

XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
PUNTA DEL ESTE, URUGUAY, NOVIEMBRE 2010

ESTUDIO DE LA MAREA METEOROLÓGICA EN EL RÍO DE LA PLATA

Pablo Santoro, Mariana Fernández, Mónica Fossati, Ismael Piedra-Cueva
Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, IMFIA. J. Herrera y Reissig 565, Montevideo, Uruguay
psantoro@fing.edu.uy, mfernand@fing.edu.uy, mfossati@fing.edu.uy, ismaelp@fing.edu.uy

RESUMEN:

Este trabajo tiene por objeto de estudio las variaciones de nivel no astronómicas en el Río de la Plata y la región oceánica adyacente. Con el objetivo de comprender las principales características de su propagación así como su vinculación con los forzantes atmosféricos de mesoescala, se estudiaron las series de niveles registrados en ocho estaciones mareográficas del Río de la Plata. Se evaluaron dos alternativas para remover la componente astronómica de las series de niveles, la serie residual obtenida mostró representar más del cincuenta por ciento de la variabilidad de la serie original en todas las estaciones. Un análisis de componentes principales permitió sintetizar el comportamiento de las ocho estaciones y extraer conclusiones a cerca de la evolución de la amplitud de las oscilaciones entre las mismas. Por último, mediante la realización de composites en base a campos de Reanálisis de NCEP se identificaron los principales patrones atmosféricos de viento y presión en superficie de mesoescala que se asocian a eventos "extremos" debidos a forzantes no astronómicos.

ABSTRACT:

This work aims to study non-astronomical sea levels changes in the Rio de la Plata and the adjacent oceanic region. In order to understand the main features of its propagation and its relation with the mesoscale atmospheric forcing, water levels of eight tidal gauges in the Rio de la Plata were studied. Two alternatives were evaluated to remove the astronomical component of the series. The residual series obtained represent more than fifty percent of the variability of the original series in all stations. A Principal Component Analysis was drawn to summarize the behavior of the eight stations and draw conclusions about the evolution of the amplitude of the oscillations between them. Finally, a composite statistical method based on NCEP Reanalysis fields was used to identify the main mesoscale patterns of wind and atmospheric surface pressure associated with "extreme" events due to non-astronomical forcings.

PALABRAS CLAVES:

Marea meteorológica, Oscilaciones no astronómicas, Río de la Plata.

INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años 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. Gran parte de la experiencia acumulada se basa en la realización de simulaciones retrospectivas, las cuales permiten evaluar exitosamente la respuesta hidrodinámica del sistema a distintas obras de ingeniería como ser los dragados, las descargas de emisarios, los puertos, etc. Sin embargo, dicho enfoque no es de utilidad para abordar otro tipo de situaciones que requieren de información de pronóstico a corto plazo en tiempo real como son las actividades de búsqueda y rescate en accidentes marítimos, ayuda a la navegación por zonas de profundidad restringida, ayuda a la gestión de derrames de contaminantes, etc. Es así que en la actualidad, con el propósito de brindar una herramienta de apoyo a la gestión del Río de la Plata, se está trabajando desde hace unos años en el desarrollo de un modelo operacional de predicción de niveles y corrientes para el Río de la Plata (Fernández et.al, 2008).

En las simulaciones retrospectivas se conocen las variaciones de nivel en la frontera oceánica y se resuelve su propagación en el Río de la Plata. Sin embargo 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.

Es en este marco que surge la necesidad de estudiar en mayor detalle el efecto de los forzantes atmosféricos sobre la hidrodinámica del Río de la Plata y la región oceánica adyacente. Este trabajo avanza en esa dirección mediante el estudio de los registros de niveles en diversas estaciones mareográficas en el Río de la Plata, buscando comprender las características de propagación de las oscilaciones asociadas a forzantes no astronómicos. Así mismo se vincula su comportamiento con los principales forzantes atmosféricos de mesoescala.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo consisten en:

- Identificar las oscilaciones que no tienen origen astronómico a partir de las series de niveles registradas en varias estaciones mareográficas del Río de la Plata.
- Estudiar las características principales de su propagación en el Río de la Plata.
- Buscar su vinculación con los forzantes atmosféricos de mesoescala.

INFORMACIÓN DE BASE

Información disponible

Los diversos trabajos de simulación numérica de la hidrodinámica del Río de la Plata que se han llevado a cabo en el IMFIA permitieron generar una base de datos con registros de niveles en varias estaciones del mismo. En este trabajo se utilizaron datos horarios de niveles en las ocho estaciones mareográficas que se muestran en la Figura 1.

Los datos correspondientes a las estaciones Mar del Plata, Torre Oyarvide y Buenos Aires fueron aportados por el Servicio de Hidrografía Naval de la República Argentina, mientras que los datos de las estaciones ubicadas sobre la costa Uruguaya fueron provistos por el Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada y la Dirección Nacional de Hidrografía del Uruguay. En el caso de la estación Pilote Norden, los datos fueron suministrados por la empresa RioVia S.A..

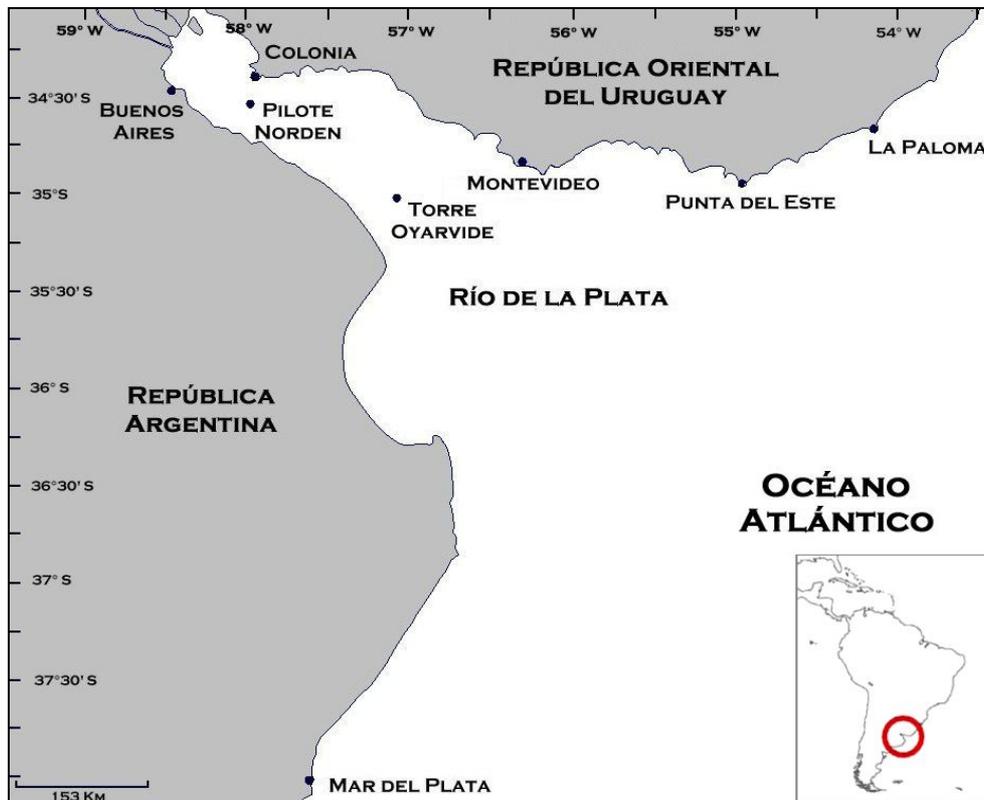


Figura 1.- Ubicación de las estaciones mareográficas utilizadas.

Si bien en algunas estaciones como Pilote Norden o Montevideo se dispone de series con una longitud de varios años, para de este estudio son de utilidad aquellos períodos en los cuales se tienen datos simultáneamente en las ocho estaciones de estudio. Debido a esto se seleccionó como período de estudio el año 2004 por ser el período con la mayor cantidad de datos simultáneamente en todas las estaciones, aunque durante dicho año existen períodos sin datos en algunas estaciones. En la Tabla 1 se presentan los porcentajes de datos disponibles en cada estación para cada mes del año 2004. Finalmente se utilizó el 67 % del año 2004 luego de descartar aquellos períodos sin datos en alguna de las ocho estaciones.

La totalidad de las series fueron referidas a un mismo plano de referencia, el Plano Hidrométrico Provisorio (Ex - Wharton). De todas formas a los efectos de este trabajo se restó a cada una de las series su media, pues interesa estudiar la evolución de oscilaciones respecto a un nivel medio.

Tabla 1.- Porcentaje de registros horarios de niveles disponibles en cada estación durante el año 2004.

Estación	2004											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mar del Plata	78,8	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	0
La Paloma	68	45	100	100	100	37	100	100	100	100	100	100
Punta del Este	61	79	100	100	100	100	100	100	27	100	85	100
Montevideo	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Torre Oyarvide	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Pilote Norden	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	58	96
Colonia	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Buenos Aires	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Por otra parte, a los efectos de caracterizar los forzantes atmosféricos a mesoescala, la información que resulta de mayor utilidad son los datos de Re-análisis de NCEP (Kalnay et.al, 1996); dicha base de datos surge de una combinación entre datos observados y simulaciones numéricas, siendo su resolución temporal es de 6 horas y espacial de 2,5° x 2,5°.

METODOLOGÍA

Filtrado de las oscilaciones astronómicas

El objeto de estudio de este trabajo son las oscilaciones de origen no astronómico en el Río de la Plata, por lo que en primera instancia se evalúa la forma de filtrar la marea astronómica en cada una de las ocho series consideradas para obtener lo que se denominan series residuales de niveles.

Una alternativa consiste en determinar las componentes teóricas de la marea astronómica, en este caso se realizó una descomposición armónica de la serie de niveles medidos utilizando la herramienta T_Tide (Pawlowicz et al., 2002). De esta forma se obtienen las amplitudes y fases de las distintas componentes teóricas y posteriormente extrayendo de la serie de niveles observados la composición de todas estas componentes se obtiene la serie residual de niveles.

Otra alternativa consiste en aplicar un filtro pasa bajos de 24 horas, en este caso se utilizó un filtro centrado obteniendo la serie residual de niveles a partir del promedio de los niveles registrados en las 12 horas anteriores y posteriores a cada instante.

Propagación de las oscilaciones no astronómicas

Para estudiar las series residuales de niveles, en primera lugar se evaluó la relación entre la varianza de las mismas y la varianza de las series originales. Esto da una idea del porcentaje de energía en la serie de niveles medidos que se asocia a las oscilaciones de origen no astronómico.

Se realizó un análisis espectral de las series residuales a los efectos de visualizar la existencia de frecuencias energéticamente predominantes. Para el mismo se utilizó el período más extenso sin datos faltantes el cual va desde el 17 de febrero de 2004 al 03 de junio del mismo año.

Por otra parte se realizó un análisis de componentes principales (ACP's) sobre las ocho series residuales de niveles. El mismo tiene como resultado ocho campos espaciales (EOF's) con sus respectivas series temporales asociadas (PC's), cada uno de los cuales representa cierto porcentaje de la varianza de las series originales. Seleccionando las componentes principales que explican un elevado porcentaje de la varianza es posible sintetizar la información de las ocho series, y a partir del estudio de los EOF's asociados a las mismas extraer conclusiones a cerca de la relación entre las amplitudes de las oscilaciones de las distintas estaciones.

Vinculación de las oscilaciones no astronómicas con los forzantes atmosféricos

A los efectos de vincular los forzantes atmosféricos con las oscilaciones astronómicas se plantea como primera aproximación la identificación de los patrones atmosféricos de mesoescala asociados a los eventos de variación de niveles más significativos. De esta forma se identifican en las series de niveles residuales eventos en que la separación del comportamiento astronómico es significativa, esto es, eventos “extremos” máximos y mínimos en la serie residual de niveles. Una vez seleccionados los eventos se identifican los campos de viento en 10m y presión en superficie de los Re-análisis correspondientes y se realizan “composites” de los mismos.

Se llevaron a cabo dos alternativas para la identificación de los eventos significativos en la serie de niveles. En primer lugar se utilizó la primera componente principal obtenida con el ACP como una serie sintética del comportamiento de todas las estaciones en el Río de la Plata. La elección de los eventos significativos se realizó considerando como eventos máximos aquellos que superan el percentil 95 y mínimos aquellos por debajo del percentil 5 de la serie.

En segundo lugar buscando hacer más representativo el análisis considerando una mayor cantidad de eventos, se aplicó la misma metodología trabajando únicamente sobre la serie de niveles observados en la estación Pilote Norden. En dicha estación se cuenta con datos durante los años 2004, 2006 y 2007. Se aplicó sobre dicha serie de tres años el filtro pasa bajos y se consideraron como evento significativos aquellos instantes en los que se supera el percentil 95 de la serie o no se alcanza el percentil 5 de la misma.

RESULTADOS

Filtrado de las oscilaciones astronómicas

En la Figura 2 se muestra la comparación de las series de niveles residuales obtenidas utilizando las metodologías propuestas. Se puede ver que los resultados son similares siendo menos ruidosa la serie filtrada. Debido a esto último y en vistas de que el método de filtrado es más robusto, pues el ajuste de las componentes teóricas de marea depende de la serie en cuestión, se optó por utilizar el filtro pasa bajos de 24 horas para obtener las series de niveles residuales en las ocho estaciones en estudio.

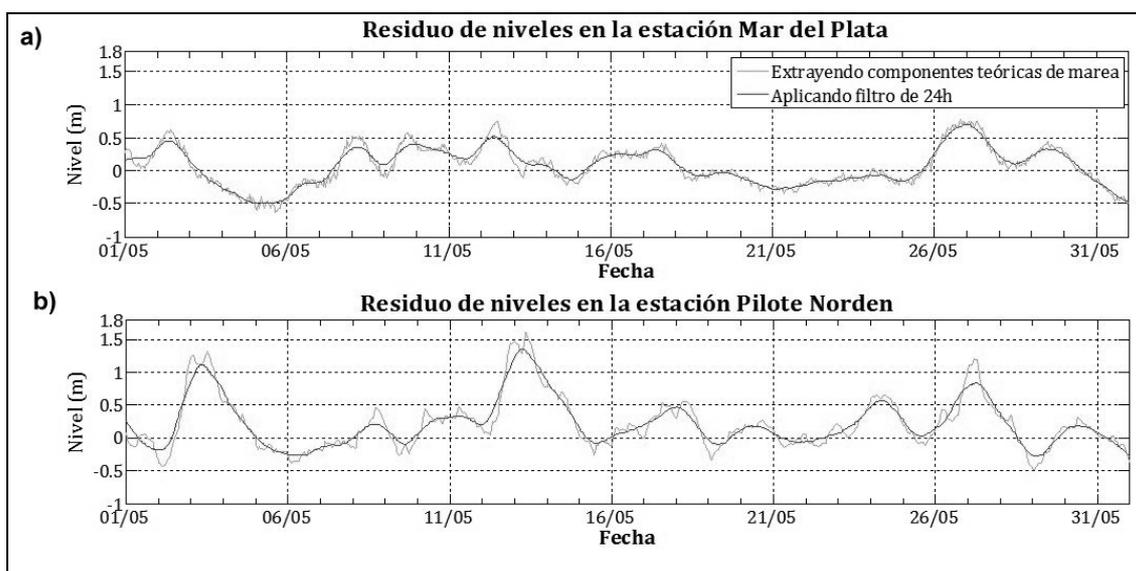


Figura 2.- Comparación de las series residuales de niveles obtenidas mediante dos metodologías durante mayo de 2004 en las estaciones de a) Mar del Plata y b) Pilote Norden.

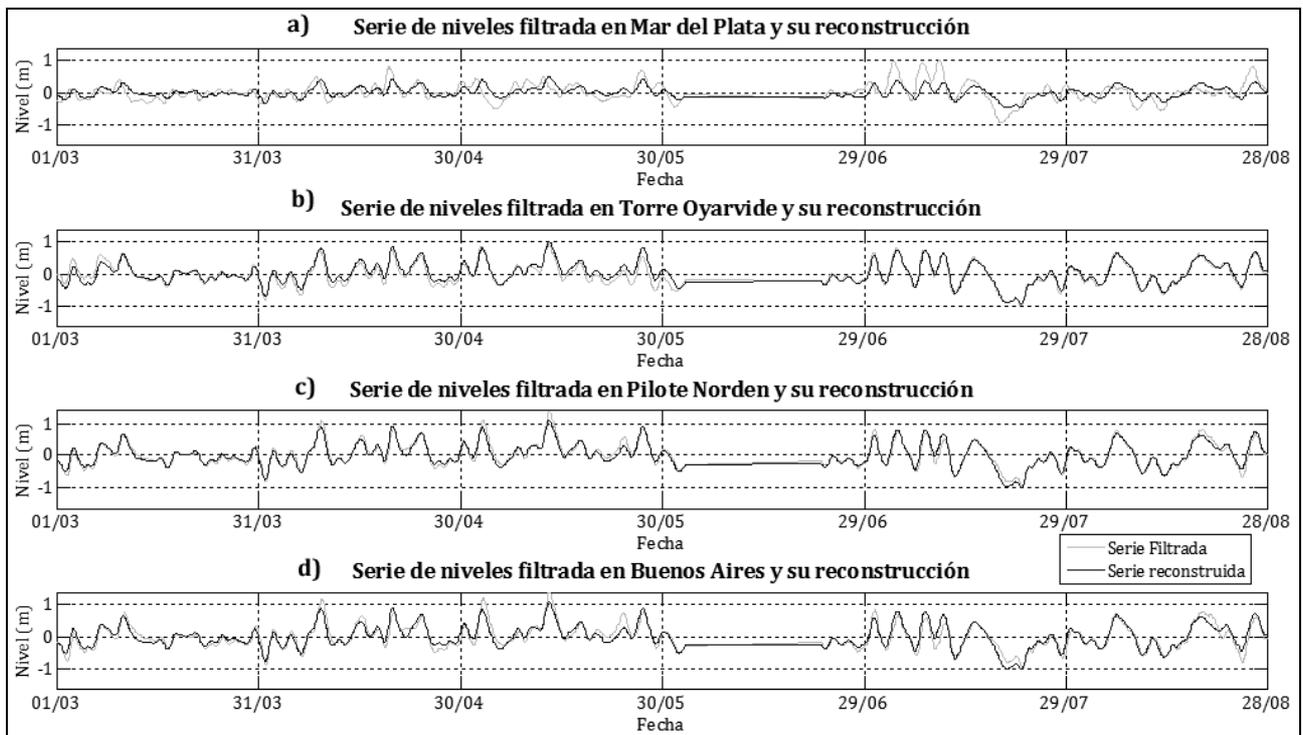


Figura 5.- Series residuales de niveles y series reconstruidas a partir del EOF_1 en las estaciones de a) Mar del Plata, b) Torre Oyarvide, c) Pilote Norden, d) Buenos Aires durante marzo – agosto de 2004.

Los coeficientes de cada EOF son a veces denominados “cargas”, pues para reconstruir la series se multiplica el PC correspondiente por el coeficiente asociado a cada estación, de esta forma estos coeficientes dan información a cerca de la amplitud de las oscilaciones en cada estación. En el caso del primer EOF todos sus coeficientes muestran el mismo signo indicando que todas las estaciones se comportan de la misma forma, mientras que sus magnitudes muestran un incremento de la amplitud de las ondas al adentrarse en el Río de la Plata. La segunda componente principal muestra una alternancia de signos que es típica debido a la condición de ortogonalidad entre las componentes principales y por tanto no debe interpretarse físicamente, para ello existen técnicas de rotación que no fueron exploradas en este trabajo.

Vinculación de las oscilaciones no astronómicas con los forzantes atmosféricos

En lo que respecta al análisis de los eventos extremos máximos y mínimos de la serie residual de niveles, como se mencionó anteriormente se realizó un composite a partir de los eventos identificados en el PC_1 por ser ésta una buena representación de lo que sucede en todas las estaciones del Río de la Plata en conjunto. Fueron identificados 14 eventos máximos y 10 mínimos los cuales se muestran en la Figura 6 (arriba). Por otra parte se aplicó la misma metodología sobre los tres años de datos disponibles en la estación Pilote Norden obteniendo 45 eventos máximos y 42 eventos mínimos lo cual da más representatividad al análisis, los mismos se muestran en la Figura 6 (abajo).

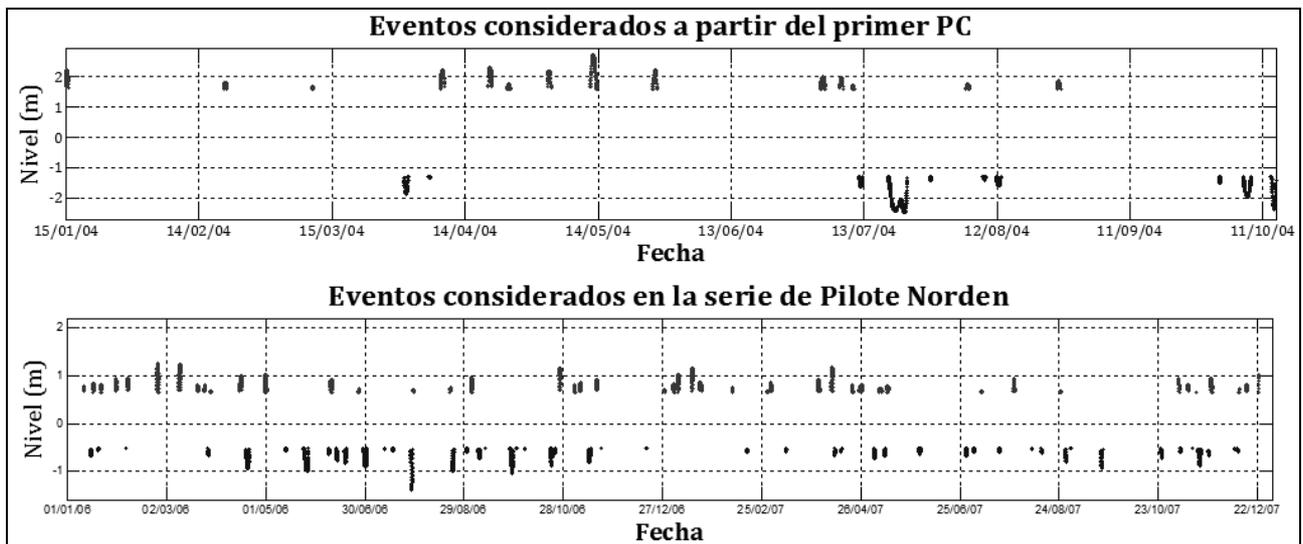


Figura 6.- Eventos de niveles máximos y mínimos identificados en el PC_1 (arriba) y en la serie de niveles residuales en al estación Pilote Norden durante 2004, 2006 y 2007 (abajo).

Un promedio de los campos de viento en 10m y presión en superficie de Re-análisis durante los años 2004, 2006 y 2007 se muestra en la figura 7 a los efectos de establecer una condición media. Se observan vientos del oeste en la plataforma Argentina, mientras que sobre el Río de la Plata y la zona oceánica adyacente se tienen vientos calmos.

Realizando el composite de los campos de viento en 10m y presión en superficie de Re-análisis asociados a los eventos máximos y mínimos identificados en el PC_1 se obtienen los resultados de la Figura 8, mientras que la Figura 9 muestra los resultados obtenidos a partir de la serie en Pilote Norden. Ambos resultados presentan las mismas características generales, en el caso de eventos de niveles máximos se presenta un patrón de circulación anticiclónica al sur del Río de la Plata el cual conlleva a una alineación de la dirección del viento del sur este con su eje. Estas condiciones llevan a los denominados eventos de sudestada. Por el contrario en el caso de eventos de niveles mínimos se puede ver que los vientos son predominantemente del norte o noroeste.

Balay M. (1956) realiza un estudio detallado de la crecida de julio de 1958 y las condiciones atmosféricas durante la misma y si bien atribuye la ocurrencia de este tipo de eventos a una multiplicidad de factores distingue un patrón atmosférico típico que se asocia a dichos eventos. En el mismo se observa una circulación anticiclónica al sur del Río de la Plata tal como se identificó en este trabajo, sin embargo, también se hace presente y con un rol importante una depresión significativa al norte del Uruguay – sur de Brasil la cual incrementa sustancialmente el gradiente de presiones y por tanto conlleva a vientos de mayor intensidad. Si bien esta última no se identifica en el composite aquí obtenido es probable que dentro del mismo se encuentren casos con dichas características y sean los que corresponden a eventos de mayor amplitud. A modo de ejemplo se muestra en la Figura 10 el campo de viento y presión asociado al máximo evento en la serie residual de niveles Pilote Norden, en el mismo se observa una situación tal como la descrita anteriormente con una fuerte compresión de las isobaras sobre el Río de la Plata.

Los resultados aquí presentados son un valioso input para la evaluación del desempeño de los modelos utilizados para representar la hidrodinámica del Río de la Plata y la zona oceánica adyacente. La modelación numérica permite realizar simulaciones idealizadas con forzantes simplificados facilitando la comprensión de los fenómenos físicos involucrados. En este sentido los campos de viento y presión obtenidos en este trabajo mediante la técnica de composites son un buen punto de partida.

Si bien los resultados obtenidos mediante composites resultan interesantes, es posible utilizar herramientas estadísticas más elaboradas como el análisis de componentes principales. En Escobar et al (2004) se presentan resultados de un estudio de eventos de niveles máximos sobre la costa Argentina y su vinculación con los forzantes atmosféricos en base a una serie de datos más extensa y utilizando como herramienta el análisis de componentes principales. Los resultados aquí presentados son consistentes con los obtenidos en dicho estudio, sin embargo se entiende que en el futuro es necesario explorar este tipo de técnicas.

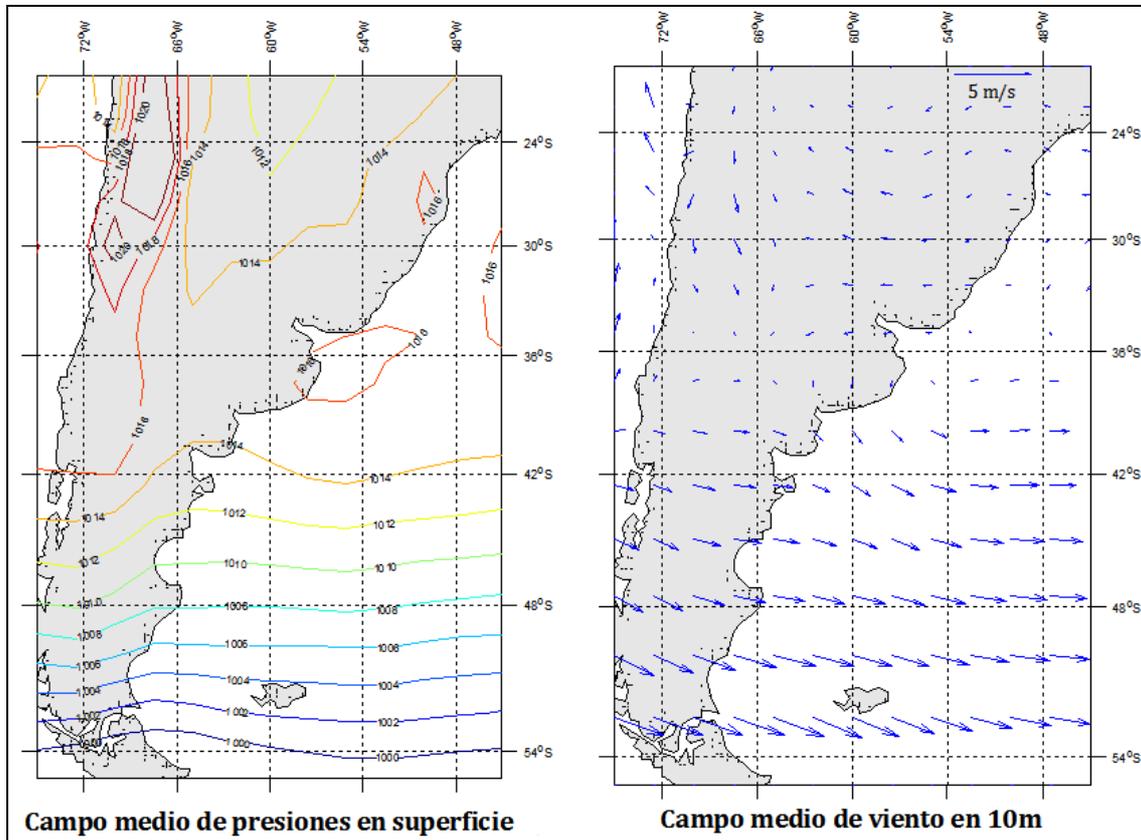


Figura 7.- Campos medios de presión en superficie (izq.) y viento en 10m (derecha) a partir de los Re-análisis correspondientes a los años 2004, 2006 y 2007.

Por último, actualmente se está realizando un análisis de los tiempos de propagación de las oscilaciones de la serie residual de niveles entre las distintas estaciones. Se han identificado oscilaciones de distinta amplitud y período junto con sus tiempos de propagación, resultados preliminares muestran que la velocidad de propagación es independiente de estas dos características. Se están realizando otros análisis y los resultados aún no son concluyentes por lo cual no se han incluido en este trabajo.

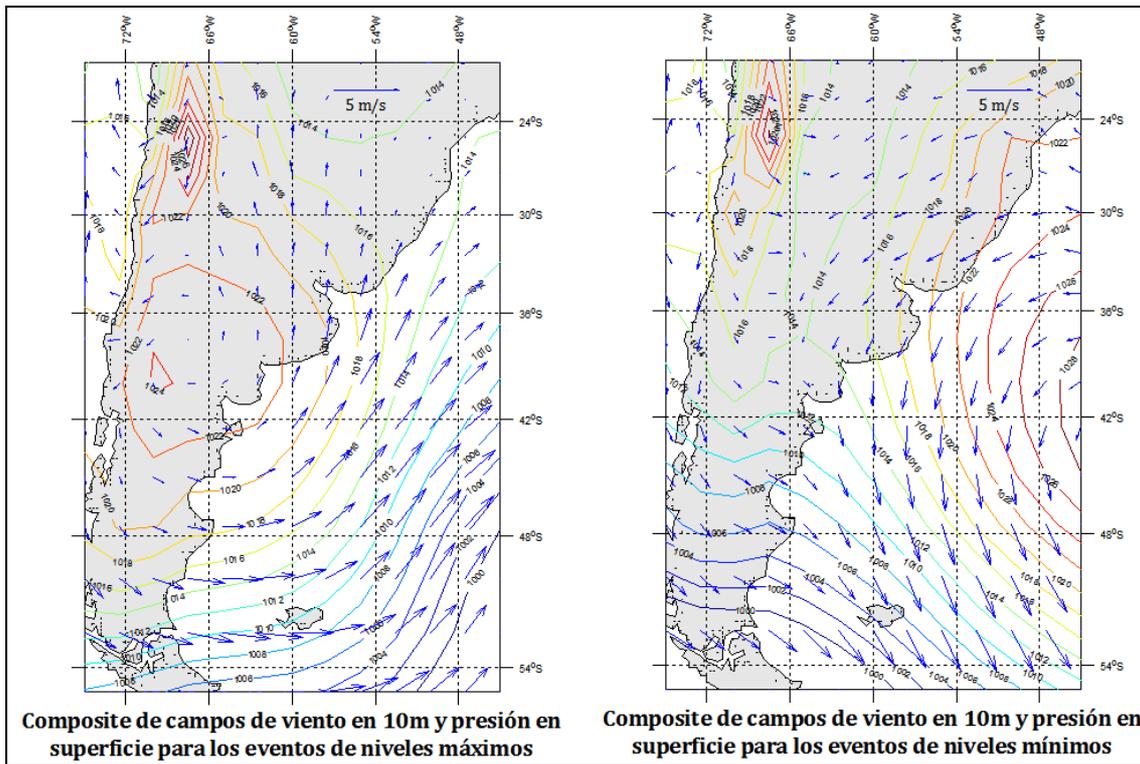


Figura 8.- Composites de viento en 10m y presión en superficie para eventos de niveles máximos (izq.) y mínimos (derecha) a partir del PC_1.

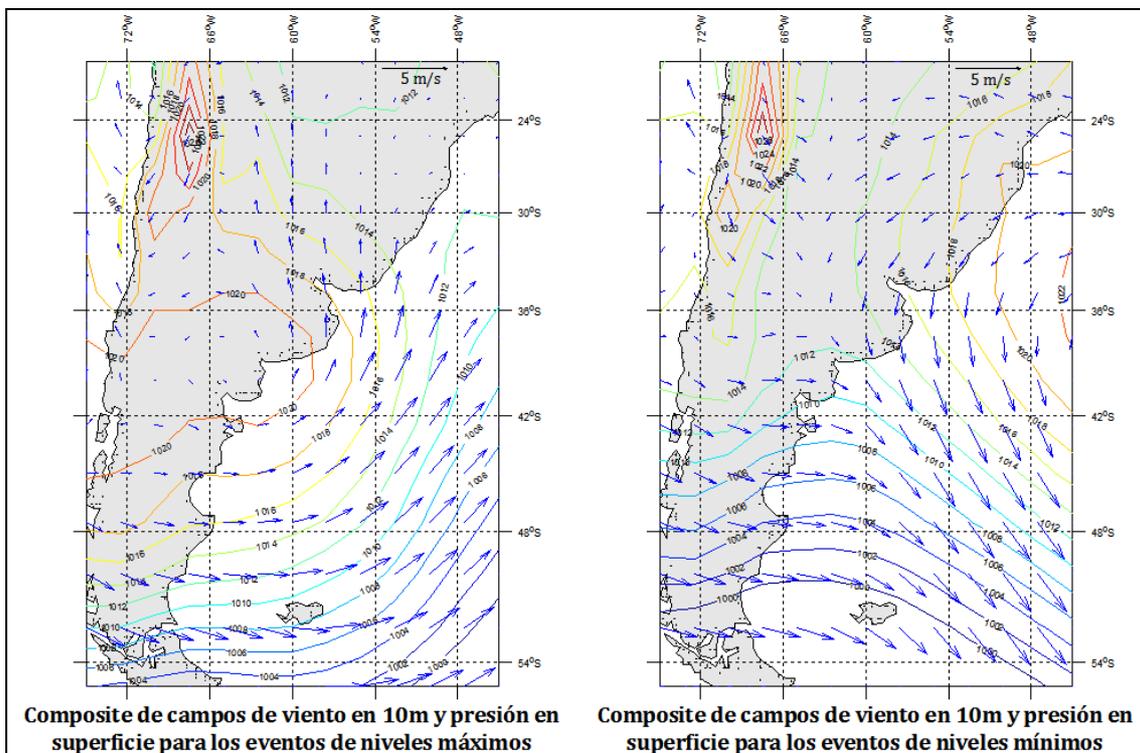


Figura 9.- Composites de viento en 10m y presión en superficie para eventos de niveles máximos (izq.) y mínimos (derecha) en la estación Pilote Norden durante los años 2004, 2006 y 2007.

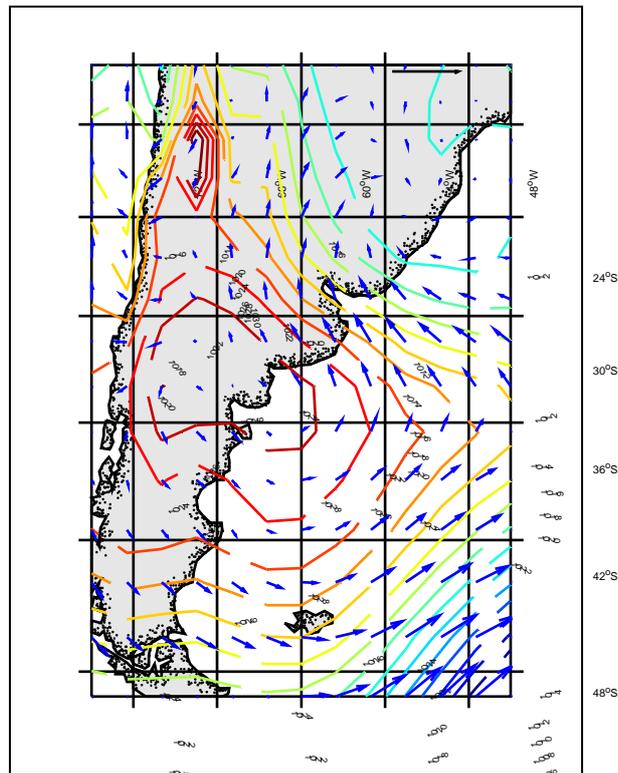


Figura 10.- Campos de viento en 10m y presión en superficie para el evento de mayor magnitud en la estación Pilote Norden durante los años 2004, 2006 y 2007.

Campos de viento en 10m y presión en superficie para el máximo evento en la serie residual

CONCLUSIONES

El estudio en forma conjunta de las series de niveles residuales en ocho estaciones mareográficas en el Río de la Plata permitió extraer conclusiones acerca de las características generales de propagación de las oscilaciones no astronómicas en el mismo.

La componente astronómica de las series de niveles registradas fue removida mediante un filtro pasa bajos de 24 horas. Se observó que las oscilaciones no astronómicas que componen la serie residual de niveles representan en general más del 50 % de la varianza de la serie original de niveles.

La aplicación de un análisis de componentes principales mostró la posibilidad de sintetizar el comportamiento de las series a través de la primera componente principal. Los coeficientes del EOF asociado a dicha componente ponen de manifiesto un incremento en la amplitud de las oscilaciones en la medida que se adentran en el estuario.

Se identificaron los principales patrones atmosféricos de viento y presión en superficie a mesoescala que se asocian a eventos “extremos” debidos a forzantes no astronómicos. Dicha determinación se realizó en base a composites de campos de Re-análisis seleccionados tanto en base a la serie sintética obtenida mediante el análisis de componentes principales, como a partir de la serie de niveles residuales en la estación Pilote Norden utilizando un período más extenso. En ambos casos los resultados son similares y muestran un patrón de circulación anticiclónico al sur del Río de la Plata en el caso de los eventos máximos, el cual se puede asociar a los fenómenos de sudestada; mientras que los eventos de niveles residuales mínimos se dan en condiciones de viento norte – noroeste.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balay, M. (1956). **Causes and periodicity of large floods in Rio de la Plata (flood of 27 and 28 July 1958)**. *International Hydrographic Review (Monaco)* 33(2), pp. 31-65.
- Escobar G, Vargas W, and Bischoff S. (2004). **“Wind tides in the Rio de la Plata estuary: meteorological conditions”**. *International Journal of climatology* Vol. 24, pp. 1156-1169.
- Fernández M, Santoro P, Cazes G, Fossati M, Piedra Cueva I. (2008). **“Implementación de un modelo hidrodinámico del Atlántico Sur forzado por un modelo atmosférico de mesoescala”**. *XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias, Colombia*.
- Kalnay E, M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, and D. Joseph, (1996). **“The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project”**. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 77 pp. 437-471.
- Pawlowicza R.; Beardsley, B.; Lentz, S. (2002). **Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T TIDE**. *Computers & Geosciences* 28, pp. 929–937.