

**XXII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
CIUDAD GUAYANA, VENEZUELA, OCTUBRE 2006**

**DESARROLLO DE CAPAS DE MEZCLA ENTRE LOS CORREDORES DE
FLUJO DEL RIO DE LA PLATA INTERIOR**

Mariano Ré^{1,2}, Angel N. Menéndez^{1,2}

¹Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua, Argentina

²Laboratorio de Modelación Matemática, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina

e-mail: mre@fi.uba.ar

RESUMEN:

Se presenta un estudio referente al desarrollo de las capas de mezcla de los corredores de flujo del Río de la Plata Interior. Se simulan numéricamente las circulaciones asociadas a escenarios de condiciones estacionales medias (invierno y verano) y condiciones de tormenta, y el desarrollo de las capas de mezcla, generadas a partir de las interfases entre las descargas de los principales tributarios. Se muestra que, en condiciones hidrometeorológicas normales, las dos capas de mezcla permanecen relativamente acotadas en espesor a lo largo del Río de la Plata Interior, dejando a cada lado extensas zonas de corrientes de agua asociadas esencialmente al tributario de origen. Además, se muestra que el ingreso de una onda de tormenta produce el frenado del flujo descargado por los tributarios, y, por el otro lado, una mezcla de gran escala de las masas de agua. A escala turbulenta, las capas de mezcla siguen manteniendo su identidad durante la tormenta, de modo que el Río de la Plata Interior queda constituido esencialmente por un conjunto de masas de agua que reconocen su origen en alguno de los tributarios.

ABSTRACT:

A study related to the development of mixing layers for the flow corridors of the Inner Río de la Plata, is presented. The hydrodynamic circulation for scenarios of mean seasonal conditions (winter and summer) and storm conditions, and the development of the associated mixing layers, which start at the interfaces between the discharges from the main tributaries, are simulated. It is shown that, under normal meteorological conditions, the width of the two mixing layers remain relatively small along the Inner Río de la Plata, leaving extended zones of water currents entirely associated to the tributary from which they originate. Additionally, it is shown that the incidence of a storm surge produces, on the one hand, a braking effect on the flow from the tributaries, and, on the other hand, a large scale mixing of the water columns. At the turbulent scale, the mixing layers keep their identity during the storm, so as the Inner Río de la Plata still is constituted by a set of water columns which recognize their origin in some of the tributaries.

PALABRAS CLAVES: Capas de mezcla - Corredores de Flujo - Río de la Plata – Modelación Numérica

INTRODUCCIÓN

El Río de la Plata, ubicado al Sudeste del Sudamérica (Figura 1), drena hacia el Océano Atlántico la segunda cuenca fluvial más extensa de ese subcontinente (alrededor de 3,1 millones de km²; la primera es la cuenca del Amazonas). Su régimen hidrodinámico tiene características mezcladas: debido a que el agua es dulce durante la mayor parte de su recorrido, se lo denomina río; dado que la acción mareal es determinante, y que allí se desarrolla la transición entre agua dulce y salada, se lo suele identificar como un estuario; pero, debido a su enorme ancho, se desarrolla un clima de olas que le da propiedades de una zona costera. Su importancia socio-económica es muy grande para la Argentina y el Uruguay; ambas capitales se asientan sobre sus márgenes.



Figura 1.- Ubicación del Río de la Plata.

Las condiciones ambientales del Río de la Plata y su Frente Marítimo están amenazados por una multiplicidad de causas de origen antropogénico dentro de la Cuenca del Río de la Plata. En particular, los desechos líquidos urbanos, agrícolas e industriales constituyen una amenaza de primera magnitud para la salud pública y la sustentabilidad ecológica del sistema.

El discernimiento de los caminos recorridos por el agua y de las zonas de mezcla entre aportes diferenciados, constituye una información básica para establecer el origen y destino de la contaminación, lo que a su vez es vital para definir políticas que ataquen a sus causas y efectos. En este trabajo se presenta ese proceso identificatorio para el Río de la Plata.

LOS FORZANTES HIDRODINÁMICOS DEL RÍO DE LA PLATA

La longitud del Río de la Plata es de alrededor de 290 km. Su ancho alcanza rápidamente los 50 km en la zona superior (que se extiende hasta la línea imaginaria Buenos Aires-Colonia), ensanchándose a alrededor de 70 km en la zona media (que se extiende hasta la línea imaginaria Punta Piedras-Montevideo). Ambas zonas constituyen, en conjunto, el Río de la Plata Interior. Finalmente, al penetrar al Río de la Plata Exterior se produce un aumento brusco del ancho, que alcanza alrededor de los 200 km en la desembocadura (línea imaginaria Punta Rasa-Punta del Este). Los forzantes principales de la hidrodinámica del Río de la Plata son: la onda de marea que ingresa desde el océano, los vientos que actúan sobre toda la superficie del agua y la descarga de los tributarios que penetra en la cabecera del río. La onda de marea oceánica tiene un régimen astronómico micro-mareal (la amplitud es de sólo unas pocas decenas de centímetros); en consecuencia, los procesos atmosféricos (principalmente los vientos oceánicos), tienen un efecto relevante sobre la forma e intensidad de la onda incidente. La acción de los vientos sobre la superficie del río produce variaciones en el nivel del agua e influencia las corrientes de agua, tanto en magnitud como en dirección, condicionando entonces la celeridad de la onda de marea. La descarga de los tributarios principales (ríos Paraná y Uruguay, que representan más del 97% del aporte líquido al Río de la Plata) es de alrededor de 23.000 m³/s; si bien la corriente de deriva

resultante es pequeña frente a la velocidad de marea, debido al gran ancho del río, constituye el mecanismo responsable del transporte neto hacia el océano.

CORREDORES DE FLUJO EN EL RÍO DE LA PLATA INTERIOR

A partir de un estudio sobre el balance de nutrientes en el Río de la Plata Interior, Jaime *et al.* (2001; ver también Menéndez *et al.* 2002) propusieron la esquematización del flujo medio del río en tres corredores de flujo, cada uno asociado a cada tributario principal: el Paraná de las Palmas, el Paraná Guazú y el Uruguay. La idea básica que conlleva esta esquematización es que las aguas que transitan a lo largo de cada corredor provienen, esencialmente, del tributario de origen (Figura 2). Esta propuesta se basó en un análisis hidrodinámico, que indica una escasa capacidad de mezcla de las aguas dentro del intervalo de tiempo que las parcelas tardan en recorrer el Río de la Plata Interior en sentido longitudinal (es decir, las capas de mezcla que se desarrollan entre los corredores de flujo permanecen relativamente finas a lo largo de todo el río Interior), y se reafirma en la exigua contribución que esa mezcla tiene en los balances de nutrientes efectuados. La propuesta también resultaba afín con el estudio sedimentológico del Río de la Plata de Parker *et al.* (1987), con las consideraciones de tipo químico de Quirós y Senone (1985), y los análisis efectuados por Nagy *et al.* (2001; ver también Nagy *et al.* 2003) al asociar la calidad del agua en la costa de Montevideo y la del río Uruguay. Además, la identificación de corredores de flujo era consistente con observaciones remotas de confluencia de ríos.

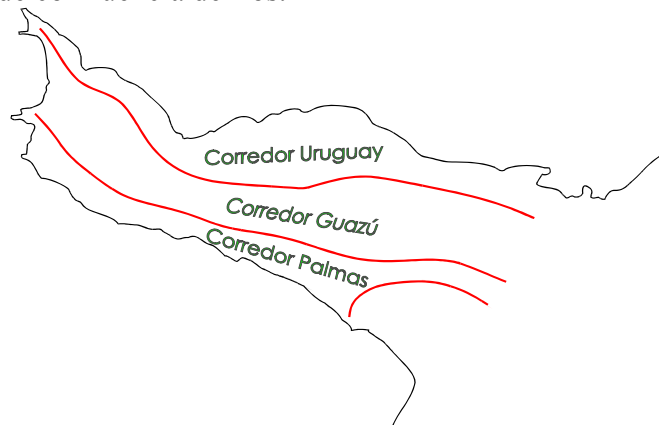


Figura 2.- Corredores de Flujo en el Río de la Plata.

Esta proposición fue eventualmente validada a través de la imagen satelital del sensor Aqua/Modis¹, presentada en la Figura 3.



Figura 3.- Imagen satelital del Río de la Plata (NASA/GSFC).

¹ Crédito: Jacques Desclotres, NASA/GSFC, Sensor Aqua/MODIS (11-02-2003). <http://visibleearth.nasa.gov/>

PROCESOS QUE INTERVIENEN

Un contaminante pasivo es aquel que es transportado por el agua sin afectar la hidrodinámica del sistema. Ese transporte se puede desglosar como la composición de un flujo medio estadístico y un movimiento turbulento (que desparrama el material mediante procesos difusivos). Además, desde el punto de vista de un análisis bidimensional en planta, el flujo medio estadístico puede a su vez descomponerse en una velocidad media vertical y una advección diferencial debido al gradiente vertical de velocidades, cuyo efecto neto es una contribución adicional al desparramamiento. Precisamente, al efecto combinado de la advección diferencial y la difusión turbulenta se lo denomina dispersión. En la Figura 4 se analizan separadamente las distintas componentes del proceso de transporte: primero el efecto conjunto del transporte con la velocidad media vertical, que desplaza la columna inicial, y la difusión en sentido horizontal, que la ensancha; luego, la advección diferencial, que la deforma; finalmente, la mezcla en sentido vertical, que la homogeniza sobre toda la profundidad.

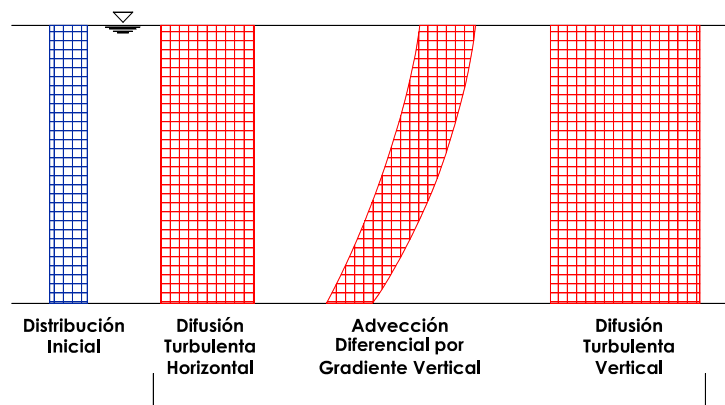


Figura 4.- Mecanismos de Dispersión.

La ecuación del balance de masa de un contaminante modela la difusión turbulenta, que es la forma de representar matemáticamente el proceso de dispersión. La expresión de la misma en dos dimensiones espaciales es la siguiente:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial c}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial c}{\partial y} = \frac{1}{h} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(h \cdot k_{11} \cdot \frac{\partial c}{\partial x} + h \cdot k_{12} \cdot \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{1}{h} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left(h \cdot k_{21} \cdot \frac{\partial c}{\partial x} + h \cdot k_{22} \cdot \frac{\partial c}{\partial y} \right) \quad [1]$$

donde c es la concentración, t el tiempo, x e y las coordenadas espaciales, u y v las componentes de la velocidad media vertical y k_{11} , k_{12} , k_{21} , k_{22} los componentes del tensor de dispersión. Esta descripción bidimensional integrada en la vertical es válida para el caso de estuarios, como el Río de la Plata, y bahías bien mezclados verticalmente.

METODOLOGÍA

Las capas de mezcla se desarrollan a partir de las desembocaduras de los tributarios en el Río de la Plata, en la interfase de encuentro de dos corredores. El objetivo es predecir el crecimiento del espesor de esas capas con la distancia hacia aguas abajo, para la que se origina por el encuentro de los ríos Paraná de las Palmas y Paraná Guazú, por un lado, y la que surge del encuentro de los ríos Paraná Guazú y Uruguay. Para analizar esta cuestión se planteó un problema distinto, pero de resultado equivalente: el desarrollo de una pluma de difusión de una sustancia conservativa, generada en el punto de encuentro entre ambas corrientes.

Las capas de mezcla se desarrollan a partir de las desembocaduras de los tributarios en el Río de la Plata, en la interfase de los encuentros. Se consideraron tres flujos: Paraná de las Palmas, Paraná Guazú y Uruguay. En la Figura 5a se presenta el esquema del problema teórico planteado, para un caso simplificado de encuentro de dos corrientes paralelas. Para predecir el crecimiento del espesor

de esa capa con la distancia hacia aguas abajo se planteó el desarrollo de una pluma de difusión de una sustancia conservativa, generada en la interfase de dos corredores. En la Figura 5b se muestra esquemáticamente el progreso de una pluma de difusión, donde se ve que el crecimiento del espesor de la pluma es equivalente al crecimiento de la capa de mezcla, ya que se trata del mismo mecanismo físico de difusión.

Para la simulación de la pluma de difusión se dispuso del código MANCHAS (Menéndez 1986; Carreras y Menéndez, 1990); la pluma es motorizada por las corrientes, que se simulan con el modelo RPP-2D (Ré *et al.*, 2004).

El modelo RPP-2D es un modelo hidrodinámico bidimensional que comprende todo el Río de la Plata y una porción significativa de su Frente Marítimo (Ré *et al.*, 2004), que utiliza el código HIDROBID II (Menéndez, 1990) para simular numéricamente flujos cuasi-bidimensionales (en el plano horizontal) a superficie libre. El modelo RPP-2D dispone de 'fetch' suficiente como para generar las ondas de tormenta que se desarrollan en la zona oceánica y penetran en el Río de la Plata. La calibración del modelo hidrodinámico RPP-2D, se desarrolló en varias etapas en base al criterio de discriminar efectos, permitiendo así una validación y ajuste progresivos.

El código MANCHAS, que permite una descripción en 2D de la pluma cuando la escala de dispersión es mucho menor que la escala hidrodinámica. Se basa en una técnica Lagrangiana, que evita los efectos de difusión numérica típicos de las técnicas Eulerianas, enmascaradores de los efectos físicos. La descarga continua de sustancia se representa mediante una inyección discreta de pulsos, cada uno de los cuales da lugar a una mancha. Se denomina mancha a toda zona contaminada cuya extensión sea pequeña respecto de la escala de longitud hidrodinámica. Su evolución está gobernada por la ecuación de balance de masa de un contaminante. La pequeña mancha inicial sigue una distribución de concentración media vertical de tipo gaussiana, que se supone conserva a lo largo de todo su recorrido. El modelo resuelve la evolución de la posición, orientación y deformación de cada mancha, sometida a los efectos advectivos y difusivos de la corriente.

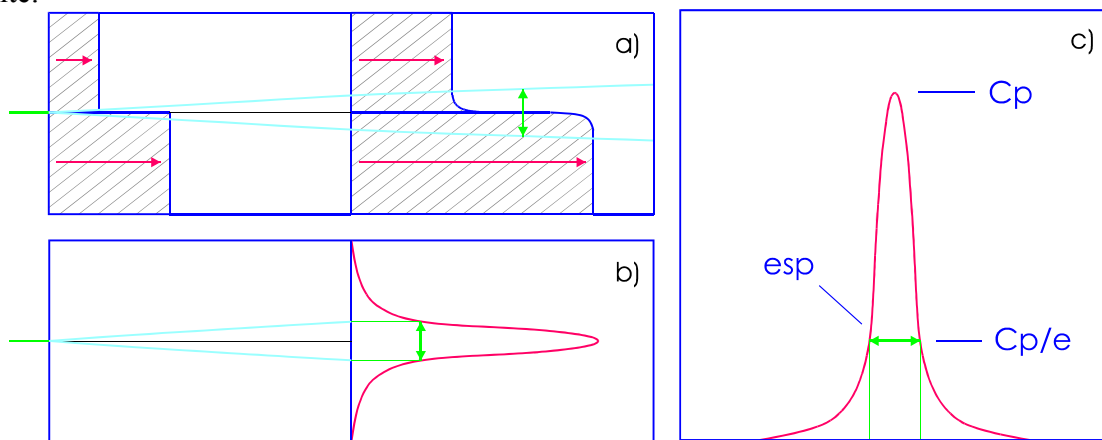


Figura 5.- Esquema: a) Capa de mezcla. b) Pluma de difusión. c) Espesor de Mezcla

De estudios anteriores, se dispone de valores adecuados para los coeficientes de difusión turbulenta transversal (0,25) y dispersión longitudinal (20) (Carreras y Menéndez, 1988).

Dado que pluma (resultante de la superposición de las manchas) muestra una distribución de tipo gaussiana a través de su ancho, se considera como espesor de la capa de mezcla a la longitud entre los dos puntos transversales en los cuales la concentración cae a $1/e$ de su valor pico, tal como se muestra en la Figura 5c.

ENSAYOS

Con el objetivo de determinar patrones de comportamiento de los espesores de mezcla de los corredores de flujo en situaciones típicas, se realizaron dos tipos de ensayos: condiciones estacionales medias (invierno y verano) y condiciones de onda de tormenta asociadas a *Sudestadas*

(fenómeno meteorológico que se localiza en las inmediaciones del Río de la Plata y se caracteriza por vientos persistentes, regulares a fuertes, del Sudeste).

La capa de mezcla entre los corredores Guazú y Uruguay se estudió desde la primera sección expandida del Río de la Plata, ya que el modelo no tiene una resolución adecuada en la zona estrecha donde desembocan ambos tributarios. Para establecer los espesores iniciales de cada capa de mezcla se tomó en cuenta un crecimiento del espesor de la capa de mezcla con un ángulo de alrededor de 7° (White, 1974). Por lo tanto, el espesor inicial de la capa de mezcla entre los corredores Uruguay y Guazú, luego de aproximadamente 12 km desde el origen de la mezcla, es de 3000 m, y el de la que se desarrolla entre los corredores Guazú y Palmas, luego de unos 5 km, es de 1300 m. Como criterio conservativo, se impuso un espesor inicial de alrededor de 3000 m a ambas capas en la primera sección.

Condiciones estacionales medias

En el caso de las situaciones de condiciones estacionales medias, se realizaron simulaciones para un período de 28 días. Los caudales medios de verano y de invierno para los tributarios se determinaron a partir del estudio hidrológico efectuado por Jaime y Menéndez (2002), resultando de 19200 m³/s y 16100 m³/s, respectivamente, para el río Paraná y de 4100 m³/s y 5200 m³/s, respectivamente, para el río Uruguay. Los vientos medios asociados a estos dos escenarios consisten en los valores medios del período 1972-2001 de la base de reanálisis de NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996). Para ser introducidos en el modelado de la pluma de difusión, se extrajeron campos instantáneos de velocidades de corrientes y niveles cada 2 horas.

El análisis de los espesores de capa de mezcla se realizó tomando los valores obtenidos en secciones de control (18 secciones transversales del Río de la Plata Interior, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del río, con una separación de aproximadamente de 10 km), durante un día. De cada corte se obtuvo, en intervalos de una hora y media, una distribución de concentraciones, y en función de los dos picos obtenidos se calcularon los valores del espesor. Se tomaron los valores mínimo y máximo del espesor de capa de mezcla y el promedio de los mismos, y en base a los espesores máximos de mezcla para cada una de las dos situaciones (invierno y verano), se trazaron líneas envolventes suavizadas (Figura 6).

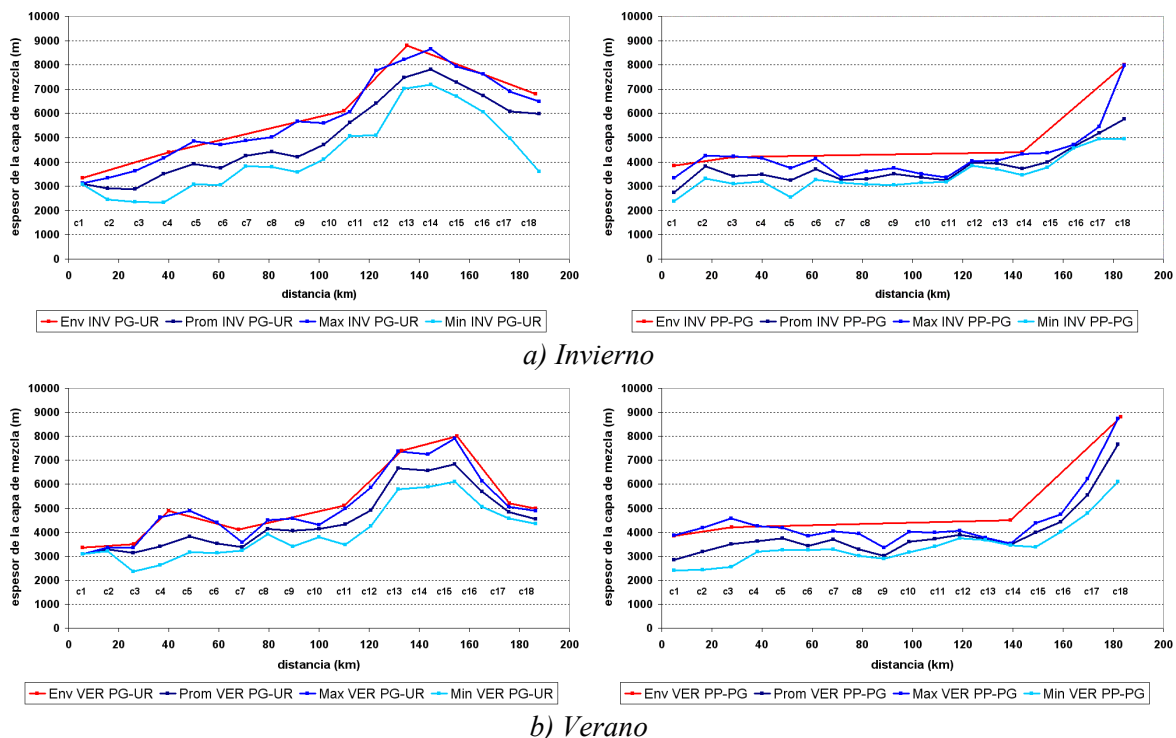


Figura 6.- Espesores de capas de mezcla para condiciones estacionales medias.

No se advierten diferencias significativas entre ambos escenarios. La Figura 7 representa los bordes laterales de las capas de mezcla, obtenidos de las envolventes para los dos escenarios. Se observa que, aún con la maximización que supone la metodología de envolventes, el espesor de las capas permanece relativamente pequeño, dejando a cada lado extensas zonas de aguas asociadas esencialmente al tributario de origen, que es la esencia del concepto de corredores de flujo.

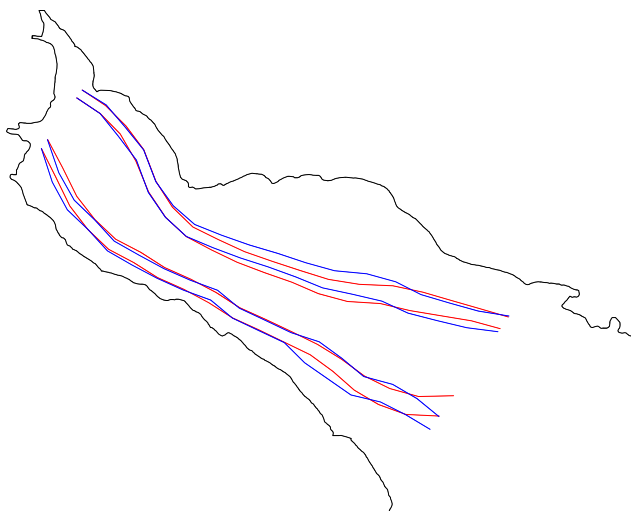
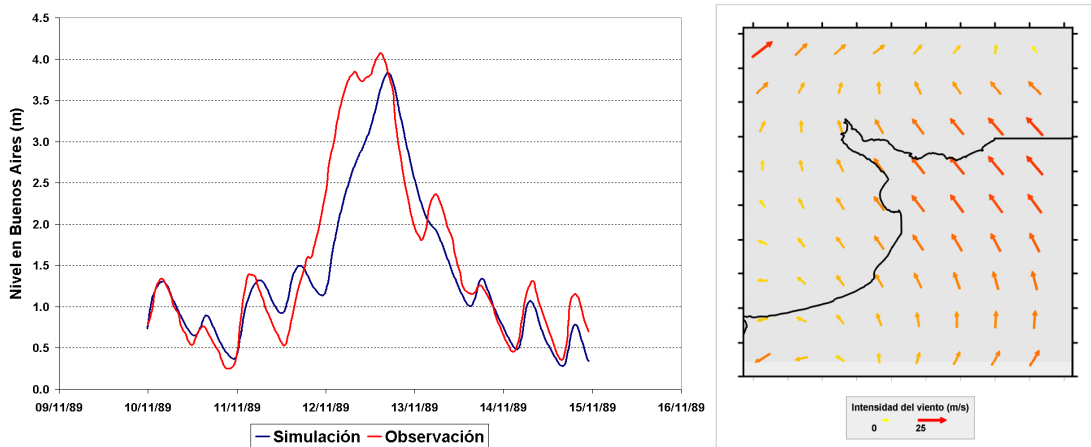


Figura 7.- Envolventes de espesores de capas de mezcla para condiciones medias (Rojo: VER, Azul: INV)

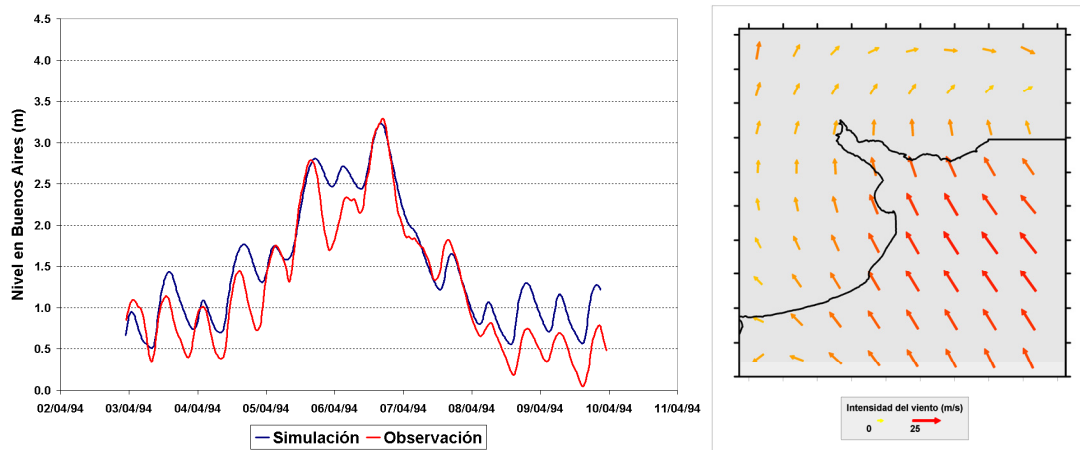
Adicionalmente, se calculó el efecto de la advección lateral por la acción de la corriente de marea, que consiste en desplazar el centro de gravedad de la capa de mezcla. Si bien este efecto no es significativo en el Río de la Plata Interior en relación a la advección longitudinal, sí es comparable al efecto de difusión turbulenta lateral. El desplazamiento se obtuvo, para cada sección, haciendo la diferencia entre las posiciones extremas alcanzadas por ese centro, observándose que el rango aproximado de variación es de 500 a 2500 m, con mayor variabilidad a lo largo de la capa entre los corredores Palmas y Guazú (esto se adjudica a variaciones batimétricas laterales relativamente más importantes a lo largo de su desarrollo).

Condiciones de tormenta

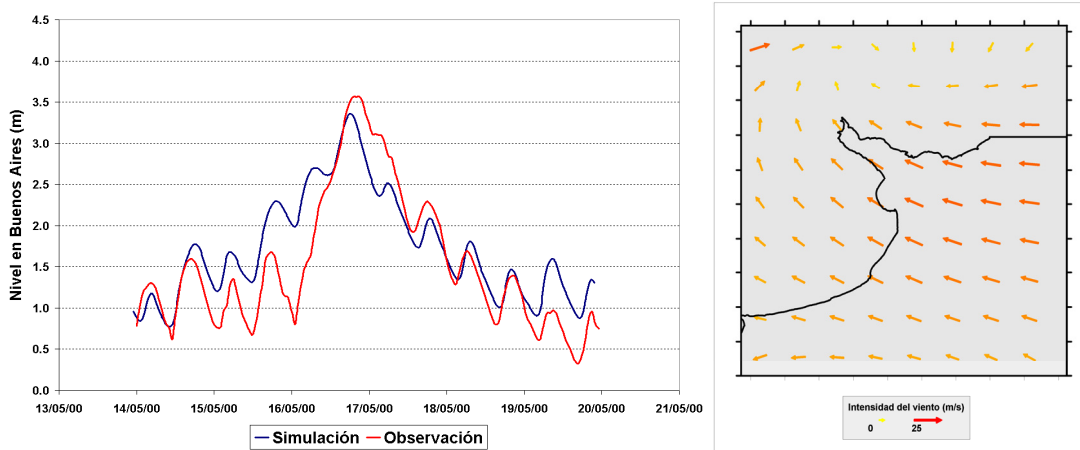
El comportamiento de los corredores de flujo frente a un evento de tormenta se estudió planteando tres casos hidrodinámicamente diferentes de *Sudestadas*. Las simulaciones, resueltas con el modelo RPP-2D, corresponden a tres tormentas de muy diferentes características (vientos de diferentes intensidades y patrones de direcciones distintos dentro del rango Este-Sur): noviembre de 1989, abril de 1994 y mayo de 2000. En la Figura 8 se observan las comparaciones de niveles observados y simulados en Buenos Aires, y el campo de vientos asociado al nivel máximo alcanzado.



a) Noviembre de 1989



b) Abril de 1994



c) Mayo de 2000

Figura 8.- Comparaciones de niveles en Buenos Aires y campos de vientos en el momento del máximo nivel en Buenos Aires

Para la simulación de las plumas de difusión durante las *Sudestadas*, se partió de una situación de simulación de condiciones medias sin vientos, con las plumas desarrolladas durante 56 días (Figura 9). A esta situación se le superpuso la hidrodinámica de las ondas de tormenta.

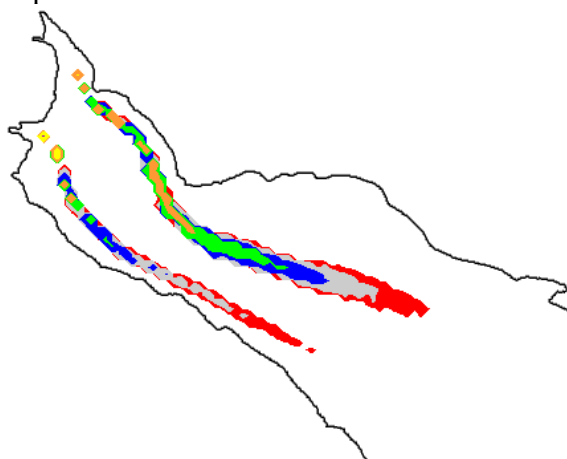


Figura 9.- Condición inicial de la simulación de las plumas de difusión durante eventos de tormenta

En la Figura 10 se observan los resultados de estos ensayos; se muestran las plumas de difusión en dos instantes de cada evento de tormenta: durante la llegada del pico a Buenos Aires y tres días después de ocurrido el mismo. Se puede advertir que el ingreso de la onda de tormenta produce dos efectos: por un lado, frena y hace retroceder significativamente el avance del flujo descargado por los tributarios; por el otro lado, genera una circulación horaria en el tramo superior del Río de la Plata y una antihoraria en el tramo medio, que conducen a una mezcla de gran escala (del orden del

ancho del río) de las masas de agua. La particularidad de este último efecto depende de las características de los vientos asociados a la tormenta respectiva. Estos efectos cesan junto con la tormenta, observándose una tendencia a la reconstrucción de los corredores de flujo, particularmente rápida en el tramo superior del Río de la Plata, como se puede ver en las distribuciones de concentraciones tres días después del máximo en Buenos Aires.

Si bien la tormenta produce una mezcla de las masas de agua a gran escala, no sucede lo mismo a escala de la mezcla turbulenta, conservando las interfases entre corredores una identidad bien definida. En cuanto a los espesores de mezcla, estos varían en el tiempo, de acuerdo a la intensidad de la onda de tormenta. En la zona superior del Río de la Plata se incrementan durante la tormenta, alcanzando valores máximos no mayores al 50% respecto de los espesores de la situación sin tormenta.

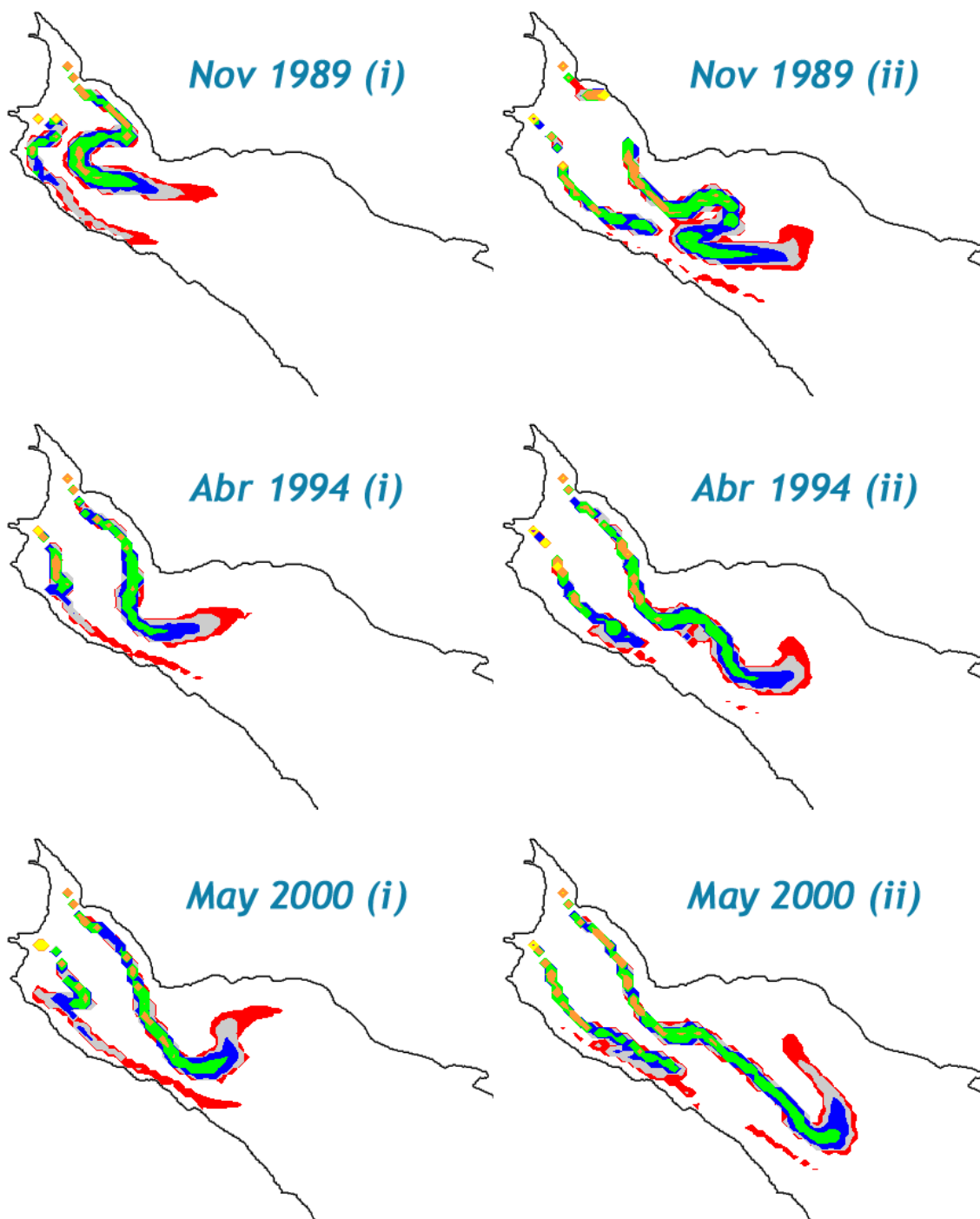


Figura 10.- Distribución de concentraciones de las plumas de difusión:
i) Llegada del pico a Buenos Aires – ii) Tres días después del máximo

CONCLUSIONES

El estudio presentado ratifica la existencia de tres corredores de flujo en el Río de la Plata Interior para condiciones medias, pero avanza en el sentido de cuantificar los espesores de las capas de mezcla entre corredores adyacentes. En particular, se confirma que, esencialmente, la calidad del agua en cada una de las dos costas (Argentina y Uruguay) del Río de la Plata Interior, es responsabilidad directa del manejo de las descargas antrópicas efectuadas por cada país.

Además, muestra que, durante el pasaje de una onda de tormenta se produce una mezcla de gran escala de las masas de agua, efecto que cesa junto con la tormenta, observándose una tendencia a la reconstrucción de los corredores de flujo, particularmente rápida en el Río de la Plata Superior. De todos modos, a la escala de difusión turbulenta, las columnas de agua siguen manteniendo su identidad de origen durante la tormenta, aunque puedan ser desplazadas significativamente respecto de la posición original del corredor asociado.

REFERENCIAS

- Carreras, P., Menéndez, A.N.** (1988). Proyecto de Tratamiento y Disposición de Efluentes Domésticos del Gran Buenos Aires. Modelos Matemáticos de Dispersión de Contaminantes, *Informe LHA-INCYTH 070-003-88*, Comitente: OSN, mayo.
- Carreras, P., Menéndez, A.N.** (1990). Mathematical Simulation of Pollutant Dispersion. *Journal of Ecological Modelling*, 52, november.
- Jaime, P., Menéndez, A.N.** (1999). Modelo Hidrodinámico Río de la Plata 2000, *Informe LHA-INA 183-01-99*, septiembre.
- Jaime, P., Menéndez, A.N., Natale, O.E.** (2001). Balance y Dinámica de Nutrientes Principales en el Río de la Plata Interior, *Informe INA 10.4-01*, septiembre.
- Jaime, P., Menéndez, A.N.**, (2002) Análisis del Régimen Hidrológico de los Ríos Paraná y Uruguay, *Informe INA-LHA 05-216-02*, Comitente: Proyecto FREPLATA, julio.
- Kalnay, E. and Co-authors** (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437-471.
- Menéndez, A. N.** (1986). Simulación Numérica de la Dispersión de Contaminantes en Regiones Localizadas. Informe LHA-INCYTH 066-01-86.
- 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.
- Menéndez, A.N., Jaime, P., Natale, O.E.** (2002), Nutrients Balance in the Río de la Plata River using Mathematical Modelling, 5th International Conference HydroInformatics 2002, Cardiff, UK, July.
- Nagy G. J., Gómez-Erache M., Perdomo A. C.** (2001). Río de la Plata. In: The Encyclopedia of Global Environmental Change, (Munn T, Chief Ed.), Vol. 3: Water Resources (Douglas I, Ed). ISBN 0741977969, John Wiley & Sons, New York-London.
- Nagy G. J., Pshennikov V., Robatto P.** (2003). Monthly Variability of Salinity at Montevideo, Río de la Plata's frontal zone, in response to consecutive ENSO fluctuations and to the River Uruguay Flow (1998-2000). In: The Río de la Plata: Research for the Management of the Environment and Fisheries in the salinity front: 21-31. Vizziano D, P Puig, C Mesones and GJ Nagy (Eds), EcoPlata, Programme, Montevideo, Uruguay.
- Parker, G., Marcolini, J., Cavalloto, J., Violante, R.** (1987). Modelo Esquemático de Dispersión de Sedimentos en el Río de la Plata. Ciencia y Tecnología del Agua, Vol. 1, No. 4, pp. 68-80.
- Quirós, R., Senone, H.** (1985). Niveles de Nutrientes y Pigmentos Fotosintéticos en el Río de la Plata Interior (55°-59° W, 34°-36° S). Informe Técnico No. 1, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Departamento de Aguas Continentales.
- Ré, M., Menéndez, A.N., Ludueña, S.G.** (2004). Mapas de riesgo de inundaciones para una zona costera considerando el cambio climático, XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 18-22 de Octubre, São Pedro, São Paulo, Brasil.
- White, F. M.** (1974). Viscous Fluid Flow. McGraw-Hill, New York.