

**XXV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
SAN JOSÉ, COSTA RICA, 9 AL 12 DE SETIEMBRE DE 2012**

**ESTUDIO NUMÉRICO DE LA MAREA METEOROLÓGICA EN EL RÍO DE
LA PLATA**

Pablo Santoro¹, Mónica Fossati¹, Ismael Piedra-Cueva¹

*¹Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, IMFIA. Montevideo, Uruguay, psantoro@fing.edu.uy,
mfossati@fing.edu.uy,
ismaelp@fing.edu.uy*

RESUMEN:

La hidrodinámica del Río de la Plata presenta una variabilidad asociada a la marea meteorológica tanto o más importante que la asociada a la marea astronómica. En el marco del desarrollo de una herramienta numérica de pronóstico de niveles y corrientes para el Río de la Plata se torna de interés el estudio de las características principales de la generación y propagación de la marea meteorológica observada en el Río de la Plata. En este trabajo dicho estudio se abordó mediante la implementación de un modelo hidrodinámico a escala regional y local. El mismo fue utilizado para evaluar la importancia del forzante local y remoto en la generación de los eventos de marea meteorológica, encontrándose que gran parte de las ondas de marea meteorológica que se registran en el Río de la Plata tiene su origen en el sur de la plataforma argentina. A su vez mediante simulaciones idealizadas se evaluó la importancia relativa de los forzantes atmosféricos así como también la magnitud del aporte realizado por el forzante a escala local.

ABSTRACT:

At the Río de la Plata, the variability associated to the meteorological tide that can be of greater amplitude than that related to the astronomical tide. During the developing of a numerical tool to forecast sea surface heights and currents for the Río de la Plata, the study of the main features of the generation and propagation of the meteorological tide observed in the Río de la Plata became of interest. In this work this study was addressed by the implementation of a hydrodynamic numerical model in both regional and local scales. This model was used to assess the importance of the local and remote forcing in the generation of meteorological tide events, finding that most of the meteorological tide events recorded in the Río de la Plata were generated in the southern Argentinean continental shelf. Making idealized simulations it was evaluated the relative importance of the different atmospheric forcings as well as the magnitude of the contribution made by the local forcing.

PALABRAS CLAVES:

Marea meteorológica; Río de la Plata; modelación numérica

INTRODUCCIÓN

Hacen ya más de 25 años que en el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental se trabaja en la simulación numérica de la hidrodinámica del Río de la Plata. Desde el año 2007 se está trabajando en el desarrollo de un modelo operacional de predicción de niveles y corrientes para el Río de la Plata (Santoro et al., 2011). Entendemos que ésta es una herramienta de suma importancia para la adecuada gestión del Río de la Plata, y de mucha ayuda para el abordaje de situaciones como son las actividades de búsqueda y rescate en accidentes marítimos, navegación por zonas de profundidad restringida, gestión de derrames de contaminantes, etc.

En el Río de la Plata los niveles y corrientes muestran una variabilidad asociada a la marea meteorológica tanto o más importante que la asociada a la marea astronómica. Si bien hace muchos años que en el IMFIA se trabaja en la modelación numérica del Río de la Plata, gran parte de la experiencia acumulada se basa en la realización de simulaciones retrospectivas, las cuales permitieron evaluar exitosamente la respuesta hidrodinámica del sistema a distintas obras de ingeniería como ser los dragados, las descargas de emisarios, los puertos, etc (Fossati et al, 2008, Santoro et al, 2008). Sin embargo, bajo dicho enfoque las variaciones de nivel en la frontera oceánica son conocidas y se resuelve su propagación en el Río de la Plata. El abordaje operacional implica predecir la evolución de la dinámica de la región oceánica adyacente en base a los forzantes atmosféricos y astronómicos, por lo que el problema se torna claramente más complejo y el modelo implementado debe considerar los procesos atmosféricos que actúan sobre la plataforma continental y sobre la región oceánica adyacente.

En este marco surgió la necesidad de estudiar en mayor detalle las características de la marea meteorológica en el Río de la Plata. Un análisis de las características de su propagación y vinculación con los forzantes atmosféricos en base a registros de niveles en varias estaciones mareográficas en el Río de la Plata fue presentado en la anterior edición de este congreso (Santoro et al., 2010). El presente trabajo complementa los estudios antes presentados mediante el uso de herramientas numéricas, enfoque que tiene ciertas ventajas. En primer lugar el modelo numérico se basa en la resolución de las ecuaciones que gobiernan la física de sistema y por tanto es posible utilizarlo como herramienta para la comprensión de los distintos mecanismos de generación y propagación de las ondas de interés. En segundo lugar permite realizar simulaciones idealizadas, por ejemplo, incluyendo los distintos forzantes por separado y de esa forma evaluar su contribución en forma aislada.

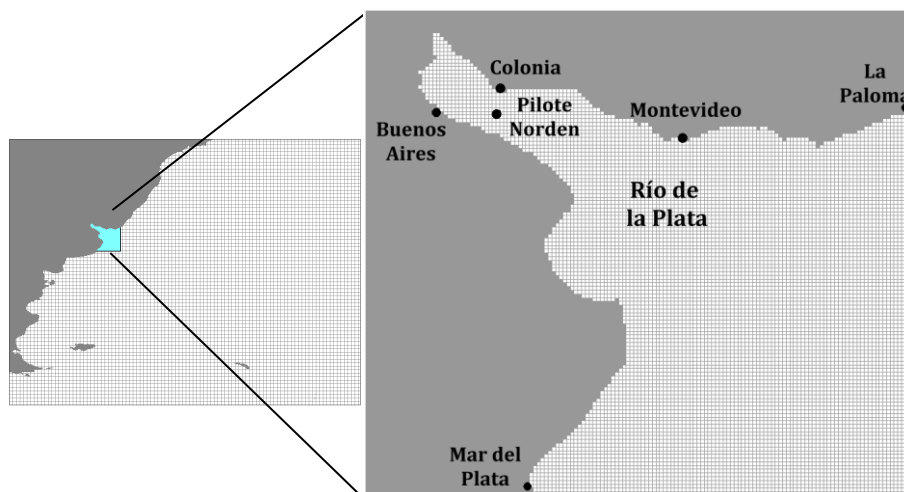
De esta forma, en este trabajo se pretende estudiar las características principales de la generación y propagación de la marea meteorológica observada en el Río de la Plata mediante el uso de modelos numéricos. Se evaluó la influencia de los forzantes atmosféricos (viento y presión en superficie) a mesoescala y a escala local. La contribución individual de cada uno de estos forzantes en la variabilidad de niveles observada en el Río de la Plata también fue analizada.

METODOLOGÍA

Tal como se mencionó en la introducción la motivación de este trabajo surge como inquietud durante el desarrollo de una herramienta operacional de pronóstico de niveles. Por tal razón para este trabajo se utilizó dicha implementación de los modelos, que se describe brevemente a continuación; una descripción detallada se puede encontrar en Santoro et al. (2011).

Implementación del modelo

El modelo hidrodinámico utilizado es el MOHID (Néves, 1985), el cual trabaja con la técnica de modelos encajados permitiendo refinar sucesivamente la resolución espacial utilizando dominios anidados. En este trabajo se utilizó un dominio padre que cubre gran parte del océano Atlántico Sur (modelo regional) y un dominio hijo de mayor resolución enfocado en el Río de la Plata (submodelo), ambos se muestran en la Figura 1. Una vez estructurada la malla de cálculo se definieron la batimetría de la región y la línea de costa para cada modelo. Para representar la batimetría del área de interés en ambos casos fueron utilizados datos batimétricos digitalizados extraídos del General Bathymetric Chart of the Ocean (GEBCO) para todo el dominio con una resolución de 0.06° y una serie de datos de batimetría provistos por el Servicio de Hidrografía Naval de la Argentina para la zona del Río de la Plata con una mayor resolución. Para representar la línea de costa de la región de estudio se utilizaron datos extraídos del NOAA/NGDC Marine Geology



and Geophysics Division.

Figura 1.- Dominio del modelo Regional (izquierda) y del submodelo enfocado al Río de la Plata (derecha).

Es importante mencionar que no se realizó una modelación hidrodinámica tridimensional baroclínica para simular el efecto de la marea a escala del Atlántico sur, sino que se utilizó un esquema simplificado del modelo hidrodinámico, bidimensional y barotrópico en el cual no se consideran las variaciones en la dirección vertical de salinidad ni temperatura. Diversos antecedentes en la región (Glorioso et al., 1995; Simionato et al., 2006; Etala, 2009; Saraceno, 2010) muestran que aún bajo este tipo de simplificaciones se puede obtener una buena representación de la evolución de los niveles en el Río de la Plata. Además un modelo regional bidimensional presenta la ventaja de tener un menor costo computacional y no requerir de condiciones de borde de salinidad y temperatura, las cuales presentan ciertas dificultades.

Para ambos dominios la condición inicial fue de tipo Dirichlet, siendo una elevación de superficie libre constante y velocidades nulas en todo el dominio. Después de un corto tiempo de “calentamiento” o “spin up” la simulación se independiza de esta condición inicial ficticia.

En el caso del dominio regional, la marea astronómica es ingresada como condición de borde en la frontera oceánica a partir de datos del atlas de marea FES2004. Por su importancia para el área de interés a simular, el flujo aportado por los ríos Paraná y Uruguay es impuesto en dos secciones representativas de los mismos. Una de estas secciones representa los ríos Paraná Guazú y Uruguay, en la cual se impuso un flujo constante de $15000\text{m}^3/\text{s}$; la otra sección representa el río Paraná Las Palmas y el flujo impuesto es de $5000\text{m}^3/\text{s}$. Para la condición de borde en el fondo fue utilizado un coeficiente de rugosidad de fondo uniforme en todo el dominio. En la frontera oceánica se aplicó la condición de radiación de Blumerg & Kantha (1985).

En el caso del subdominio enfocado al Río de la Plata, las condiciones de borde son obtenidas a partir de interpolaciones de la solución del dominio regional. En la frontera abierta fue aplicada la condición de borde de Flather, permitiendo la propagación de las ondas hacia fuera del

dominio. En la Tabla 1 se presenta un resumen de las condiciones de borde aplicadas en cada dominio.

Tabla 1.- Condiciones de borde utilizadas en la implementación del modelo.

Modelo	Superficie	Frontera abierta		Fronteras terrestres	Fondo
ER					
Regional	Tensión rasante ejercida por el viento (CD variable) y presión atmosférica en superficie obtenidas del modelo WRF	Interpolación de η obtenida de FES2004	Blumberg & Kantha (Solución de referencia: η obtenida de FES2004, Td = 150-1500s)	Descargas de los Ríos Uruguay y Paraná (caudal constante Q). Componentes nulas de velocidad (U,V)	Tensión de rasante (Rugosidad absoluta = 0.0001)
Río de al Plata	Tensión rasante ejercida por el viento (CD variable) y presión atmosférica en superficie obtenidas del modelo WRF	Interpolación de η , U y V obtenidas del modelo regional	Flather (Solución de referencia: η & U,V obtenidas del modelo regional)	Descargas de los Ríos Uruguay y Paraná (caudal constante Q). Componentes nulas de velocidad (U,V)	Tensión de rasante (Rugosidad absoluta = 0.00065)
U,V	Componentes zonal y meridional de la velocidad				
ER	Esquema de Relajación				
CD	Coeficiente de "Drag"				

Los forzantes atmosféricos considerados en las simulaciones son el viento y la presión en superficie provenientes del modelo atmosférico de mesoescala WRF. Este modelo fue implementado en un dominio de iguales dimensiones al dominio regional de modelo MOHID. El modelo WRF recibe condiciones de borde del modelo atmosférico global de pronóstico GFS. Debido a la disponibilidad de condiciones de borde el período simulado corresponde a los meses de mayo y junio del año 2007. Para simular estos dos meses, se concatenaron pronósticos consecutivos de 96 horas.

Simulaciones realizadas

En base a la implementación pre-operacional antes descrita es posible realizar varios tipos de simulaciones combinando los forzantes impuestos y el dominio en el cual se aplican.

Fueron realizadas dos simulaciones a los efectos de estudiar la generación de los eventos de marea meteorológica, y la importancia que en ella tienen el forzante local y remoto. Por un lado para evaluar el efecto del forzante remoto se realizó una simulación incluyendo tanto el viento como la presión en superficie el dominio regional (*Rvp*). Los resultados de esta simulación considerando ambos forzantes a escala regional permiten observar la superficie libre en todo el dominio y así tener una idea de cómo y dónde se generan las ondas de marea meteorológica que se registran en el Río de la Plata. Para esto, se realizaron mapas de correlación de la serie simulada en un nodo representativo de la estación Pilote Norden con las series simuladas en el resto de los puntos del dominio para distintos lag's temporales. Estos mapas tienen por objeto identificar de donde proviene la señal que se observa en el Río de la Plata y además dan información del tiempo de propagación de dicha señal.

Por otra parte con el objetivo de identificar la importancia del forzante local fue realizada una simulación basada en la utilización del submodelo enfocado al Río de la Plata. En este sentido se realizó una simulación en la cual en el dominio regional no se impusieron forzantes atmosféricos, o sea que simplemente se propaga la marea astronómica hasta la frontera del subdominio, mientras que el submodelo sí fue forzado con viento y presión en superficie (*R_Svp*). Teniendo como referencia la solución del submodelo con ambos forzantes en ambos dominios (*Rvp_Svp*), la comparación con las series obtenidas considerando el forzante atmosférico únicamente en el subdominio permite ver qué tanto de la señales se puede atribuir únicamente a la acción del forzante local.

Por otra parte, en el caso de los eventos de marea meteorológica que se generar en forma remota y luego se propagan hacia el Río de la Plata, interesa evaluar que modificaciones

experimentan al propagarse en el interior del estuario independientemente del forzante local, esto es, debido a la batimetría y geometría del mismo. Para esto se realizó una simulación utilizando viento y presión como forzantes en el dominio regional y no incluyéndolos en el subdominio (*RvpS*), de esta forma los eventos son generados en forma remota y luego se propagan en el estuario sin la acción de forzantes atmosféricos.

Finalmente, se realizaron simulaciones con los forzantes atmosféricos por separado en el dominio regional (*Rv*, *Rp*). Estas simulaciones tienen por objetivo brindar una idea acerca de la importancia relativa de cada uno en la generación de los eventos de marea meteorológica. El análisis de los resultados incluye una comparación de las series simuladas en las estaciones con datos en este período, sin embargo a los efectos de cuantificar la importancia relativa de los forzantes basta comparar las simulaciones con ambos forzantes y con cada uno por separado siendo irrelevante la existencia de datos observados. Aún así acotarse a estas cuatro estaciones resulta de interés por sus ubicaciones geográficas, teniendo las estaciones de Mar del Plata y La Paloma a la entrada del estuario, Montevideo en el zona media y Pilote Norden en la zona interior.

Vale la pena mencionar que se realizó una simulación únicamente considerando el forzante astronómico en ambos dominios a los efectos de poder restar dicha solución a aquellas que si incluyen forzantes atmosféricos y así obtener la solución residual. En la Tabla 2 se presenta un resumen de las simulaciones y análisis descritos en los párrafos anteriores.

Tabla 2.- Simulaciones realizadas, objetivos y herramientas para su análisis.

Denominación	Modelo Regional		Submodelo Río de la Plata	
	Viento	Presión en superficie	Viento	Presión en superficie
R_S	No	No	No	No
Rvp_Svp	Si	Si	Si	Si
Rv	Si	No	-	-
Rp	No	Si	-	-
Rvp_S	Si	Si	No	No
R_S cvp	No	No	Si	Si

	Objetivo	Herramientas
Rvp_Svp	Visualizar los mecanismos y zonas de generación de la marea meteorológica que llega al Río de la Plata	Mapas de superficie residual en todo el dominio. Mapas de correlacion con lag en todo el dominio con la serie en P.Norden.
R_Svp	Evaluar la contribución del forzante local en la generación y propagación de la marea meteorológica en el Río de la Plata	Comparación de series residuales R_Svp, Rvp_Svp en varias estaciones.
Rvp_S	Evaluar la modificaciones de los eventos meteorológicos durante su propagación en el estuario sin la acción de los forzante atmsoféricos	Comparación de series residuales Rvp_S, Rvp_Svp en varias estaciones.
R cv	Evaluar la contribución que cada forzante tiene en la generación y propagación de las ondas de marea meteorológica	Comparación de series residuales en varias estaciones y visualización de mapas de superficie libre correspondientes a las simulaciones Rv, Rp, Rvp_Svp.
R cp		

RESULTADOS

Generación de los eventos de marea meteorológica

En la Figura 2 se muestran las series residuales de niveles observadas y simuladas en varias de las estaciones mareográficas consideradas. Estas series simuladas fueron obtenidas a partir de la diferencia entre los resultados de las simulaciones *Rvp_Svp* y *R_S* (pura astronómica), las series observadas surgen de aplicar una media móvil centrada de 24 horas a las series de niveles horarias registradas. En primer lugar es importante notar la ya mencionada importancia de la variabilidad asociada a la marea meteorológica en el Río de la Plata, mostrando eventos con amplitudes cercanas a 1m en estos dos meses arbitrarios. En segundo lugar se puede ver que los resultados del modelo representan satisfactoriamente los eventos observados. Si bien en algunos casos las amplitudes no son representadas adecuadamente, la totalidad de los eventos son capturados lo cual significa que los mecanismos de generación son correctamente representados.

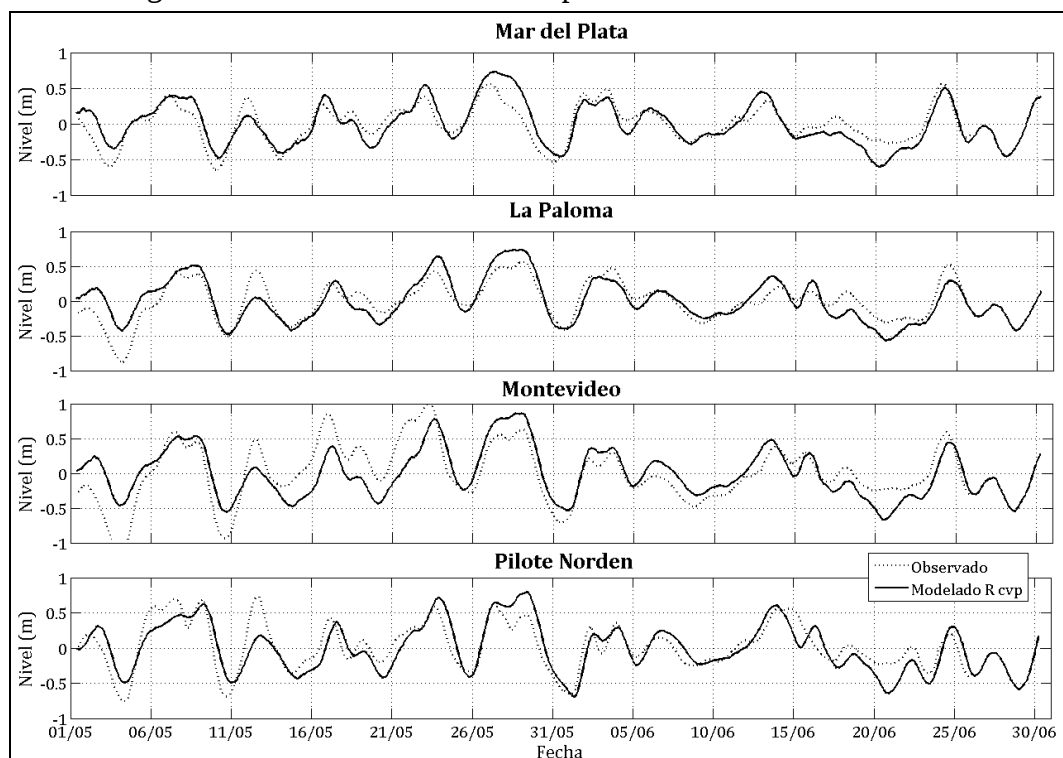


Figura 2.- Comparación de series residuales observadas y simuladas con el modelo regional en las estaciones de Mar del Plata, La Paloma, Montevideo y Pilote Norden durante mayo - junio de 2007.

La Figura 3 muestra mapas de superficie libre obtenidos a partir de los resultados de la simulación *RvpSvp* durante el evento ocurrido entre los días 22 y 24 de mayo. Se puede ver que el evento que alcanza el Río de la Plata aproximadamente el día 23 de ese mes, fue generado en los días previos en latitudes mayores a 45°S bajo la acción de vientos del suroeste soplando sobre la plataforma continental Argentina.

Por otra parte se realizaron mapas de correlación entre la serie simulada en un nodo representativo de la estación Pilote Norden y las series simuladas en el resto de los puntos del dominio para distintos lag's temporales. De esta forma para cada lag se puede realizar un mapa de los valores de correlación. En base a las observaciones realizadas a partir del análisis de las superficies residuales durante los eventos ocurridos en el período simulado se observó que las señales en Pilote Norden se generan en el sur del plataforma argentina. En la medida que esta afirmación sea correcta en los mapas de correlación debería observarse una zona de alta correlación que se encuentre cada vez más al sur en la medida que aumenta el lag temporal.

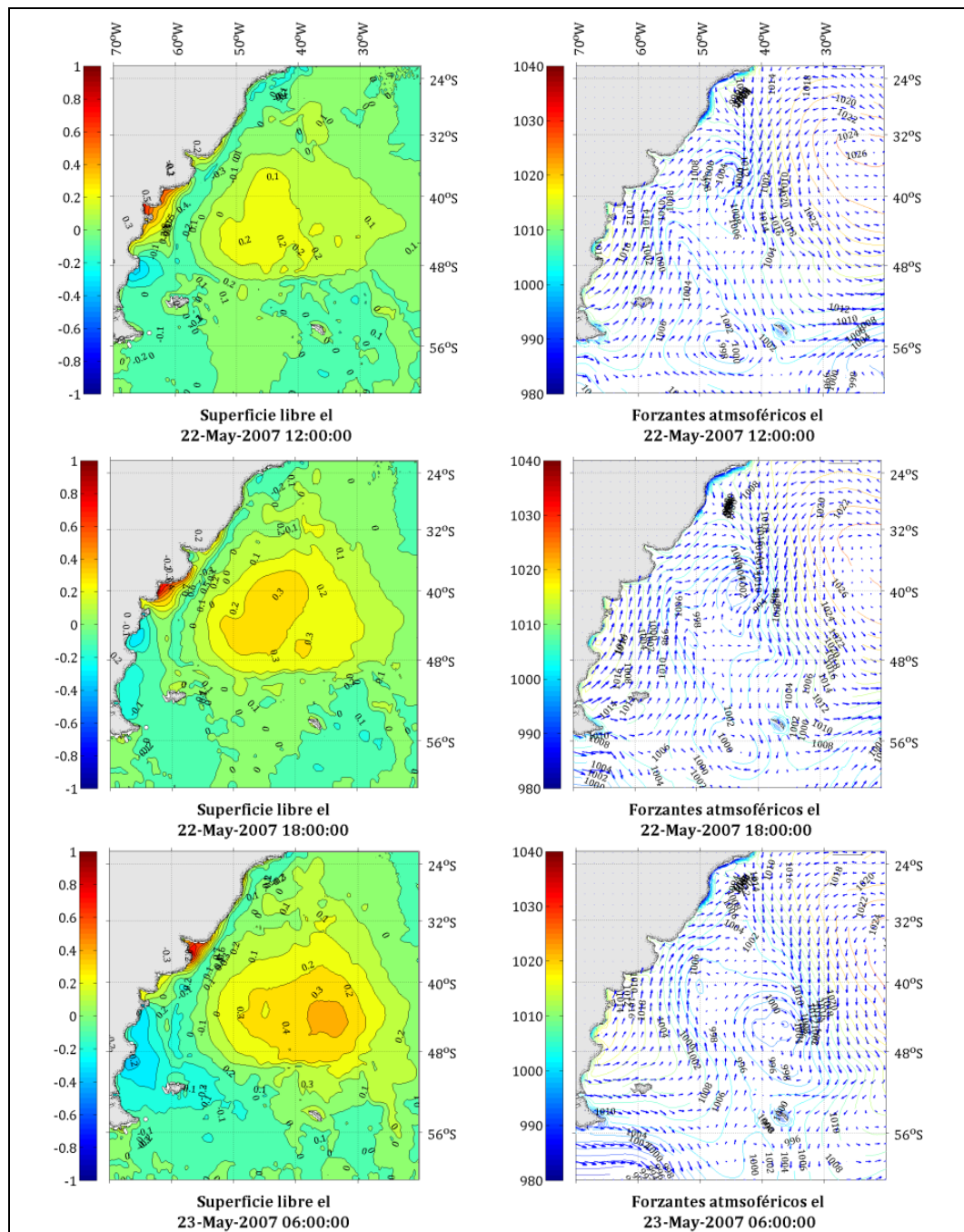


Figura 3.- Superficies residuales durante varios instantes correspondientes al evento ocurrido entre el 22 y 25 de mayo de 2007.

En la Figura 4 se muestran los mapas de correlación para varios lags temporales, además de los contornos para valores de correlación comprendidos entre 0 y 0,8; las zonas con valores superiores a 0,8 se han rellenado para facilitar su visualización. La primera figura para lag cero muestra una zona de alta correlación acotada al Río de la Plata y levemente a la costa sur de Brasil. Para lag 17 horas se puede ver que la región de máxima correlación se encuentra más al sur y en particular los valores de máxima correlación se encuentran en Mar del Plata. Para lag's cada vez mayores se puede ver como la región de alta correlación se mantiene y se desplaza al sur recostada al continente. Finalmente con un lag de 40 horas la región con correlaciones superiores a 0,8 se extiende aproximadamente en la latitud 45°S. Sin embargo vale la pena destacar que hasta lag 70 horas se mantienen valores de correlación cercanos a 0,5 - 0,6 en la región sur del continente (latitudes cercanas a 53°S).

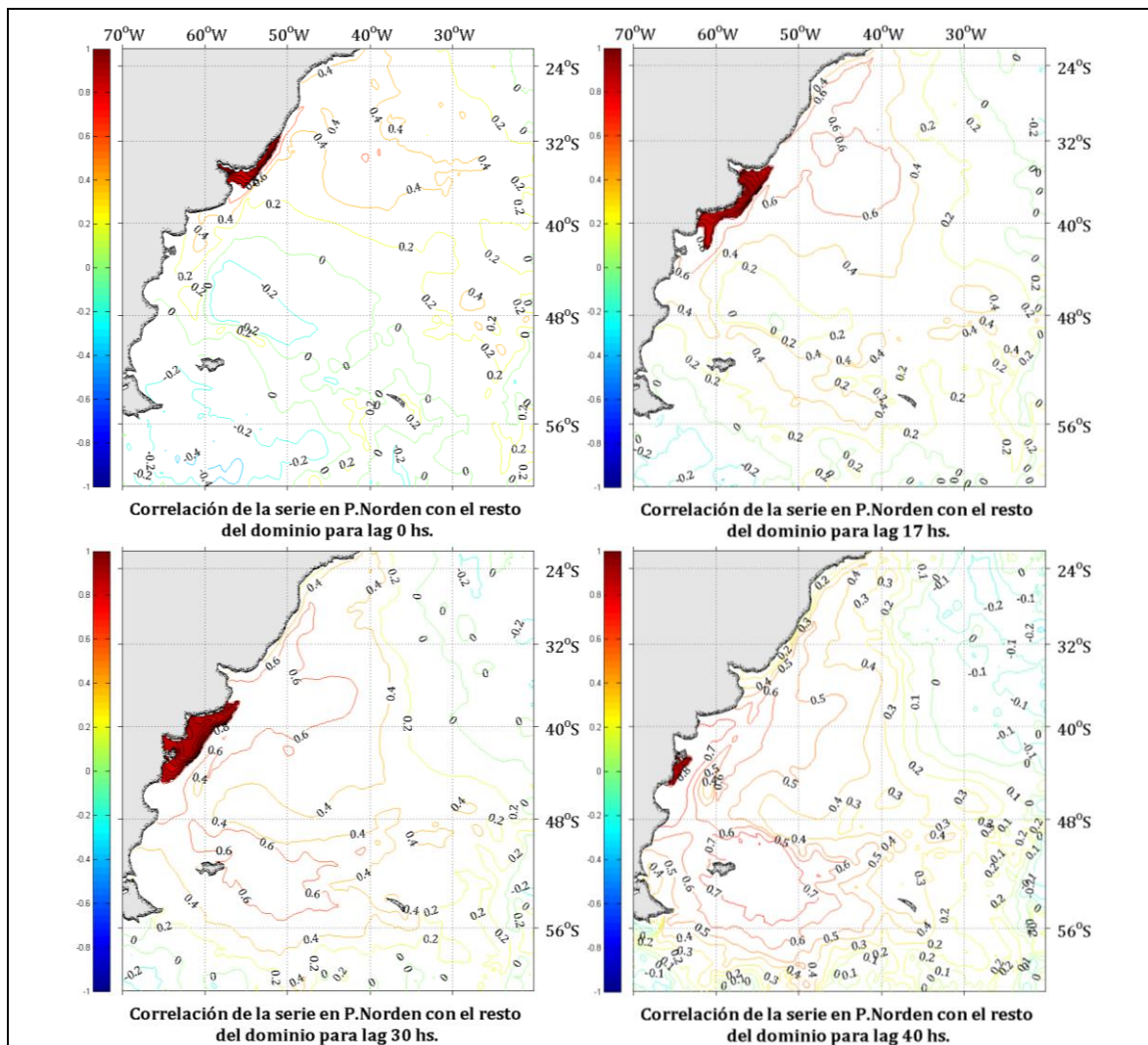


Figura 4.- Mapas de correlación para distintos lag's temporales.

De esta forma, el modelo permite ver que gran parte de las ondas de marea meteorológica que se registran en el Río de la Plata tiene su origen en el sur de la plataforma argentina. Los eventos máximos son forzados bajo condiciones de viento SW, los cuales se entiende inducen una onda costera atrapada que luego se propaga de sur a norte para finalmente ingresar al Río de la Plata. Los eventos de nivel mínimo suelen generarse bajo condiciones de vientos W- NW.

En lo que respecta al forzante local, en la Figura 5 se compara la serie obtenida con el modelo regional y submodelo forzado con viento y presión en superficie, con la serie obtenida forzando únicamente el submodelo con viento y presión. De esta forma es posible evaluar cuánto de la señal es posible generar únicamente a partir del forzante a escala local. Se puede ver que al igual que el efecto de la presión en el modelo regional, las amplitudes generadas por dicho forzante a escala local son pequeñas.

Se puede ver que las afirmaciones antes realizadas acerca de la influencia del forzante local en la amplificación de las ondas en el Río de la Plata son coherentes con lo observado en estas series. Durante eventos como por ejemplo los ocurridos los días 16/05 y 14/06 los cuales no presentan una amplificación significativa desde la estación Mar del Plata a Pilote Norden, no se observa un aporte del forzante local. Se observan otros eventos de nivel máximo ocurridos el 25/05 y 30/05 donde el forzante local hace un pequeño aporte, mientras que existen eventos de menor porte como los ocurridos el 15/06 y 22/06 que pueden ser atribuidos casi en su totalidad al efecto del forzante local.

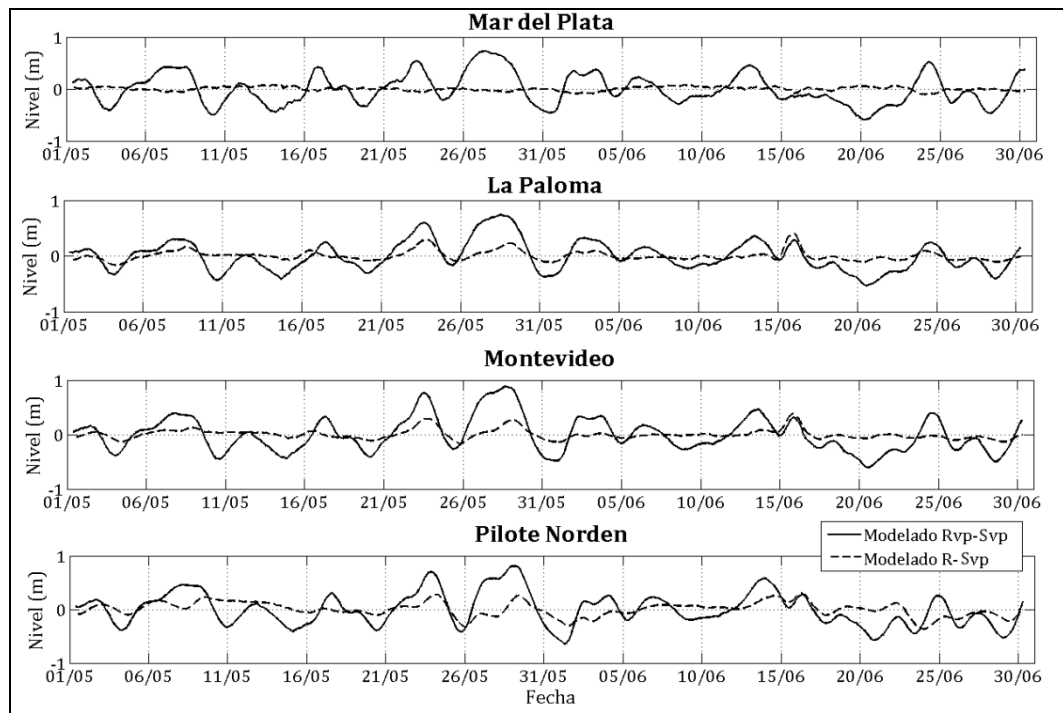


Figura 5.- Series residuales obtenidas de las simulaciones *Rvp_Svp* y *R_Svp* durante los meses de mayo y junio de 2007.

Propagación en el estuario sin forzantes atmosféricos

En la Figura 6 se muestran las series residuales simuladas correspondiente a la simulación *Rvp_Svp* en las estaciones de Mar del Plata y Pilote Norden, y también la correspondiente a la simulación *Rvp_S* en esta última estación. Se escogieron estas series con el siguiente objetivo, la serie en Mar del Plata muestra los eventos meteorológicos generados por el forzante remoto y que ingresan al Río de la Plata. Luego se muestran las series residuales en Pilote Norden obtenidas con y sin la acción del forzante local. Se puede ver que en ausencia del forzante local los eventos en Pilote Norden presentan una amplitud muy similar a la observada en Mar del Plata. Por el contrario cuando se incluye el forzante local se observan amplificaciones tanto en eventos positivos como negativos. Esto significa que las modificaciones en la amplitud de los eventos debidas al cambio en la geometría del estuario (disminución de la profundidad y estrechamiento de su sección), son de segundo orden frente a las generadas por la acción del forzante atmosférico local.

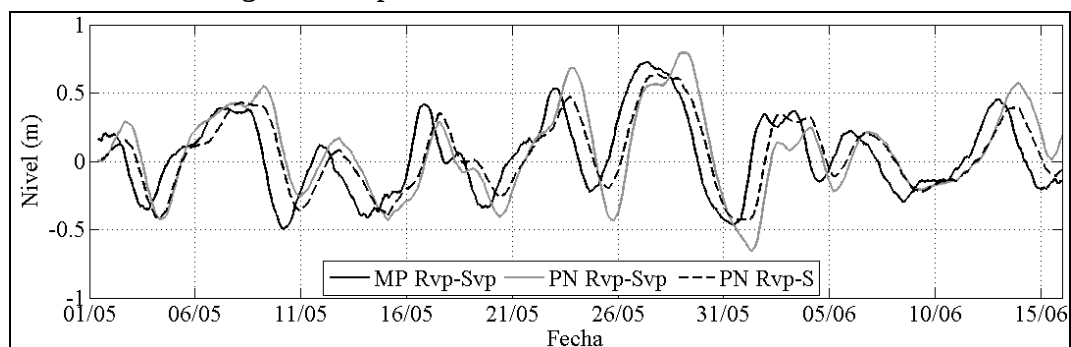


Figura 6.- Series residuales obtenidas de las simulaciones *Rvp_Svp* y *Rvp_S* durante los meses de mayo y junio de 2007.

Efecto del viento y la presión en superficie por separado

En la Figura 7 se comparan las series observadas, modeladas con viento y presión (*Rvp_Ivp*), y modeladas únicamente con viento (*Rv*) o con presión (*Rp*) durante junio de 2007. Una primera observación que vale la pena destacar es que la suma lineal de las simulaciones con viento y presión por separado prácticamente coincide con los resultados de la simulación con ambos forzantes. Se puede ver que a excepción del evento ocurrido entre los días 25/05 y 30/05 la simulación que únicamente tiene como forzante la presión en superficie realiza un aporte menor a la amplitud de los

eventos de las series observadas. Las amplitudes de la simulación con presión son acordes a lo esperado según la relación de barómetro inverso, salvo en algún evento particular como el que tiene lugar a fines de mayo donde la solución con presión realiza un aporte superior al del viento y del orden de 50 cm. Por otra parte el viento, se muestra como el principal responsable en la correcta representación de los eventos de marea meteorológica.

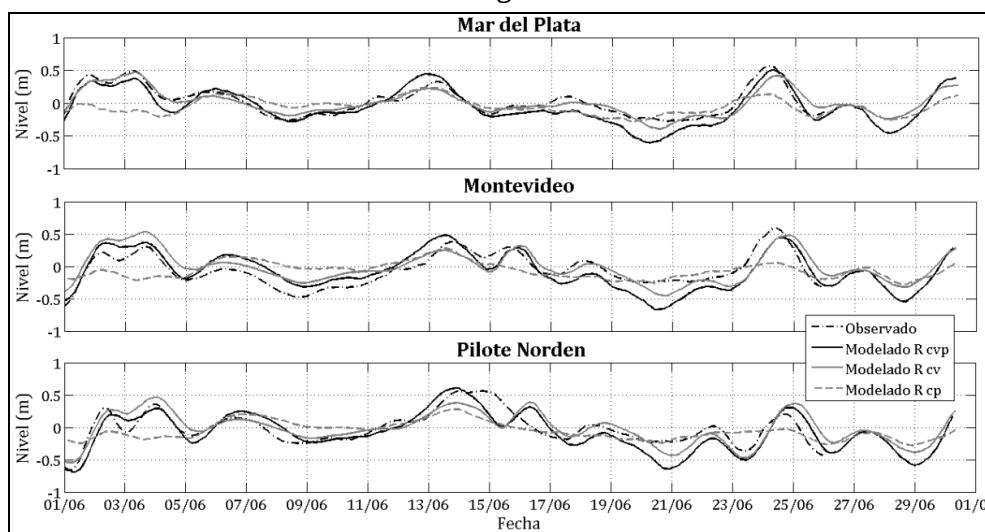


Figura 7.- Serie observada, y series modeladas R_{vp} , I_{vp} , R_v y R_p en las estaciones de Mar del Plata, Montevideo y Pilote Norden durante junio de 2007.

CONCLUSIONES

Mediante la implementación de un modelo hidrodinámico a escala regional y local, fue posible estudiar la generación y propagación de la marea meteorológica observada en el Río de la Plata. El análisis de las superficies residuales de los eventos ocurridos durante el período simulado y los mapas de correlación realizados muestran que gran parte de las ondas de marea meteorológica que se registran en el Río de la Plata tiene su origen en el sur de la plataforma argentina. A su vez mediante simulaciones idealizadas se evaluó la importancia relativa de los forzantes atmosféricos así como también la magnitud del aporte realizado por el forzante a escala local.

REFERENCIAS

- Blumberg, A. F., Kantha, L. H.,** (1985). Open boundary condition for circulation models, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 111, N° 2 pp. 237-255.
- Etala, P.,** (2009). Dynamic issues in the SE South America storm surge modeling. *Nat. Hazards* 51pp.79–95.
- Glorioso, P., Flather, R.,** (1995). A barotropic model of the currents off SE South America. *J. Geophys. Res.* 100 13427-13440.
- Néves, R.,** (1985). Étude Experimentale et Modélisation des Circulations Transitoire et Résiduelle dans l'Estuaire du Sado, Ph. D. Thesis, Univ. Liège.
- Santoro, P., Fossati, M., Piedra-Cueva, I.** (2012). Characterization of Circulation Patterns in Montevideo Bay (Uruguay). Accepted for publication in *Journal of Coastal research*. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-11-00174.1 received 20 September 2011; accepted in revision 30 December 2011.
- Santoro, P., Fossati, M., Piedra-Cueva, I.,** (2010). *Estudio de la Marea Meteorológica en el Río de la Plata*. XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Punta del Este, Uruguay.
- Fossati, M., Fernández, M., Piedra-Cueva, I.** (2008). Modelación hidrodinámica tridimensional del Río de la Plata utilizando modelos encajados. XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias, Colombia.
- Santoro, P., Fernández, M., Fossati, M., Cazes, G., Terra, R., Piedra-Cueva, I.,** (2011). "Pre-operational forecasting of sea level height for the Río de la Plata". *Journal of Applied Mathematical Modelling*, Vol. 35, pp. 2462–2478.
- Saraceno, M., D'Onofrio, E., Fiore M., Grismeyer, W.,** (2010). Tide model comparison over the Southwestern Atlantic Shelf. *Cont. Shelf Res.* 30 pp. 1865–1875.