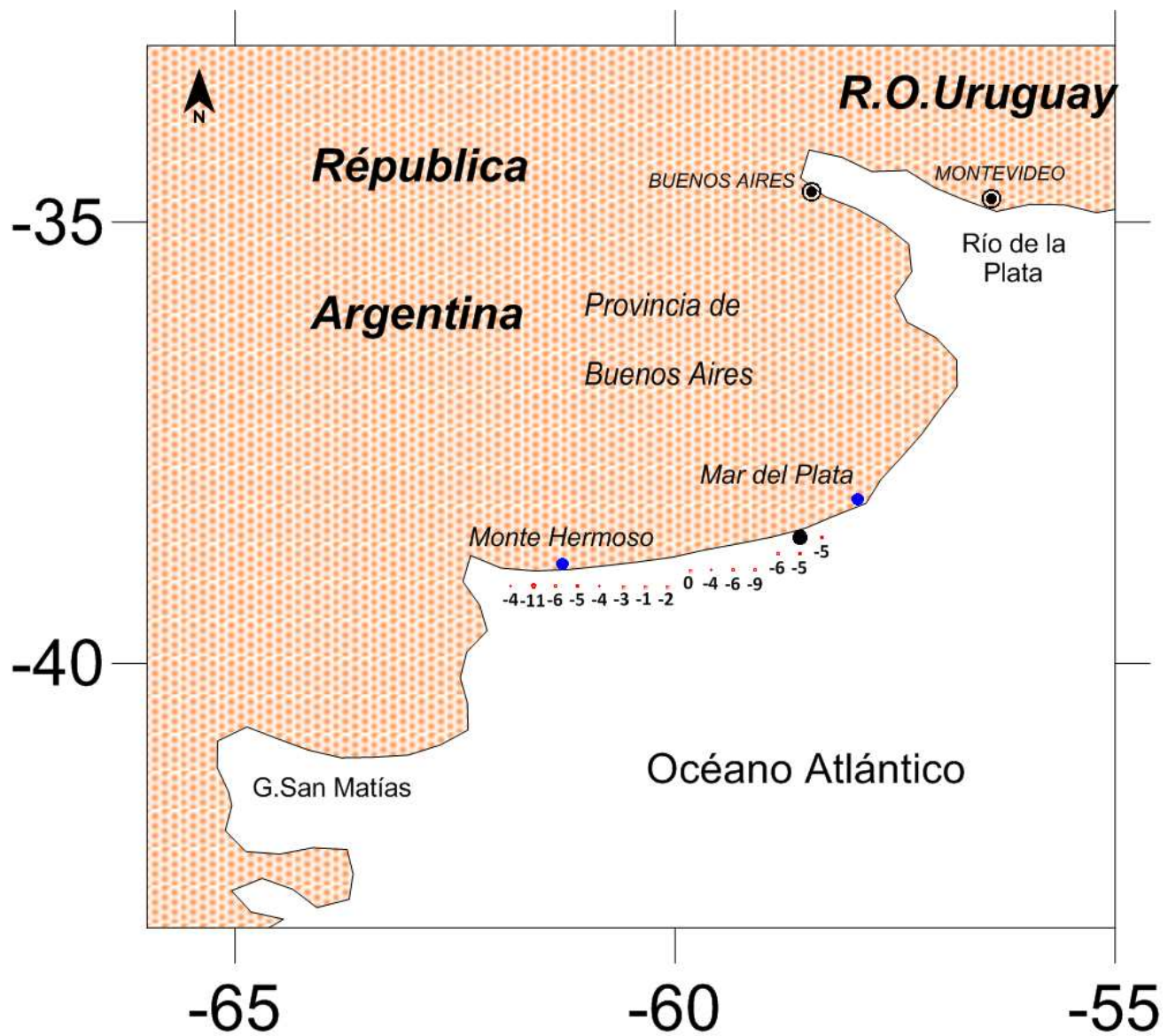


Figura 6.10. Tendencias estimadas para olas provenientes del NW, direcciones mayores que  $292.5^\circ$  y menores que  $337.5^\circ$ . Todas las tendencias resultaron ser significativamente no diferentes de cero. Los círculos llenos corresponden a tendencias positivas y los vacíos a negativas. El tamaño de los símbolos es proporcional al valor de la tendencia (mm/década).



## 6.2 Flujo de energía de olas

Utilizando los valores de  $H_s$  y de dirección de las olas obtenidas de las simulaciones numéricas con SWAN se estimó el flujo de energía paralelo a la costa por unidad de ancho de playa generado por la incidencia oblicua de las olas ( $Pl$ ) utilizando la ec. 1:

$$Pl = 0.05 \rho g^{3/2} H_{so} (\cos \alpha_0)^{1/4} (\sin 2\alpha_0) \quad (1)$$

La misma se presenta en el Shore Protection Manual (CERC, 1984) y está escrita para ser utilizada con parámetros de olas obtenidos en AP, donde  $\rho$  es la densidad del agua de mar (constante e igual a  $1030 \text{ kg/m}^3$ ),  $g$  es la aceleración debida a la gravedad (constante e igual a  $9.8 \text{ m/s}^2$ ),  $H_{so}$  es la altura significativa de ola en AP, y  $\alpha_0$  es la dirección entre la dirección de la propagación de las olas y la recta imaginaria normal a la línea de costa ( $\alpha_0$  igual a  $0^\circ$  corresponde a la incidencia normal respecto de la línea de costa).

Primeramente las direcciones de las olas se redefinieron considerando  $0^\circ$  a la dirección correspondiente a la incidencia normal a la costa. Para esto se consideró que la línea de costa, en el sector estudiado, presenta una dirección aproximada  $83^\circ - 263^\circ$ , es decir, cercana a la dirección E – W (SHN, 2008 carta H-210) y, por lo tanto, la dirección normal a la costa hacia el mar es  $163^\circ$  (es decir,  $17^\circ$  hacia el E de la dirección S). Luego, se discriminaron las direcciones positivas de las negativas, es decir, las provenientes de la izquierda y de la derecha respecto de un observador ubicado en la costa y que mira hacia el mar. Se aplicó la ec. (1) y se computó el  $Pl$  de izquierda y de derecha para cada condición del oleaje (parámetros disponibles cada 6 h) y con estos se evaluó el  $Pl$  anual de izquierda, de derecha y el neto. Resultaron de esta manera series constituidas por 35 valores anuales de  $Pl$  de izquierda, de derecha y neto para cada uno de los quince nodos analizados.

En la Tabla 6.2. se presentan los  $Pl$  medios (anuales) y máximos (correspondiente al período de 35 años) de derecha y de izquierda para cada uno de los nodos seleccionados. Cabe señalar que el transporte potencial neto anual de arena ( $\text{m}^3/\text{año}$ ) puede ser estimado multiplicando los valores de  $Pl$  medio (J/ms) por 1290 (CERC, 1984) lo cual, para la zona de estudio, estarían dando transportes potenciales comprendidos entre valores prácticamente nulos y aproximadamente 2

10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/año. Hacia el E de la zona de estudio este último valor es ligeramente superior al obtenido en un estudio previo (1.3 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/año) por Framiñan (1990).

<i>Nodo</i>	<i>PI</i> ( <i>medio</i> )	<i>PI</i> ( <i>máx. izq.</i> )	<i>PI</i> ( <i>máx. der.</i> )
<b>1</b>	-17	-203	145
<b>2</b>	-40	-781	616
<b>3</b>	59	-917	877
<b>4</b>	92	-1318	1227
<b>5</b>	121	-1969	1652
<b>6</b>	207	-2870	2326
<b>7</b>	394	-3869	3258
<b>8</b>	712	-4878	4193
<b>9</b>	789	-4849	4192
<b>10</b>	1062	-5546	4900
<b>11</b>	1219	-6686	5513
<b>12</b>	1398	-7723	6102
<b>13</b>	1312	-7496	6044
<b>14</b>	1568	-8127	6774
<b>15</b>	1500	-7304	6404

*Tabla 6.2. PI medio y máximos anuales (J/ms) de izquierda y de derecha para cada uno de los quince nodos seleccionados. Período analizado 1971 – 2005.*

En la Tabla 6.2 se aprecia que tanto los valores medios de PI como los máximos (provenientes de la derecha y de la izquierda) aumentan de W a E. Sin embargo, al analizar el signo del PI medio anual se observa que en la mayoría de los nodos el flujo es desde la derecha, ya que el valor medio es positivo (nodos del 3 al 15), mientras que para los nodos ubicados más hacia el W (nodos 1 y 2, flujos negativos) la dirección correspondiente es desde la izquierda. En consecuencia, según los resultados del modelo SWAN, entre el nodo 2 y 3 existiría una zona de divergencia del flujo de energía de olas paralelo a la costa o de flujo mínimo.

Sobre la serie de PI correspondiente a cada nodo se realizó un ajuste lineal utilizando el método de mínimos cuadrados. Las pendientes (tendencias) obtenidas en cada caso se testearon utilizando t-Student, adoptando un nivel del confianza del 90%. En la Figs. 6.11-6.13 se muestra, a modo de ejemplo, las series temporales de PI neto, de derecha y de izquierda para el nodo 5 (Fig. 5.4;

39.12° S, 60.85° W). En primer lugar, es de destacar que sobre la base de estos resultados numéricos se aprecia que el PI neto si bien es predominante del W (derecha) alterna con períodos de marcado PI neto anual del E (Fig. 6.11). Asimismo las tendencias del PI neto, de derecha y de izquierda presentan tendencias negativas lo cual indicaría una reducción del PI y, en consecuencia, una disminución en la capacidad de transporte de arena en ese sector de la costa.

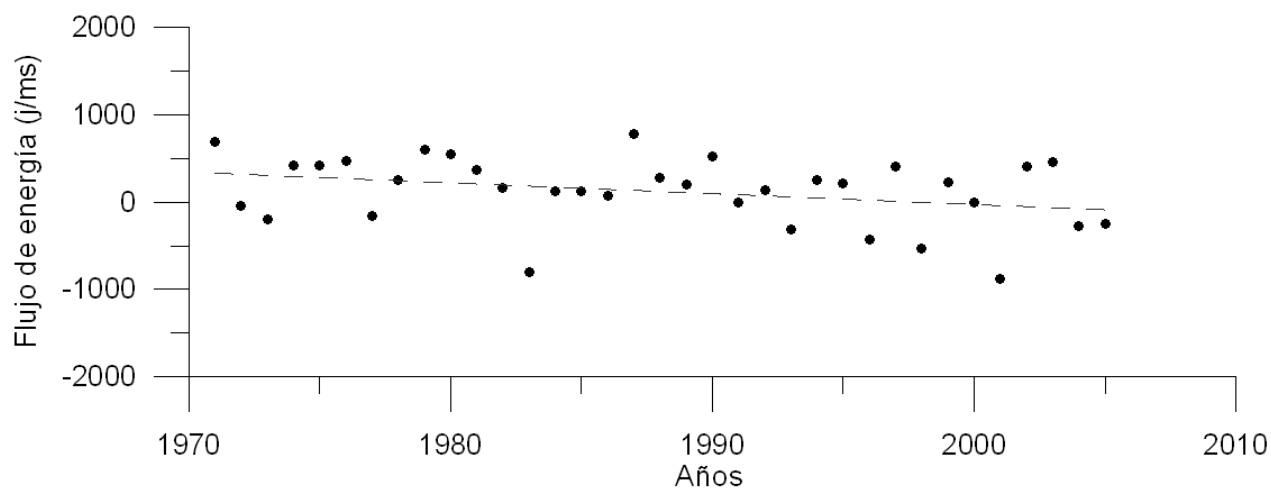


Figura 6.11. PI neto (1971 - 2005) para el nodo 5 (Fig. 5.4; 39.12° S, 60.85° W). La línea punteado representa la recta obtenida por el ajuste lineal, la pendiente (tendencia) es  $-12.37$  (J/ms)/año y el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) es 0.1.

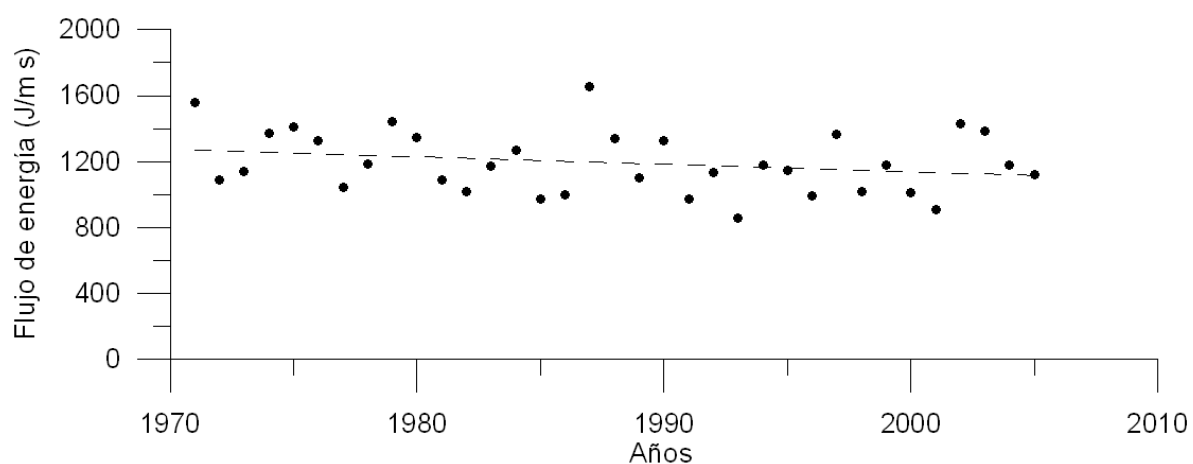
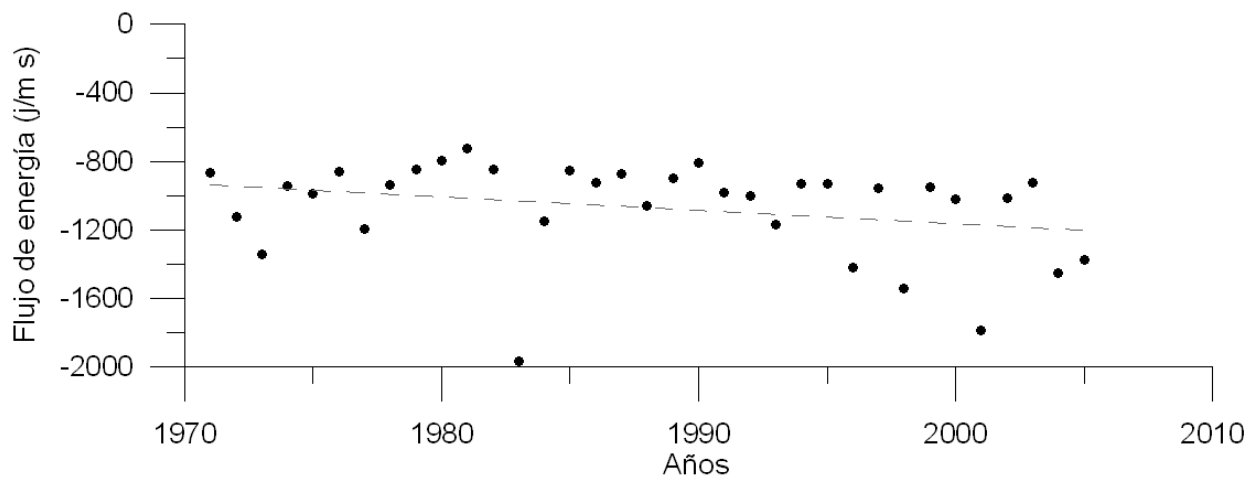


Figura 6.12. PI de derecha (1971 - 2005) para el nodo 5 (Fig. 5.4; 39.12° S, 60.85° W). La línea punteado representa la recta obtenida por el ajuste lineal, la pendiente (tendencia) es  $-4.55$  (J/ms)/año y el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) es 0.04.



*Figura 6.13. PI de izquierda (1971 - 2005) para el nodo 5 (Fig. 5.4; 39.12° S, 60.85° W). La línea punteado representa la recta obtenida por el ajuste lineal, la pendiente (tendencia) es -7.82 (J/ms)/año y el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) es 0.08.*

Teniendo en cuenta la variabilidad temporal del signo de PI mencionada precedentemente se realizó un análisis particular estudiando la cantidad de años con PI neto mayor y menor que cero. En la Fig. 6.14 se observa que cuanto más hacia el W se ubica el nodo se aprecia una mayor cantidad de años con PI negativo, es decir, con flujo desde E.

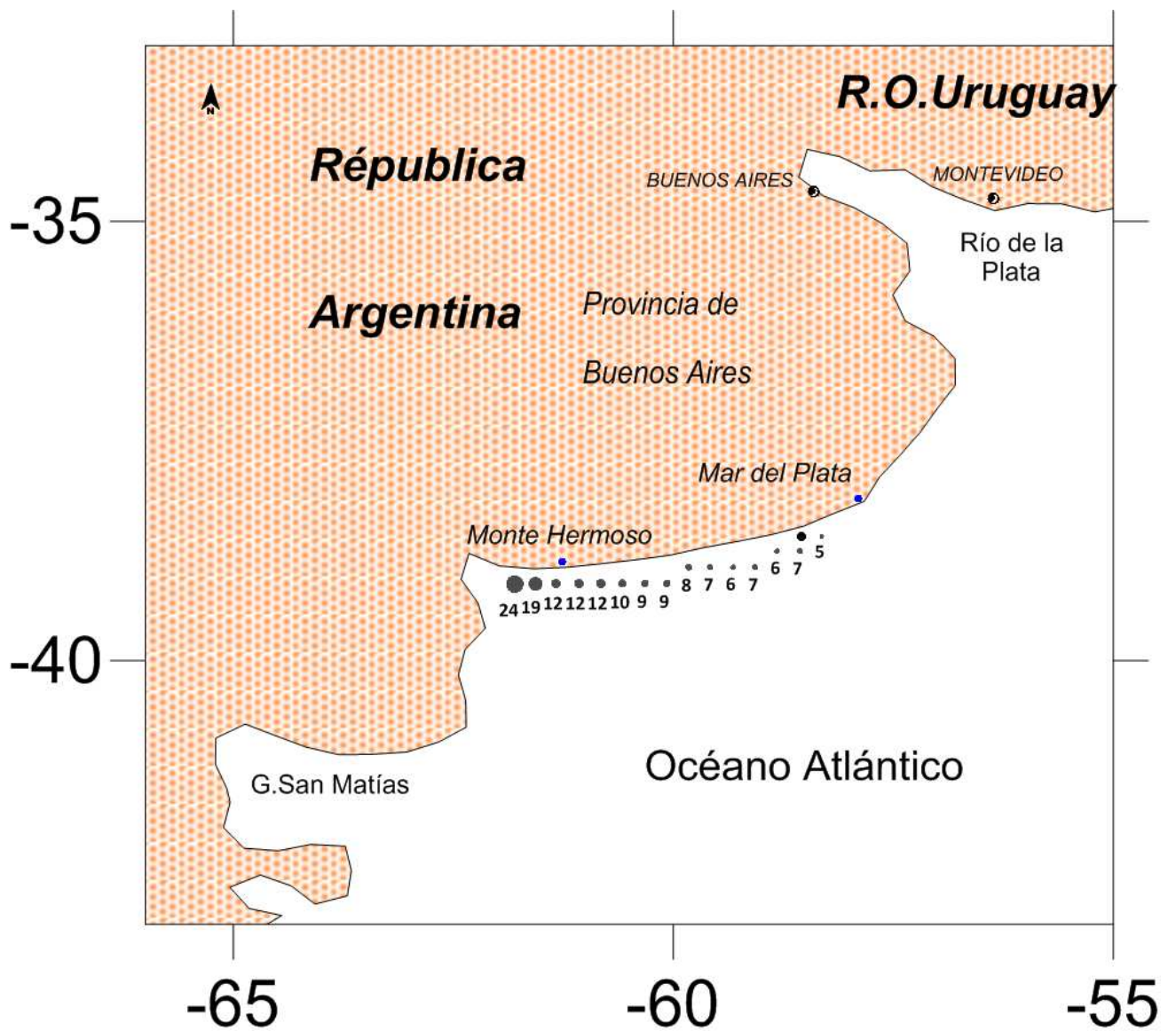


Figura 6.14. Cantidad de años (no consecutivos necesariamente) con Pl neto negativo (proveniente del E), período analizado 1971 – 2005.

En las Figs. 6.15 – 6.17 se presenta la distribución espacial de las tendencias de Pl de derecha, de izquierda y neto, indicándose cuales resultaron significativamente diferentes de cero.



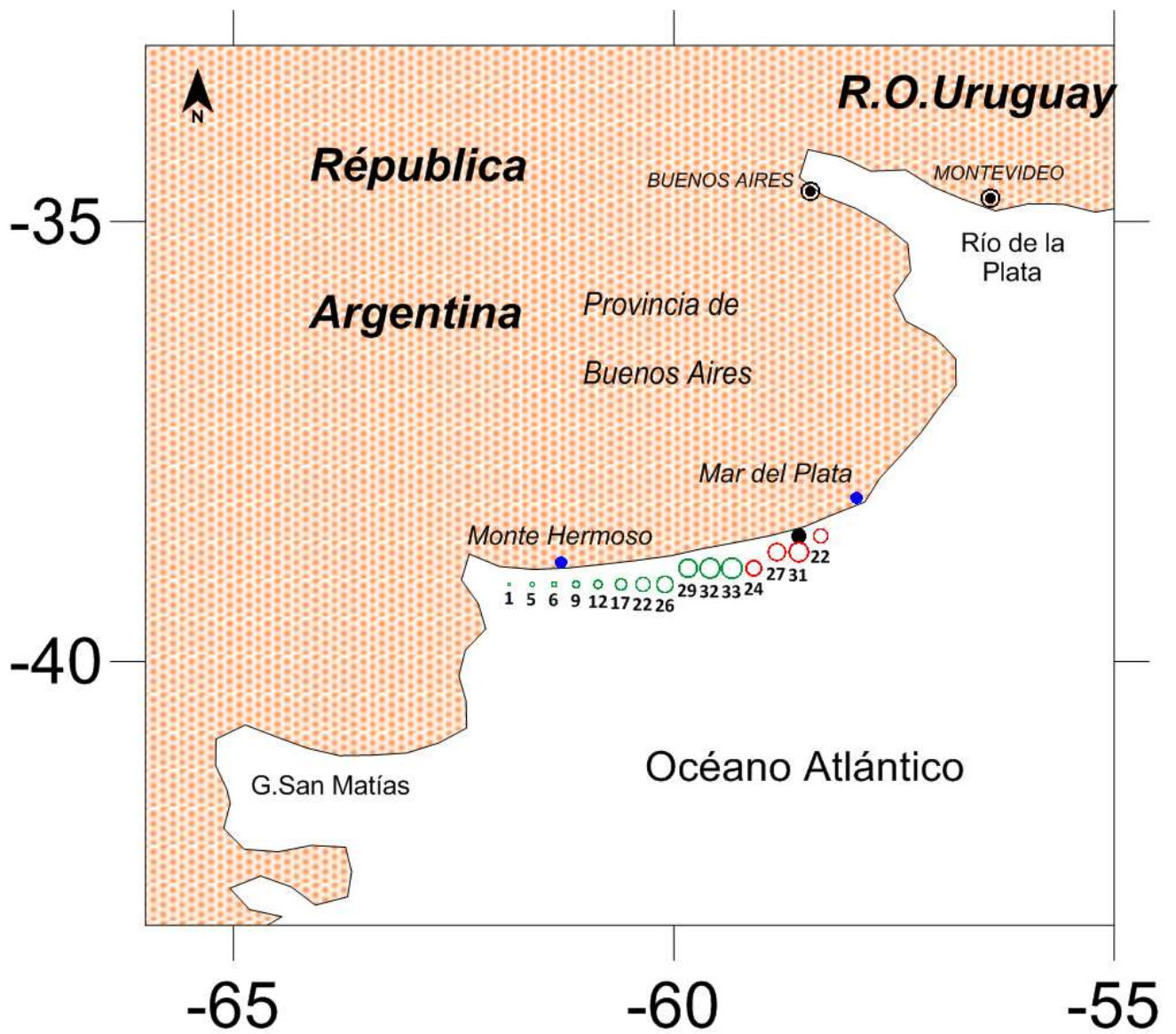


Figura 6.15. Tendencias de Pl neto anual. Los símbolos rojos indican tendencias no significativas y los verdes significativas. Los círculos llenos indican tendencias positivas y los vacíos valores negativos. La dimensión del símbolo es proporcional al valor de las tendencias ( $J/ms/año$ ).

En la Fig. 6.15 se observa la tendencia de PI neto para la zona estudiada. Se aprecia que de los quince nodos analizados once resultaron con tendencias significativamente diferentes de cero. Cabe destacar que los no significativos (cuatro) están ubicados en las posiciones más orientales del área de interés. Todas las tendencias resultaron menores que cero. El hecho de que la tendencia sea negativa tiene implicancias diferentes según el signo del PI. En los nodos ubicados al E del área de estudio, donde la mayoría de los PI neto anual son positivos (flujos provenientes del W), esto indicaría una disminución del PI neto anual y, consecuentemente, del transporte neto de arena. En cambio, en los nodos ubicados más hacia el W, donde PI tiende a ser negativo (flujo desde el E) una pendiente negativa implica un aumento del PI del E. Los máximos PI se presentan en el centro de la región de estudio, observándose los PI mínimos sobre los nodos ubicados hacia el W.

En la Fig. 6.16 se muestran las tendencias del PI de derecha (desde el W) para cada uno de los nodos analizados. En la misma se puede notar que tan solo cinco nodos (los ubicados más hacia el W) resultaron ser significativamente diferentes de cero. Se observa que las tendencias computadas, en su mayoría y, en particular, todas las significativas, presentan valores negativos. Dado que se trata de PI de derecha (con signo positivo) la tendencia negativa implica una disminución del PI en el tiempo.

Por último en la Fig. 6.17 se muestran las tendencias para PI de izquierda. En primer lugar se observa que las tendencias computadas resultaron significativas para todos los nodos analizados. Además, es importante notar que los valores de las tendencias son mayores (en valor absoluto) que los calculados para el PI de derecha. Las máximas tendencias ocurren en los nodos ubicados más hacia el E. Nuevamente el signo de las tendencias es negativo en todos los nodos pero, como PI de izquierda es negativo, esto ocasionaría un aumento en valor absoluto del PI, es decir, un incremento del transporte de arena de izquierda (proveniente del E).

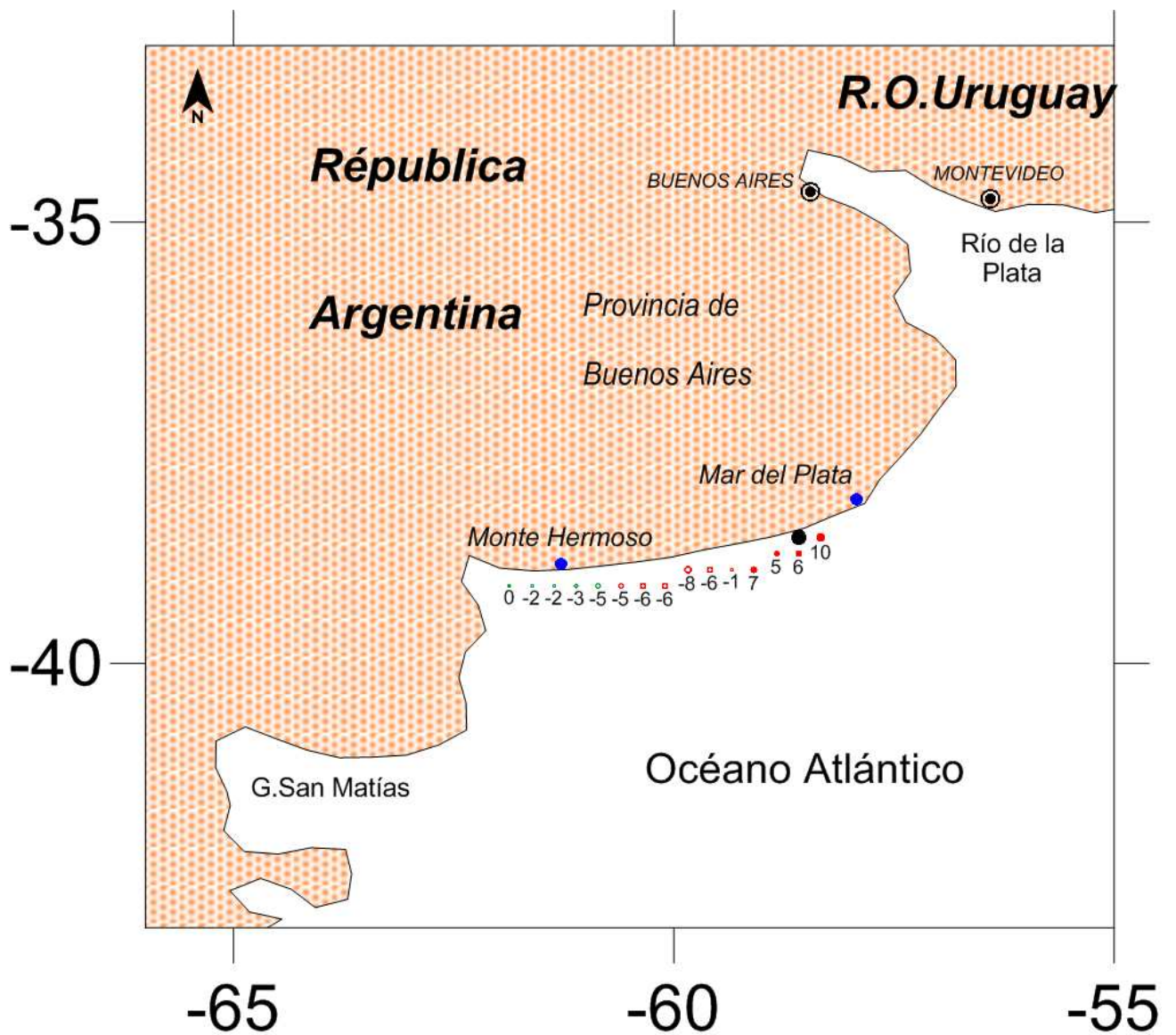


Figura 6.16. Tendencias de Pl de derecha (desde el W). Los símbolos rojos indican tendencias no significativas y los verdes significativas. Los círculos llenos indican tendencias positivas y los vacíos valores negativos. La dimensión del símbolo es proporcional al valor de las tendencias. Los valores cuantifican las tendencias ( $J/ms/año$ ).



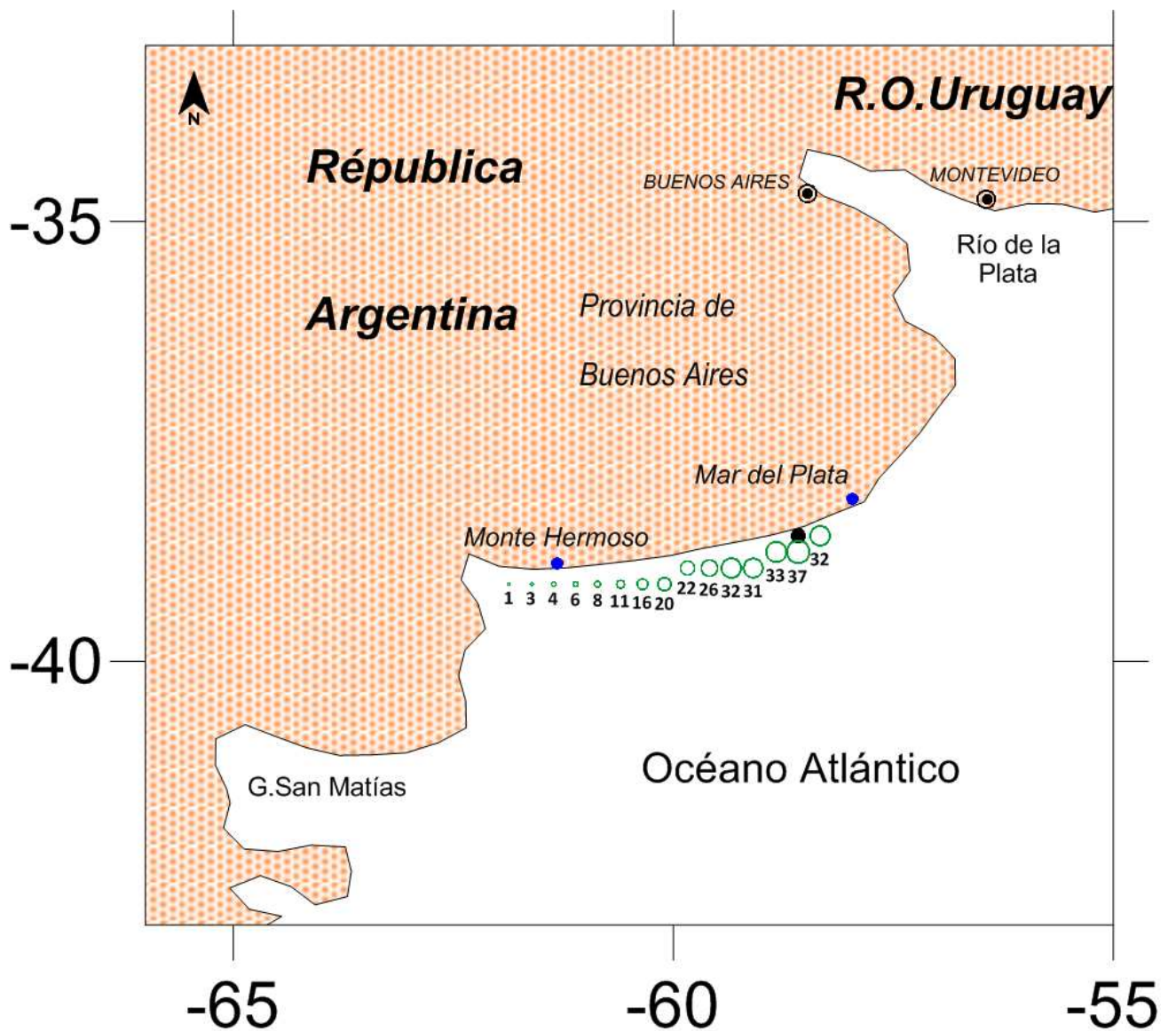


Figura 6.17. Tendencias de Pl de izquierda (desde el E). Los símbolos rojos indican tendencias no significativas y los verdes significativas. Los círculos llenos indican tendencias positivas y los vacíos valores negativos. La dimensión del símbolo es proporcional al valor de las tendencias. Los valores cuantifican las tendencias (J/ms/año).

## 7. Discusión

A partir de los resultados de la Tabla 6.1 se aprecia que Hs presenta una significativa variabilidad espacial a lo largo de la costa. Se observa que la Hs media anual se incrementa desde el nodo 1 al 15, es decir de W a E. La Hs media total (espacio-temporal) computada con las Hs medias anuales correspondientes a cada nodo y para todos los años resultó igual a 1.06 m. Este valor es levemente superior a la altura media de la rompiente obtenida por Speroni et al. (1999a) para Pinamar (0.87 m). Sin embargo, debe destacarse que el valor de Hs media (1.06 m) surge de un promedio espacial de medias anuales que van aumentado de W a E, desde 0.40 m hasta casi 1.50 m. Por lo tanto, según los resultados obtenidos con SWAN, la Hs media anual sería mayor en la región central de la provincia de Buenos Aires. La distribución de Hs para la zona de interés puede apreciarse en la Fig. 7.1, donde se ve que el contorno de 1 m está ubicado cerca de la costa, entre Mar del Plata y Puerto Quequén, manifestando una mayor altura de ola en esa zona de la costa.

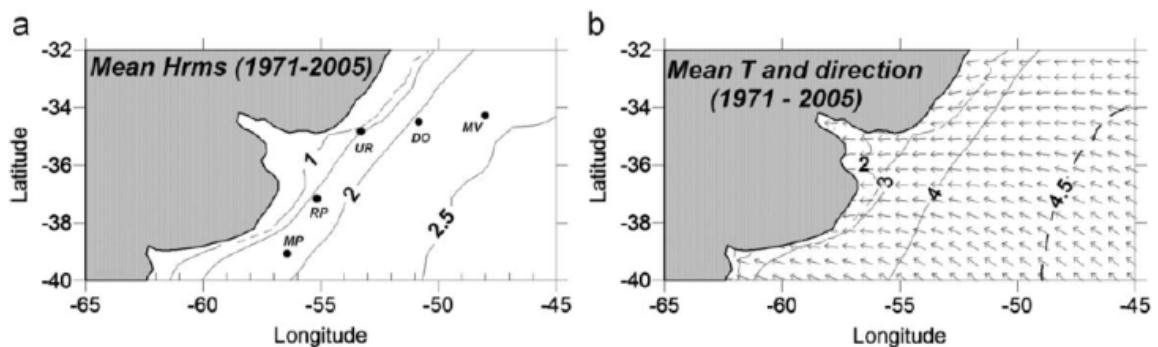


Figura 7.1. Altura media (izquierda) y períodos y direcciones medias (derecha). Fuente: Dragani et al. (2010)

En la Fig. 7.1.a se muestra la raíz cuadrática media de Hs (Hrms) y en la Fig. 7.1.b. el campo de direcciones de propagación y períodos computados con el modelo SWAN para el período comprendido entre 1971 y 2005. De la Tabla 6.1 puede notarse, además, que la variación espacial de las alturas máximas es semejante a la de las medias. Es decir, se observa que Hs máxima aumenta de W a E, con un valor máximo de 8.52 m (nodo 15) y uno mínimo de 1.16 m (nodo 1).

Con respecto a las tendencias computadas para las Hs medias anuales se obtuvieron valores menores que las estimadas para el N de la plataforma continental bonaerense, la uruguaya y la Sur Brasileña. Dragani et al. (2010) obtuvieron valores máximos de 110 mm/década para el océano (fuera de la plataforma continental) frente a Brasil y un poco más bajos (30-60 mm/década) para la plataforma continental uruguaya y marplatense. Para la costa S de la provincia de Buenos Aires las tendencias computadas son un poco más bajas que las descriptas, presentando un incremento de 1 a 16 mm/década de W a E (Fig. 6.2).

Recientemente Pescio (2014) reportó dos zonas de máxima tendencia positiva para Hs, una localizada en la plataforma continental sud brasileña alcanzando valores de +59 mm/década y otra en el Río de la Plata. Según ese estudio la zona del estuario de Bahía Blanca y costa sudoeste bonaerense hasta Claromecó presentó una leve tendencia negativa aunque estadísticamente no resultó diferente de cero. Por otro lado, Pescio et al. (2014) argumentó que hay indicios de que las tendencias computadas podrían ser parte de fluctuaciones decadales y multidecadales existentes en las series de datos. Sin embargo, estas fluctuaciones no parecieran estar relacionadas con el SAM (Modo Anular del Sur) ni con el ENSO (El Niño - Oscilación del Sur). Cabe aclarar que las tendencias se calcularon a partir de Hs medias mensuales y que el test de significancia fue realizado con un nivel de confianza del 95 %. Estas razones podrían explicar algunas diferencias cuando sus resultados se comparan con los del presente trabajo. Young et al. (2011) realizaron estudios de la tendencia de altura de ola a nivel global basado en datos altimétricos, para el período 1985-2005. Dichos autores hallaron que las tendencias para la región de la costa S de la provincia de Buenos Aires son del orden 0.25% por año, respecto a la Hs media, lo cual equivale aproximadamente a unos 20-30 mm/década.

En la presente tesis, además, se estudió la tendencia de Hs considerando la direccionalidad de las olas. Este análisis es inédito para la región de estudio y, por lo tanto, no se encontraron antecedentes que permitan realizar un estudio comparativo con los resultados obtenidos. Las tendencias (direccionales) obtenidas, descriptas en la sección anterior, se resumen en la tabla 7.1, donde se presentan la cantidad de nodos con tendencia significativa, no significativa y sus signos.

	<i>Cantidad de nodos (no significativos)</i>	<i>Cantidad de nodos (significativos)</i>	<i>Signo de la tendencia</i>
<i>N</i>	5	10	todos > 0
<i>NE</i>	6	9	todos > 0
<i>E</i>	9	6	todos > 0
<i>SE</i>	-	15	todos > 0
<i>S</i>	-	15	todos > 0
<i>SW</i>	15	-	8 nodos < 0 7 nodos > 0
<i>W</i>	15	-	todos < 0
<i>NW</i>	15	-	todos < 0

*Tabla 7.1. Tendencias de Hs por dirección para los 15 nodos analizados.*

Del análisis de la Tabla 7.1 y de las Figs. 6.6 y 6.7 puede observarse que las direcciones S y SE son las que presentan las mayores tendencias (positivas) y, además, significativas para todos los nodos analizados. Estos valores varían entre 10 y 69 mm/década. En contraposición, las direcciones SW y W (Figs. 6.8 y 6.9) presentan tendencias con valores menores (-20/+20 mm/década). Además, para las direcciones SW y W las tendencias obtenidas dieron significativamente no diferente de cero en todos los nodos (Tabla 7.1). Un análisis direccional semejante a este fue realizado por Codignotto et al. (2012) para la bahía Samborombón en el Río de la Plata Exterior. Dichos autores obtuvieron tendencias significativas para las direcciones E, ESE y SE de 40, 20 y 30 mm/década, respectivamente.

Como se explicó anteriormente, en la Tabla 6.2 puede apreciarse que PI en la región está caracterizado por una notable variabilidad espacial. Se observa que PI en los nodos 1 y 2 es negativo, es decir, proveniente de la izquierda respecto de un observador que mira al mar desde la playa. En cambio, para el resto de los nodos (desde el 3 al 15) PI medio anual es positivo (proveniente desde la derecha) y se incrementa hacia el E. Entre los nodos 2 y 3, a priori, podría verse como una zona de divergencia o de mínimo para PI y, en consecuencia, para el transporte de arena paralelo a la playa. Verón (2011) estimó el transporte potencial de sedimentos, desde

Monte Hermoso hasta Punta Rasa, utilizando también el método de flujo de energía, pero solamente para el año 2009. Obtuvo que, entre Monte Hermoso y Miramar el flujo neto es hacia el E notando inversiones de signo hacia el W durante la primavera y el verano. La posibilidad de existencia de una zona de divergencia de PI merece una profunda investigación, ya que los antecedentes referidos a esta temática particular en la región son prácticamente nulos. Sin embargo, un objetivo de esa naturaleza supera a los propuestos en la presente tesis de grado ya que, para encarar una investigación de ese tipo resultaría imprescindible tanto un programa de mediciones de campo como un modelo de alta resolución implementado para la zona.

Con respecto al flujo de energía de ola paralelo a la costa, si se comparan las direcciones de los PI obtenidos en este trabajo con la del transporte neto anual de sedimentos en, por ejemplo, Pinamar, surgen a la vista algunas diferencias notables. En la parte nordeste de la provincia de Buenos Aires el transporte medio anual, aunque presenta una considerable variabilidad interanual en su intensidad, es siempre hacia el N. Sin embargo, en el sector S de la provincia el PI medio anual cambia de sentido no solo a lo largo de la costa sino que también se aprecia una variabilidad interanual en el sentido del flujo (Fig. 6.11). Esto indicaría que en el sector S de la costa bonaerense no habría un sentido tan claramente dominante y definido para PI como sí ocurre en la región N de provincia. Con referencia a las tendencias de PI, los resultados presentados en las Figs. 6.15 a 6.17 muestran diferentes comportamientos según se trate del transporte neto anual, de izquierda o de derecha. Para el PI neto anual se aprecian tendencias negativas en todos los nodos analizados, resultando significativamente diferentes de cero las correspondientes a los nodos ubicados más hacia el W y el centro de la zona estudiada. Para el análisis de la tendencia de PI debe considerarse no sólo el signo de la tendencia propiamente dicha sino que también el del PI. Por ejemplo, la tendencia negativa observada en la figura 6.15 para los dos nodos ubicados más hacia el W, en combinación con valores negativos de PI (Tabla 6.2) implicaría un aumento de PI (es decir, el PI - proveniente desde la izquierda - se estaría haciendo cada vez más negativo). En contraposición, para el resto de los nodos (3 a 15) los valores positivos de PI (Tabla 6.2) en combinación con las tendencias estimadas negativas implicarían una reducción del PI (proveniente desde la derecha). Para el PI proveniente de la derecha ( $PI > 0$ ) el análisis es más directo. PI positivos (desde el W) con tendencias negativas



implicaría una disminución del PI proveniente de la derecha (nodos ubicados al W en la Fig. 6.16). Contrariamente, el PI proveniente desde la izquierda (Fig. 6.17) tiene tendencias negativas (significativas) en todos los nodos, lo cual, asociado a los valores negativos de PI implicaría un incremento futuro en la intensidad del PI y, en consecuencia, en la magnitud del transporte de arena asociado.

## 8. Conclusiones

El objetivo de esta tesis de grado fue investigar el campo de olas costero y el flujo de energía paralelo a la playa entre el estuario de Bahía Blanca y Puerto Quequén. El área estudiada posee un alto interés socioeconómico y turístico ya que cuenta con una rica fauna y flora, un valioso recurso ictícola, reservas arqueológicas geológicas y paleontológicas, un puerto importantísimo como lo es Quequén y también una zona reservada para maniobras militares. Se presentó un análisis sobre la tendencia de Hs y su dependencia con la dirección del oleaje. Finalmente, se estudió la variabilidad interanual de PI y su tendencia temporal. Dada la escasez de observaciones directas este trabajo se realizó sobre la base de resultados numéricos disponibles obtenidos con el modelo costero SWAN (período simulado: 1971 - 2005). Vale destacar que dicho modelo fue implementado y validado satisfactoriamente para la plataforma continental adyacente al Río de la Plata y, como el área de interés de este estudio estaba incluida en el dominio computacional del modelo, los resultados numéricos obtenidos (Dragani et al., 2010) fueron reutilizados para estudiar algunos procesos litorales que se manifiestan en la costa S de la Provincia de Buenos Aires.

Primeramente, se realizó una validación de los resultados numéricos disponibles comparando los parámetros simulados con los medidos por instrumentos instalados en inmediaciones de Puerto Quequén y en adyacencias del canal de acceso a Bahía Blanca. Para ambos casos se obtuvo una relativamente baja correlación entre la Hs modelada y observada (Figs. 5.5 y 5.6), como se explicó en la sección 5.5. Se analizó, además, la respuesta del modelo frente a eventos energéticos y se concluye que el modelo SWAN es capaz de reproducir razonablemente los instantes de las Hs máximas pero, en general, subestima levemente las alturas. Por lo tanto, considerando que el modelo SWAN tiende a reproducir razonablemente la generalidad de las observaciones se asumió que los resultados numéricos obtenidos son representativos del oleaje en aguas profundas y, por lo tanto, fueron utilizados para obtener una aproximación preliminar del clima de olas.

Del análisis realizado sobre los resultados del modelo puede apreciarse que tanto la Hs media como las máximas aumentan de W a E (Tabla 6.1). Además, en general, los nodos analizados (12

de 15) presentan tendencias (positivas) significativas lo cual es compatible con lo reportado por otros autores (ver Sección 7). Los resultados correspondientes al análisis direccional de las tendencias fueron resumidos en la Tabla 7.1. En la misma puede apreciarse que las direcciones SE y S son las que mostraron las mayores tendencias (positivas y significativas para todos los nodos). En contraposición el oleaje del SW, S y NW presenta tendencias menores (no significativa) en todos de los nodos. Para las direcciones N, NE y E las tendencias son positivas pero en algunos nodos no son significativas.

Con referencia al PI, se observa que en los dos nodos ubicados más hacia el W del área de estudio (nodos 1 y 2) el flujo es negativo, es decir, con dirección hacia el W, disminuyendo su intensidad hacia el estuario de Bahía Blanca. En contraposición, del nodo 3 hacia el E, el PI medio anual es positivo (fluye hacia el E) y aumenta hacia Puerto Quequén. Sobre la base de estos resultados se puede concluir que entre los nodos 2 y 3 podría existir una divergencia de mínimo PI, lo cual merecería ser estudiado en profundidad con simulaciones numéricas más exhaustivas. Se concluye, además, que PI medio anual presenta una marcada variabilidad interanual no solo en la magnitud del flujo sino también en su signo. Esto es muy sugestivo ya que en principio habría años con PI neto hacia el W que alternarían con otros con PI hacia el E. No se dispone de antecedentes que reporten este tipo de comportamiento en la región y, al igual que la posibilidad de una zona de divergencia de PI, este tópico ameritaría ser particularmente explorado.

Se estudió la tendencia del PI medio, del proveniente de la izquierda y de la derecha. Se concluye que el PI neto anual presenta una tendencia negativa y que en 11 de los 15 nodos analizados la misma fue significativa. Para PI proveniente del W (desde la derecha) se obtuvo que en 5 nodos la tendencia es negativa y significativa lo que implicaría, en consecuencia, una gradual disminución del PI. En los 10 nodos restantes las tendencias obtenidas no fueron significativas. Para el PI de la izquierda se obtuvieron tendencias negativas (significativas) en todos los nodos lo cual implicaría un aumento del PI.

Finalmente, se desea resaltar que los parámetros de ola simulados fueron obtenidos de un modelo numérico que no fue estrictamente implementado para la región de interés. En consecuencia, se recomienda como futura línea de investigación anidar una versión del modelo SWAN con mayor

resolución espacial en el área de interés con el objeto de mejorar las simulaciones de olas. Asimismo, se espera que este trabajo contribuya para la investigación numérica costera en la región y se espera que se continúen algunas de las líneas de investigación mostradas.

## Referencias

CERC, 1984. Shore Protection Manual. U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center. U.S. Government Printing Office, Washington. D.C.

Caviglia F., Pousa, J. L., and Lanfredi, N. W., 1991. A Determination of the Energy Flux Constant from Dredge Records. *Journal of Coastal Research*, 7 (2), pp. 543-549.

Caviglia, F., Pousa, J., and Lanfredi, N., 1992a. Transporte de sedimentos: una alternativa de cálculo. *II Congreso de Ciencias de la Tierra*. Santiago de Chile, Chile. Memorias: 413-422.

Caviglia, F., Pousa, J., y Lanfredi, N., 1992b. Transporte de Sedimentos: una alternativa de cálculo. *II Congreso de Ciencias de la Tierra*, pp. 413-422. Chile.

Codignotto, J., Dragani, W. C , Martin, P. B , Simionato, C. G. ,Medina, R. A. and 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.

Dean, R. and Dalrymple, R., 2004. *Coastal Processes with Engineering Applications*.

Dragani,W., 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., Martín, P., Campos, M. I. and Simionato, C., 2010. Are wind wave heights increasing in south-eastern south American continental shelf between 32S and 40S? *Continental Shelf Research*, 30 (5) 481-490.

Dragani, W., Martín, P., Alonso, G., Codignotto, J., Prario, B. and 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.

Draper, L., 1966. The analysis and presentation of wave data - a plea for uniformity -. *Proceedings 10<sup>th</sup> conference of costal engineering*. Tokio.

Etala, P., 2000. Modelos hidrodinámicos anidados para el cálculo de la onda de tormenta en el estuario de Bahía Blanca, Tesis Doctoral, Depto. Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN, UBA.

Fiore M., D'onofrio E., POUSA J., Schnack, E., Bértola, G. R, 2009. Storm surges and coastal impacts at Mar del Plata, Argentina, *Contiental Shelf Research*, vol. 29 p. 1643 – 1643.

Framiñan M.,1990. Transporte de sedimentos en Pinamar, Provincia de Buenos Aires. II Jornadas de Oceanografía Física y XVI Reunión Científica de Geofísica y Geodesia de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, 15 pp., Bahía Blanca.

Juarez, V. y Mantobani, J. M., 2006. La costa bonaerense: un territorio particular. En: Isla, F. I., Lasta, C. A. *Manual de Manejo Costero para la Provincia de Buenos Aires*. Mar del Plata. Editorial EUDEM. Pp. 41 a 71.

Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, Collins W, Deaven D, Gandin L, Iredell M, Saha S, White G, Woollen J, Zhu Y, Chelliah M, Ebisuzaki W, Higgins W, Janowiak J, Mo KC, Ropelewski C, Wang J, Leetmaa A, Reynolds R, Jenne R, Joseph D, 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77: 437–471.

Kokot, R. R., 2010. Espigas indicadoras de proveniencia de olas en la costa Argentina. *Rev. Asoc. Geol. Argent.*, vol.67, no.1, p.19-26. ISSN 0004-4822.

Lin, W., Sandford, L. P., and Suttles, S. E., 2002. Wave measured and modeling in Chesapeake Bay. *Continental Shelf Research*, 22, 18, 2673–2683

Perillo, G. M. E., and Kjerfve, B., 2005. Regional and Coastal Systems of the Americas. Thematic Session, *Journal of Coastal Research* 21, 729-859.

Pescio, A. E., 2014. Tendencia en la intensidad del viento y en la altura de las olas en la plataforma continental y océano adyacente, entre 30° y 42° S. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 65 pp.

Pierini, J.O., 2007. Circulación y transporte en zonas costeras del estuario de Bahía Blanca, Tesis Doctoral, Depto. Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN, UBA.

Schmidt, S. y N. Lanfredi, 1979. Transporte de arena por viento en el área de Punta Médanos. Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina. 35 pp

Simionato, C.G. Dragani, W.C, Nuñez M.N. y Engel, M. 2004. A set of 3-D nested models for tidal propagation from the Argentinean continental shelf to the Rio de la Plata estuary-Part I M2. *Journal of the coastal Research* 20 (3) 893-912. Editado por The Coastal Education and Research Foundation [CERF]. Post Office Box 210187 Royal Palm Beach, Florida 33421, USA. ISSN: 0749-0208.

SHN, 1986. Carta Náutica 50 4ta Ed, Mar Argentino, de Río de la Plata al Cabo de Hornos, Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa.

SHN, 1992. Carta Náutica H1 5ta Ed, Acceso al Río de la Plata, Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa.

SHN, 1993. Carta Náutica H2 4ta Ed, El Rincón, Golfo San Matías y Nuevo, Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa.

SHN, 1999a. Carta Náutica H116 4ta Ed, El Río de la Plata Medio y Superior, Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa.

SHN, 1999b. Carta Náutica H113 2da Ed, Río de la Plata Exterior, Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa.

SHN, 2008. Carta Náutica H-210 3ra. Ed., de faro Punta Mogotes a faro Claromecó, Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa.

SHN, 2013. Tablas de marea. Servicio de Hidrografía Naval. Ministerio de Defensa.

Speroni, J., Dragani, W. y Mazio, C., 1999b. Observaciones costeras en Mar de Ajó, Pcia. de Buenos Aires. Descripción del ambiente litoral Servicio de Hidrografía Naval, Departamento Oceanografía. Informe Técnico N° 102/99, 19 págs.

Speroni, J. O., Dragani, W. C., Mazio, C. A. y Manganiello N. H., 1999a. Observaciones costeras en Pinamar, Pcia. de Buenos Aires. Descripción del ambiente litoral. S.H.N., Dpto. Oceanografía, Inf. Téc. N° 108/99, 15 p.

Verón, M. J., 2011. Transporte potencial litoral de sedimentos en las costas de la provincia de Buenos Aires, Argentina, Tesis de Licenciatura en Tecnología Ambiental, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires, Tandil, 62 pp.

Young, I. R., Zieger, S., Babanin, A. B., 2011. Global trends in wind speed and wave height. Science 332, 451–455.