

CORREDORES DE CIRCULACION EN EL RIO DE LA PLATA

ISMAEL PIEDRA-CUEVA⁽¹⁾ & MONICA FOSSATI⁽²⁾

Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, J. Herrera y Reissig 565, Montevideo, Uruguay. Tel: (+598) (2) 711 5276. Fax: (+598) (2) 711 5277.

E-mail: ⁽¹⁾ismaelp@fing.edu.uy, ⁽²⁾mfossati@fing.edu.uy.

1- INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es estudiar la existencia de corredores de flujo preferenciales en el sector del Río de la Plata medio y superior, por los cuales se produce el tránsito del flujo que ingresa a través de los ríos Paraná y Uruguay. La motivación del estudio radica en la necesidad de conocer el transporte de contaminantes que son introducidos al sistema. La aplicación de un modelo hidrodinámico permitió determinar la evolución temporal del campo de velocidades y niveles en el área de estudio. La identificación de los corredores de flujo preferenciales se efectuó a través de la aplicación de dos técnicas complementarias: el seguimiento de trazadores lagrangianos, y el estudio del transporte de una sustancia pasiva arbitraria.

2- EL MODELO NUMERICO HIDRODINAMICO

El cálculo del campo de velocidades se realiza mediante la aplicación de un modelo hidrodinámico bidimensional integrado en vertical RMA-2 (King et al. 1975), que resuelve las ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento y masa en un sistema de coordenadas plano x-y, mediante elementos finitos. Si bien el modelo forma parte de un modelo general 3D baroclino, el presente estudio se efectúa considerando fluido homogéneo y velocidades promedios en la vertical. La justificación del empleo de esta aproximación 2D, se fundamenta en el hecho de que en la zona media y superior del Río de la Plata el efecto salino es despreciable (Urien 1972). En el pasado se han efectuado diferentes aplicaciones de este tipo de modelación bidimensional en el Río de la Plata (Menéndez 1990, O'Connor 1990, Guarga et al. 1992, Rodríguez Viera y Lanfredi 1996, entre otros), con niveles similares de bondad en la calibración.

3- IMPLEMENTACION DEL MODELO

El dominio de cálculo utilizado se extiende desde San Clemente al Sur, Punta del Este al Este y la desembocadura de los ríos Paraná y Uruguay al Oeste. Para este trabajo se seleccionó una malla global de media resolución, con elementos de aproximadamente 10 kilómetros en la frontera oceánica y 1000 metros en la zona del Río de la Plata superior (Figura 1a). A través de esta malla es posible capturar los elementos principales de la morfología del Río de la Plata, con especial atención de los canales naturales ubicados al norte de Colonia. La figura 1b muestra la batimetría utilizada en la modelación.

4- CALIBRACION DEL MODELO

La calibración de marea astronómica se efectuó para las componentes armónicas de la marea: M_2 , O_1 , Q_1 , N_2 y S_2 . El modelo fue forzado por la serie de niveles correspondientes a la superposición de las 5 componentes astronómicas, asumiendo una variación lineal de niveles a lo largo de la frontera oceánica. Respecto a los caudales fluviales se utilizaron valores de 16.000 y 5.000 m³/s para los ríos Paraná y Uruguay respectivamente. Los puntos seleccionados para efectuar la calibración del modelo fueron las siguientes estaciones costeras: Montevideo, Colonia, Buenos Aires y Torre Oyarvide. Un análisis de sensibilidad mostró que la fricción es el principal factor de calibración. La Figura 2 muestra la comparación de valores simulados y la predicción astronómica durante un período de tiempo de 29 días. Estos resultados presentan el mejor ajuste obtenido y corresponden a un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.014. La Figura 2 muestra que el modelo captura adecuadamente la fase y la amplitud de la onda de marea. Montevideo y Torre Oyarvide presentan un ajuste muy bueno y un apartamiento ligeramente mayor se observa en las estaciones Colonia y Buenos Aires. Si bien el modelo no utiliza una condición de radiación en la frontera oceánica, en las estaciones costeras tomadas como puntos de calibración no se observan perturbaciones parásitas que podrían haber sido generadas por el tipo de condición de borde utilizada.

5- CORREDORES DE FLUJO

El estudio de los corredores de flujo se realizó mediante la aplicación de dos técnicas diferentes. La primera consiste en el estudio de trayectorias de partículas transportadas por el flujo, mientras que en la segunda se estudia la distribución de concentración de una fuente puntual de un trazador pasivo, la cual es gobernada por una ecuación advección-difusión (Brooks et al 1999). Se efectuaron simulaciones correspondientes a un

escenario de primavera/verano y a un escenario de otoño/invierno. Adicionalmente se analizó un escenario de caudal fluvial alto y otro de caudal fluvial bajo. Finalmente, se analizó el efecto de dos tormentas, simulando una situación correspondiente a sudestada y otra a un Pampero. Las simulaciones fueron efectuadas considerando el efecto del viento, caudal fluvial y solamente la componente M_2 de la marea astronómica. Se presentan algunos resultados correspondientes al escenario de primavera/verano, correspondiente a un caudal fluvial de 23.300 m³/s y a un viento de 1.76 m/s del ENE.

En el estudio de advección-difusión de descargas puntuales, una fuente fija de concentración de 100 unidades es aplicada en cada una de las secciones de ingreso del caudal fluvial (las sustancias numeradas de 1 a 4 fueron descargadas respectivamente en el Río Uruguay (1), Paraná Bravo-Sauce(2), Paraná Guazú (3) y Paraná de las Palmas (4)), y la concentración en el resto del dominio es calculada en función del tiempo mediante la ecuación bidimensional de advección-difusión. Para ello se ha utilizado el modelo de transporte en elementos finitos RMA-11. La figura 3 presenta los resultados obtenidos. Las líneas de igual concentración corresponden al instante final de una simulación en la cual la fuente puntual ubicada en cada uno de las 4 secciones de ingreso del caudal fluvial fue activada durante 40 días.

En el estudio de trayectorias, se efectuaron simulaciones en las cuales se efectuó el seguimiento de partículas lanzadas en cada una de las 4 secciones de ingreso del caudal fluvial. En todos los casos, se lanzó una sola partícula en un solo punto de la sección de ingreso del caudal, la cual fue seguida durante un período de 40 días. La técnica de determinación de la trayectoria se basa en la integración del campo de velocidades utilizando el método de Runge-Kutta. La figura 4a muestra los resultados obtenidos para el escenario primavera/verano.

El análisis comparativo de ambos tipos de resultados permite realizar las siguientes observaciones:

- El flujo correspondiente a la descarga del Río Uruguay circula preponderantemente recostado a la costa uruguaya. Asimismo, las sustancias aportadas por este tributario son transportadas principalmente por este corredor, con poca difusión transversal. Los niveles de afectación en Colonia pueden alcanzar valores del orden de 40-50%, mientras que en Montevideo son del orden de 20-30%.
- Por otra parte el flujo aportado por el río Paraná de las Palmas tiene un comportamiento simétrico al caso del aporte del Río Uruguay. En el tramo medio y superior del Río de la Plata el aporte de este tributario es transportado fundamentalmente sobre la costa argentina. Las sustancias aportadas son transportadas también por este corredor con poca difusión transversal. Los niveles de afectación permanecen muy elevados desde la desembocadura hasta la ciudad de La Plata.
- En cuanto a la descarga del Paraná Guazú, su comportamiento es bastante claro. El flujo es transportado por la sección central del Río de la Plata, manteniéndose alejado de las costas. Las sustancias aportadas por este tributario son fundamentalmente transportadas también por el centro del río, en un corredor formado entre las trayectorias del Paraná de las Palmas y la trayectoria del Paraná Bravo-Sauce.
- Finalmente, el aporte del Paraná Bravo-Sauce, tiene un comportamiento más complejo. De acuerdo al análisis de las trayectorias correspondientes a las descargas del Paraná Bravo-Sauce y Uruguay se observa que las mismas tienen un andamio bastante paralelo y próximas entre si. El análisis de la pluma de descarga muestra que desde Pta Martín Chico hacia aguas abajo la pluma permanece recostada a la costa uruguaya. Los niveles de afectación de las sustancias transportadas por este tributario en Colonia y Montevideo son significativamente más importantes que las generadas por la descarga del Río Uruguay. Esto sugiere la idea de que el aporte de los ríos Paraná Bravo-Sauce es transportado por un corredor de flujo que no es diferenciable del corredor de flujo del Río Uruguay. En otras palabras, tendría sentido afirmar que los caudales de los ríos Uruguay y Paraná Bravo-Sauce son transportados por un corredor que se ubica entre la costa uruguaya y la trayectoria correspondiente a la descarga del Paraná Bravo-Sauce.
- Adicionalmente se puede afirmar que el caudal del Río Uruguay es transportado por un corredor que se ubica entre la costa uruguaya y la trayectoria correspondiente a la descarga del Río Uruguay. Pero no se puede afirmar que el caudal y las sustancias aportadas por los ríos Paraná Bravo-Sauce sean transportados por un corredor ubicado entre la trayectoria correspondiente al Río Uruguay y la trayectoria del Paraná Guazú.

En la Figura 4 b) se presenta un esquema con la configuración de los corredores. Estas conclusiones se mantienen para todos los escenarios analizados. La presencia de mayores o menores caudales fluviales no modifica significativamente la configuración de los corredores. El viento medio estacional correspondiente a

ambos escenarios de primavera/verano y otoño/invierno es débil, por lo cual no se observa una diferencia apreciable sobre la configuración de los corredores en ambos escenarios. La presencia de temporales produce perturbaciones importantes de esta configuración, pero son transitorias. Finalizado el mismo se recupera rápidamente la configuración establecida.

6- CONCLUSION

A través de la aplicación de los modelos de circulación y transporte se han podido distinguir los siguientes corredores: a.- El Paraná de las Palmas, comprendido entre la costa argentina y la línea media de las trayectorias del Paraná de las Palmas y el Paraná Guazú; b.- el Paraná Guazú, comprendido entre la línea media de las trayectorias del Paraná de las Palmas y el Paraná Guazú, y la línea media de las trayectorias del Paraná Guazú y del Paraná Bravo-Sauce; c.- el del Paraná Bravo-Sauce, comprendido entre la línea media de las trayectorias del Paraná Guazú y del Paraná Bravo-Sauce, y la costa uruguaya; d.- el del río Uruguay, comprendido entre la línea media de las trayectorias del Paraná Bravo-Sauce y del río Uruguay, y la costa uruguaya. De esta manera el corredor del Río Uruguay constituiría un sub-corredor del Paraná Bravo-Sauce.

7- BIBLIOGRAFIA

- Brooks, D.A., Baca, M.W., and Lo, Y.-T. 1999. Tidal circulation and residence time in a macrotidal estuary: Cobscook bay, Maine. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, (49), pp 647-665.
- King, I.P., Norton W.R. and Iceman, K.R., 1975. A finite element solution for two-dimensional stratified flow problem, in *Finite Elements in Fluids*, Chapter 7, vol. 1, Edited by R.H. Gallager, J.T. Oden, C. Taylor and O.C. Zienkiewicz, John Wiley and Sons.
- Guarga, R.; Kaplan, E.; Vinzón, S.; Rodríguez, H.; Piedra-Cueva, I., 1992. Aplicación de un modelo de corrientes en diferencias finitas al Río de la Plata. *Revista Latinoamericana de Hidráulica.*, No 4, pp.93-115, San Pablo, Brasil.
- Menéndez, A. N, 1990 Sistema HIDROBID II para simular corrientes en cuencos. *Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería*, vol. 6/1.
- O'Connor, W. P. 1990 A Numerical Model of Tides and Storm Surges in the Río de la Plata. *Continental Shelf Research*, vol. 12, No 12, pp 1491-1508.
- Rodrigues Vieira, J. and Lanfredi, N.W. (1996). A Hydrodynamic Model for the Rio de la Plata, Argentina. *Journal of Coastal Research* Vol. 12, No.2, 430-446.
- Urien, C.M. 1972. Río de la Plata Estuary Environments, The Geological Society of America, Inc, Memoir 133, pp. 213-234.

8- FIGURAS

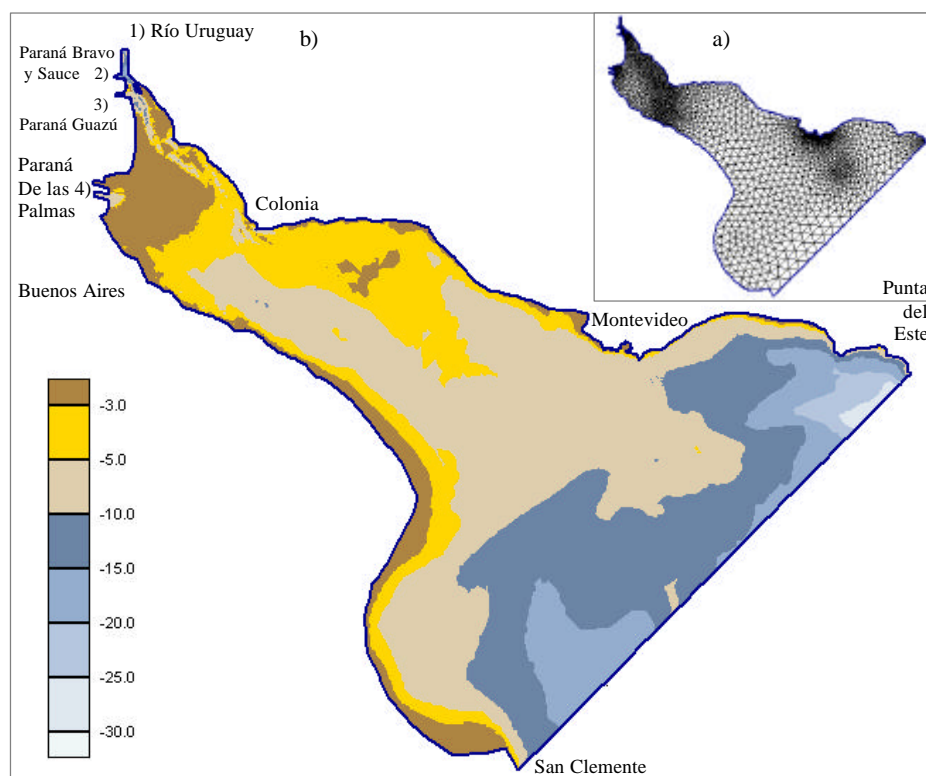


Figura 1. Zona modelada del Río de la Plata. a) Malla utilizada. b) Batimetría.

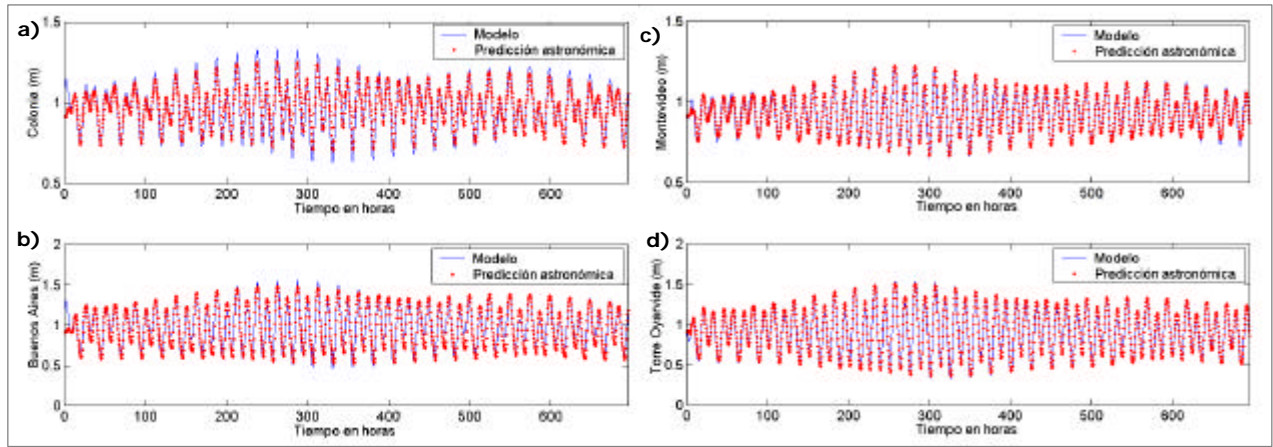


Figura 2: Comparación de valores registrados y calculados por el modelo de marea astronómica en las estaciones de control. a) Colonia. b) Buenos Aires. c) Montevideo. d) Torre Oyarvide.

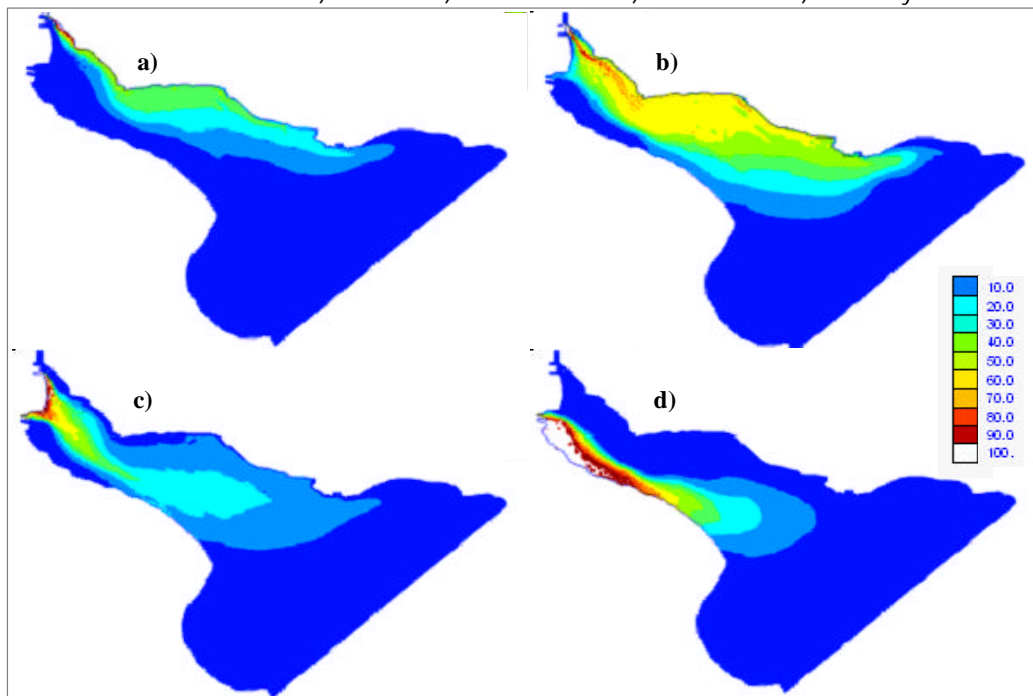


Figura 3: . Curvas de isoconcentración de las sustancias descargadas en los 4 puntos de ingreso del caudal fluvial (mg/l ó %), correspondientes al escenario primavera/verano. a) Descarga Río Uruguay. b) Descarga Río Paraná Bravo-Sauce. c) Descarga en Río Paraná Guazú. d) Descarga en el Río Paraná de las Palmas.

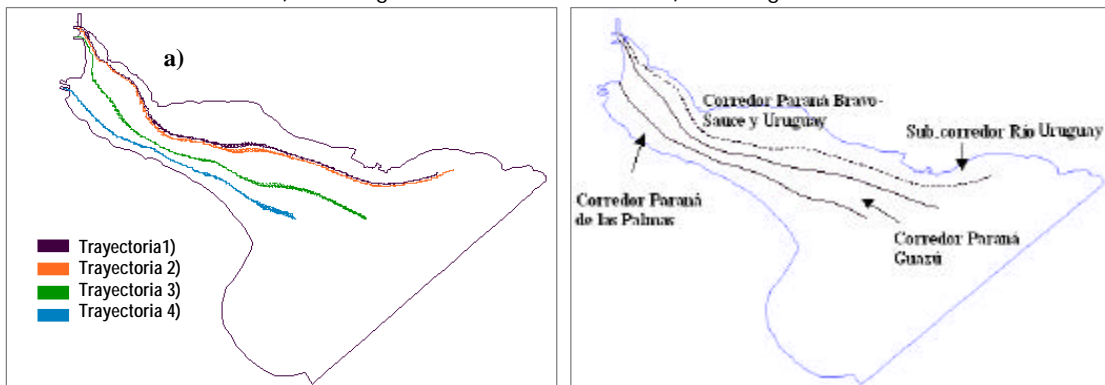


Figura 4: a) Trayectorias de partículas descargadas en los cuatro puntos de ingreso del caudal fluvial, correspondiente al escenario primavera/verano (caudal y viento), luego de 40 días de simulación. b) Corredores de flujo correspondientes al escenario primavera/verano.