

ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD CONJUNTA DEL RÍO DE LA PLATA Y LOS RÍOS PARANÁ Y URUGUAY

Dernis Mediavilla⁽²⁾⁽³⁾, Guadalupe Alonso⁽³⁾, Mónica Fiore⁽¹⁾⁽³⁾, Enrique D'Onofrio⁽¹⁾⁽²⁾

⁽¹⁾ Servicio de Hidrografía Naval

⁽²⁾ Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas – FIUBA

⁽³⁾ Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN –UBA

dernis.mediavilla@gmail.com

Resumen

El Río de la Plata y sus tributarios principales, los ríos Paraná y Uruguay, conforman el sistema hídrico más importante de la Argentina. En este trabajo se analiza el aporte de procesos oceanográficos, hidrológicos y meteorológicos al régimen del Río de la Plata y la variabilidad conjunta del mismo con los ríos Paraná y Uruguay durante el período 1905-2007, en la zona del puerto de Buenos Aires. En una primera etapa, el objetivo del trabajo es estudiar el efecto de los forzantes (viento y marea) sobre el comportamiento de la altura del agua del Río de la Plata. Los forzantes de viento y marea explican más del 70% de la varianza de las alturas del agua del Río de la Plata. Como parte de este primer objetivo del trabajo, se relaciona la varianza no explicada con las descargas de los ríos Paraná y Uruguay. Para ello se eliminan de la serie de alturas observadas las contribuciones de la marea y de la onda de tormenta, obteniéndose una serie residual que es representativa del nivel medio del Río de la Plata. Se correlaciona la serie resultante con datos de caudales de los ríos Paraná y Uruguay correspondientes al período 1905-2007. Se realiza un análisis de eventos extremos de caudales para ambos ríos, considerando los umbrales para crecidas y bajantes determinados por Jaime y Menéndez (2002). Dado que los caudales medios mensuales no se ajustan a una distribución normal, se utiliza el coeficiente de correlación de *Spearman* para el análisis de varianza. Las alturas del agua del Río de la Plata no presentan correlación, con una significancia del 95%, con las crecidas y bajantes del río Uruguay ni con las bajantes del Paraná. En una segunda etapa, el objetivo es estudiar la influencia del Río de la Plata sobre los caudales mensuales de ambos tributarios. Se consideran eventos extremos a aquellos niveles medios mensuales que se apartan de la media en dos veces el desvío estándar. Estos eventos se correlacionan con las anomalías de caudales asociadas. Para la obtención de éstas, se distinguen los tres períodos hidrológicos identificados por García y Vargas (1998) y se excluyen aquellos casos en los que se presentan simultáneamente eventos extremos de niveles medios y caudales. Este análisis pone en evidencia la influencia de los eventos extremos positivos del nivel medio del Río de la Plata sobre las anomalías de caudal del río Uruguay (más de un 50% de varianza explicada), mientras que no se encuentra correlación con las anomalías del río Paraná al 95%. Por otro lado, los eventos extremos negativos del Río no influyen en la variabilidad de los caudales de ningún tributario, al mismo nivel de significancia.

Abstract

The *Río de la Plata* and its mains tributaries, the Paraná and Uruguay rivers, constitute the most important hydrologic system in Argentina. In this work it is analyzed the contribution of the oceanographic, hydrologic and meteorologic processes to the regime of the *Río de la Plata* and its ensemble variability with the Paraná and Uruguay rivers within the period 1905 – 2007, in the Buenos Aires' Port region. On a first stage, the objective was to analyze the effect of the forcings (wind and tides) upon the behavior of the Río de la Plata's water height.

It was found that the wind and tide forcings explain more than 70% of the variance of the Río de la Plata's water heights. One of the goals of this work is to relate the not explained variance with the discharge of the Paraná and Uruguay rivers. To achieve this goal, the contributions of the tide and the storm waves were eliminated of the series of observed heights, obtaining a residual series representative of the mean level of the *Río de la Plata*. This series were correlated with the data of the Paraná and Uruguay river's flow corresponding to the period 1905 - 2007. An analysis of extreme flow events was performed, considering the threshold for flooding and drying events determined by Jaime y Menéndez (2002). Given that the monthly mean of the flow do not adjust to a normal distribution, the Spearman's rank correlation coefficient was used for the analysis of the variance. The heights of the *Río de la Plata* doesn't show a correlation, with a 95% significance, with the flooding and drying events of the Uruguay river or by the drying events of the Paraná river. On a second stage of this work, the objective was to study the influence of the *Río de la Plata* over the monthly flows of both tributary rivers. It was considered as extreme those events when the monthly mean levels move away of the arithmetical mean by two standard deviations. These events were correlated with the anomalies of the associated flows. To obtain these, the three hydrologic periods identified by García y Vargas (1998) was distinguished and those cases in which extreme flow events and means levels were presented simultaneously were excluded. This analysis shows the influence of the positive extreme events of mean level of the *Río de la Plata* upon the Uruguay river's flow anomalies (more than a 50% of variance explained), meanwhile the Paraná river anomalies seem to be not significantly affected at 95%. On the other hand, the negative extreme events of the *Río de la Plata* do not influence the variability of both tributary rivers, with the same significance level.

Introducción

El Río de la Plata es un estuario muy extenso con orientación general NNO-SSE, formado por la confluencia de los ríos Paraná y Uruguay. El río Paraná, uno de los más grandes y caudalosos del mundo, forma parte de la hidrovía Paraná-Paraguay, la arteria hídrica más importante del Mercosur. Desde su nacimiento hasta la desembocadura su curso recorre aproximadamente 2570 km con un caudal medio, calculado en la ciudad de Paraná y para el período en estudio, de aproximadamente $16000 \text{ m}^3/\text{s}$. El río Uruguay es el eje de circulación y la frontera natural de la Argentina con Uruguay y Brasil. Es el segundo en importancia dentro del sistema del Plata y su curso recorre 1600km, desde su nacimiento hasta su desembocadura. El caudal medio anual, calculado en la ciudad de Salto y para el período en estudio, es de aproximadamente $4600 \text{ m}^3/\text{s}$.

El estuario del Río de la Plata tiene una longitud aproximada de 290 km y su ancho varía desde 40km en su parte más estrecha hasta 220km en la desembocadura (Balay, 1961). Sus profundidades, referidas al cero del Riachuelo, varían desde los 5m frente a la Ciudad de Buenos Aires, hasta los 10 o 20m en la región exterior. Se caracteriza por poseer numerosos bancos de arena que afectan la propagación de la onda de marea. Debido a su forma y poca profundidad, también es altamente afectado por los vientos del sudeste (D'Onofrio et al., 1999).

En este trabajo se analiza el aporte de procesos oceanográficos, hidrológicos y meteorológicos al régimen del Río de la Plata y la variabilidad conjunta del mismo con los ríos Paraná y Uruguay durante el período 1905-2007.

Información de base y metodología

Como información de base se utilizan alturas horarias del agua del Río de la Plata correspondientes a la estación Palermo, ubicada frente al Aeroparque Jorge Newbery de la Ciudad de Buenos Aires, y caudales medios mensuales de los ríos Paraná y Uruguay. En el caso del Río Paraná, para el período 1905-2001, se utilizan caudales medios mensuales registrados en la ciudad de Paraná y para el período restante se realiza una suma aritmética de los aportes del Paraná de Las Palmas y el Paraná Guazú. Para el Río Uruguay, los caudales correspondientes al período 1905 – 1930 fueron registrados en Salto Grande, los del período 1931 – 2001 corresponden a la ciudad de Concordia, mientras que los años 2002-2007 a Salto Grande (Figuras 1c y 1d).

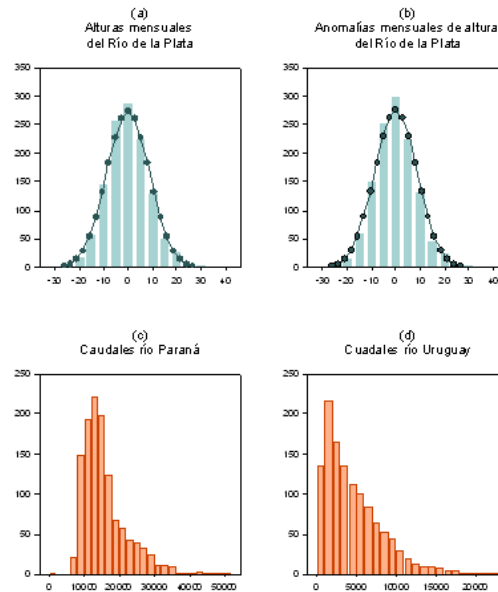


Figura 1: (a) Histograma de alturas mensuales del Río de la Plata con el ajuste a una distribución normal (línea); (b) Histograma de anomalías mensuales de altura del Río de la Plata con el ajuste a una distribución normal (línea); (c) Histograma de caudales mensuales del río Paraná; (d) Histograma de caudales mensuales del río Uruguay. Período 1905-2007.

En la primera parte de este trabajo se estudia la influencia de las crecidas y bajantes extremas de los ríos Paraná y Uruguay sobre las anomalías de las alturas mensuales del agua del Río de la Plata. Las anomalías de las alturas del agua se obtienen como resultado de filtrar los efectos de marea astronómica, viento y tendencia del nivel medio. A continuación se brinda una descripción de la metodología utilizada para obtener las anomalías.

La onda de marea oceánica llega al estuario causando que la fluctuación de sus aguas tenga un régimen marítimo mixto preponderantemente semidiurno. Para obtener las amplitudes y fases de las componentes de la marea astronómica en el período de observación, se realizan análisis armónicos de series de alturas del agua de 19 años por el método de cuadrados mínimos (Foreman, 1977), para considerar posibles cambios en las constantes armónicas. Luego para filtrar la marea astronómica se resta a la serie de alturas horarias del agua las correspondientes alturas predichas, obtenidas siguiendo a Schureman (1988). El efecto principal del viento sobre la altura del agua se conoce como Ondas de Tormenta (ODT), que pueden producir una elevación que duplica la altura predicha por la marea astronómica. Para la extracción de la ODT de la serie de alturas del agua se convoluciona la misma con un filtro pasabajos diseñado a partir de la ventana de Kaiser-Bessel (Hamming, 1977). Para extraer la tendencia del nivel medio del Río en el puerto de Buenos Aires se sigue

el procedimiento utilizado por D'Onofrio et al. (2008). El histograma de la serie filtrada resultante se muestra en la Figura 1b.

Para obtener la variabilidad explicada por cada uno de estos procesos sobre la altura del agua del Río se realiza un análisis de regresión con el método de Stepwise (Wilkinson et al., 1981). Para estudiar cuánta de la varianza no explicada es atribuible a las descargas de los principales afluentes, se estudia el impacto de los eventos extremos de los caudales de los ríos Paraná y Uruguay sobre la serie de anomalías de alturas del agua del Río de la Plata anteriormente definidas.

Para la determinación de eventos extremos de caudales de los ríos Paraná y Uruguay se consideran los umbrales para crecidas y bajantes determinados por Jaime et al. (2002) según las fases hidrológicas establecidas por García y Vargas (1998).

La serie de caudales mensuales no se ajusta a una distribución normal, así como tampoco sus extremos. Lugo se utiliza el coeficiente de correlación de Spearman (no paramétrico), para analizar la varianza explicada de las anomalías de alturas del Río de la Plata por los eventos de bajantes y crecidas de ambos ríos.

En la segunda parte de este trabajo se contempla el caso recíproco: la influencia de los eventos extremos de las alturas del agua del Río de la Plata sobre los caudales de sus principales afluentes. Dado que la distribución de las alturas del agua se ajusta a una distribución normal, se consideran casos extremos a aquellos eventos que se alejan dos veces su desvío estándar de la media de la serie. Para evitar correlaciones espúreas se excluyen del análisis aquellos años en el que coincidan en simultáneo eventos extremos de altura del agua con crecidas o bajantes de los ríos. En este caso, se definen las anomalías de los caudales de los ríos como aquellas que se apartan de su ciclo hidrológico. Los ciclos hidrológicos se obtienen considerando la media aritmética mensual para cada una de las fases hidrológicas determinadas por García y Vargas (1998) en ambos ríos.

Nuevamente se recurre al coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman para las correlaciones entre las series, ya que ni las series de caudales ni los eventos extremos de alturas se ajustan a una distribución normal.

Resultados y conclusiones

Del análisis de regresión mediante el método Stepwise de las alturas del agua del Río de la Plata, se obtiene que el efecto conjunto de marea astronómica y viento explican un 73% de la varianza de la serie, mientras que el ascenso del nivel medio del mar, un 1%. Luego, en una primera instancia de este trabajo, se analiza el efecto de los caudales de los ríos Paraná y Uruguay sobre la varianza restante, del 26%.

El impacto de las crecidas y bajantes de los principales afluentes del Río de la Plata sobre las anomalías de alturas del mismo se examina mediante el estudio de correlaciones de Spearman entre ellos. Se encuentra que solamente las crecidas del río Paraná afectan de manera significativa al 95%, a las anomalías de alturas del Río, explicando aproximadamente el 43% de la varianza de las mismas. En la Figura 2 se muestra a modo de ejemplo la crecida del Paraná de febrero de 1990, con las anomalías de alturas del Río de la Plata asociadas.

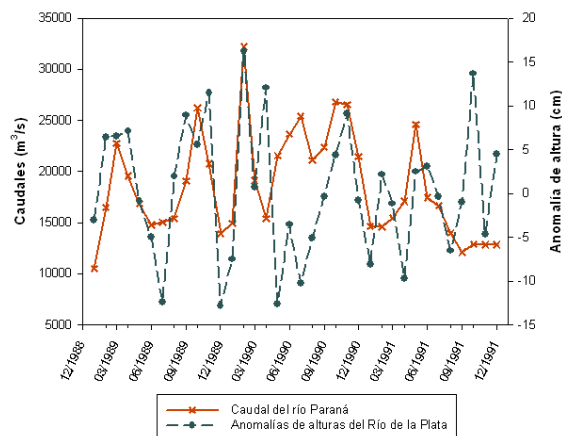


Figura 2: Evento extremo de crecida del río Paraná en el mes de febrero de 1990, con la respuesta de la altura del agua del Río de la Plata asociada.

Por otro lado, se encuentra que ni las bajantes de ambos ríos ni las crecidas del río Uruguay explican un porcentaje de su variabilidad, con este nivel de significancia. Luego, los eventos extremos de alturas del agua del Río de la Plata fueron correlacionados con las anomalías de caudales medios mensuales de sus principales afluentes asociados. Se encontró que los eventos extremos positivos explican significativamente (a un 95% de nivel de significancia) el 60% de la varianza de las anomalías del río Uruguay, y no influyen en la variabilidad de los caudales medios mensuales del río Paraná. A continuación, se muestran los eventos extremos positivos de alturas del Río de la Plata con sus caudales asociados del río Uruguay (Figura 3), con y sin su ciclo hidrológico.

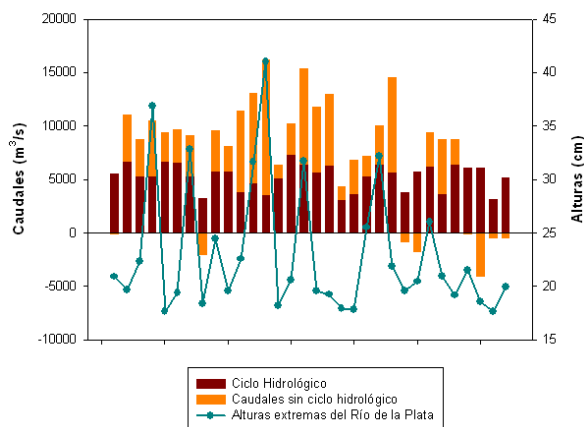


Figura 3: Eventos extremos de alturas del Río de la Plata con el apartamiento del ciclo hidrológico asociado de los caudales del río Uruguay.

La existencia de una correlación significativa con los caudales medios del río Uruguay puede deberse a que su caudal es considerablemente menor que el del Paraná (con el que no se halló correlación) haciéndolo más susceptible a las variaciones en los niveles del Río en el que desemboca. Por último, los eventos negativos de las alturas del Río no se encuentran correlacionados de forma significativa con las anomalías de los caudales, resultado hidrodinámicamente esperable.

Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al proyecto “Estudio hidrodinámico y geodésico en recintos navegables de la Argentina” (I014, UBACYT 2008–2010).

Referencias bibliográficas

- Balay, M., 1961. El Río de la Plata entre la Atmósfera y el Mar. Secretaría de Marina, Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires, Argentina. H. 621.
- D'Onofrio E.E., Fiore M.E., Romero Silvia, 1999. Return periods of extreme water levels estimated for some vulnerable areas of Buenos Aires. *Continental Shelf Research*, 19, 1681-1693.
- D'Onofrio, E. E., M. M. E. Fiore y J. L. Pousa, 2008. Changes in the Regime of Storm Surges at Buenos Aires. *Journal of Coastal Research* 24: 260-265.
- Foreman, M. G. G., 1977. Manual for tidal heights analysis and predictions. *Pacific Marine Science Report, 70-10*. Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, Canada.
- García, N. O. y M. W. Vargas, 1998. The temporal climatic variability in the “Río de la Plata” Basin displayed by the river discharges. *Climatic Change* (38): 359-379.
- Jaime, P., A. Menéndez, M. Uriburu Quirno y J. Torchio, 2002. Análisis del régimen hidrológico de los ríos Paraná y Uruguay. *Informe LHA 05-216-02*. Instituto Nacional del Agua, Argentina.
- Schureman P., 1988. Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides, Coast and Geodetic Survey, Special Publication No. 98, 317 p.
- Hamming, R.W., 1977. Digital Filters. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 219p.
- Wilkinson, L. and Dallal, G.E., 1981. "Tests of significance in forward selection regression with an F-to enter stopping rule." *Technometrics*. 23. 377-380.