

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

DINÁMICA DE SEDIMENTOS FINOS EN EL RÍO DE LA PLATA

Mónica Fossati¹, Florence Cayocca², Ismael Piedra-Cueva¹

(1) Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), Uruguay

(2) Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER), Francia

mfossati@fing.edu.uy, Florence.Cayocca@ifremer.fr, ismaelp@fing.edu.uy

RESUMEN:

Se presentan los avances realizados en el estudio de la dinámica de sedimentos finos en el Río de la Plata. Estos avances comprenden por un lado el análisis de nuevos datos de campo generados y la calibración del modelo numérico de sedimentos finos MARS. Dentro del proceso de calibración se incluye la determinación de las formulaciones existentes de los diversos procesos que comprenden la dinámica de sedimentos finos, es decir, transporte, caída, erosión y resuspensión, consolidación y mezcla vertical, que reproducen correctamente la variabilidad espacial y temporal de la concentración en suspensión que muestran los datos medidos en el Río de la Plata. El modelo ajustado muestra que la dinámica en el Río de la Plata está gobernada por procesos de resuspensión de sedimento de fondo generados por corrientes de marea y por oleaje. La importancia de cada uno de estos forzantes se diferencia entre la zona interior-intermedia y la zona exterior del Río de la Plata. Una vez ajustado el modelo el mismo se ha utilizado como herramienta de análisis de las principales características de la dinámica sedimentológica de la zona, con la definición de zonas de erosión y deposición netas para un período de un año.

ABSTRACT:

In this article the progress made in fine sediments modeling in the Río de la Plata is presented. These advances include analysis of measured data and the adjustment of the MARS numerical model. The calibration process includes the evaluation of sediments dynamics formulations related with erosion, settling, vertical mixing and deposition, and the calibration of the model in order to represent the data. The adjusted model shows the dynamics in the Río de la Plata is governed by the erosion of bottom sediment generated by tidal currents and waves. The relevance of each forcing is different between the inner-middle and the outer zone of the Río de la Plata. The adjusted model was used to analyse the main dynamics of the area. For example the zones of net erosion and deposition for a period of one year were determined.

PALABRAS CLAVES:

Sedimento cohesivo, Río de la Plata, modelo numérico MARS

INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto binacional “Estudio de la dinámica hidro-sedimentológica del Río de la Plata: observación y modelación numérica de los sedimentos finos”; Proyecto FREPLATA-FFEM se adquirió una nueva y extensa base de datos de información vinculada a sedimento en suspensión y sedimento de fondo en todo el Río de la Plata (Moreira et al, 2010). Por otro lado se iniciaron trabajos de modelación numérica (Fossati et al, 2010) de la dinámica de sedimentos finos en el Río de la Plata con la aplicación del modelo tridimensional MARS desarrollado en el laboratorio IFREMER de Francia (Lazure & Dumas, 2008). Posteriormente a la finalización del proyecto se continúa el estudio de la dinámica de sedimentos finos a través del análisis de la nueva información de campo y del desarrollo y ajuste del modelo numérico. Los principales resultados obtenidos hasta el momento se presentan en este artículo.

En las etapas previas a este trabajo las principales características del modelo fueron definidas en base al modelo hidrodinámico. En la implementación realizada se ha propuesto un sistema de modelos anidados de resolución progresivamente mayor que representan las zonas del sistema de estudio, y por lo tanto distintas dinámicas. Los principales detalles se describen en Fossati et al (2010); aquí solamente se presentan detalles mínimos para el posterior entendimiento del trabajo. Se han definido dos niveles, un nivel de escala regional y un nivel enfocado en la zona del Río de la Plata y el Frente Marítimo. El primer nivel, denominado rank0, es un modelo bidimensional a escala oceánica que simula la propagación de las ondas astronómicas por la región Sur del Océano Atlántico a partir de un modelo global de marea (FES2004) y también incluye la interacción en la superficie con el forzante atmosférico (vientos y presiones) generando la componente meteorológica de marea. El segundo nivel, denominado rank1 es un modelo que simula el flujo tridimensional en todo el Río de la Plata y en el Frente Marítimo. Los forzantes considerados son las ondas astronómicas y meteorológicas provenientes del Atlántico Sur (calculadas en el rank0), los caudales fluviales continentales de los Ríos Paraná y Uruguay, y el campo de vientos que actúa sobre la superficie libre. La grilla definida para representar el dominio de cálculo es regular y se basa en el sistema de coordenadas latitud-longitud con una resolución de 0.027° (aproximadamente 3.000 m) en ambas direcciones. Esta resolución espacial permite representar adecuadamente las principales variaciones topográficas de la zona del Río de la Plata que determinan el movimiento a gran escala. En la dirección vertical se definieron 10 capas tipo sigma, no equiespaciadas, con la siguiente distribución sigma: 0.05, 0.20, 0.35, 0.50, 0.65, 0.75, 0.85, 0.90, 0.95 y 0.97. El modelo fue calibrado y validado (ver Fossati et al, 2010) para representar las principales características hidrodinámicas en sus dos niveles, rank0 y rank1, de forma de garantizar una buena calidad en la representación del flujo como paso previo al estudio de la dinámica de sedimentos finos.

El sistema mencionado fue utilizado para implementar un modelo de dinámica de sedimentos finos en el Río de la Plata. Es bien sabido que la dinámica de sedimentos finos cohesivos en cuerpos de agua estuarinos es un sistema muy complejo (Winterwerp, 2004) dependiente de las características locales y que incluye varios procesos que a su vez interactúan entre sí. Justamente el Río de la Plata presenta varias particularidades que complejizan aún más el problema: su gran tamaño con un área de aproximadamente 35.000 km^2 , el elevado caudal fluvial que descarga en el Río de la Plata de $22.000 \text{ m}^3/\text{s}$ de promedio, una extensa frontera con el Océano Atlántico (220 km) y por tanto gran influencia en la dinámica de la zona del campo salino, tormentas, y mareas que provienen de la zona exterior. En función de estas características físicas y oceanográficas del sistema se divide habitualmente el Río de la Plata en dos zonas. Una región interior-intermedia, desde la desembocadura de los ríos hasta la línea imaginaria Punta Piedras-Montevideo (ver Figura 1), caracterizada por un régimen fluvial con bajas profundidades con canales preferenciales de flujo y que puede aproximarse por una dinámica bidimensional; y una región externa de características estuarinas (desde Punta Piedras-Montevideo hasta el límite del Río de la Plata en la línea imaginaria Punta Rasa-Punta del Este) que coincide con un gran ensanchamiento de sección donde la variabilidad topográfica y la influencia del Océano (en forma

determinante a través del campo salino) dan lugar a una circulación tridimensional compleja. En este artículo se mostrará que los sedimentos finos y su dinámica se diferencian en estas dos zonas pero con una interconexión importante.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es presentar los avances realizados en el estudio de la dinámica de sedimentos finos en el Río de la Plata. Estos avances comprenden por un lado el análisis de nuevos datos de campo generados y la calibración del modelo numérico de sedimentos finos MARS. Dentro del proceso de calibración se incluye la determinación de las formulaciones existentes de los diversos procesos que comprenden la dinámica de sedimentos finos, es decir, transporte, caída, erosión y resuspensión, consolidación y mezcla vertical, que reproducen correctamente la variabilidad de concentración en suspensión espacial y temporal que muestran los datos medidos en el Río de la Plata. Una vez ajustado el modelo el mismo será utilizado como herramienta de análisis de las principales características de la dinámica sedimentológica de la zona, con la definición de zonas de erosión y deposición.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología aplicada en este trabajo comprende principalmente el desarrollo, ajuste y evaluación de diversas componentes del modelo numérico implementado con el objetivo de representar la dinámica de sedimentos del Río de la Plata que muestran los datos. El trabajo con el modelo está basado en el análisis de la nueva información de campo vinculada. La metodología desarrollada en este trabajo puede resumirse en las etapas siguientes.

- 1- Implementación y calibración del modelo de oleaje SWAN en el dominio de cálculo del modelo MARS.
- 2- Determinación de las tensiones de corte de fondo generadas por corrientes y por oleaje.
- 3- Implementación de la estructura principal del modelo de sedimentos finos a partir de la información de campo.
- 4- Análisis de sensibilidad de los resultados del modelo a la variación de diversas formulaciones y parámetros de los procesos principales.
- 5- Modelación y análisis de la dinámica de sedimentos para los años 2009 y 2010. Determinación de zonas de erosión y deposición.

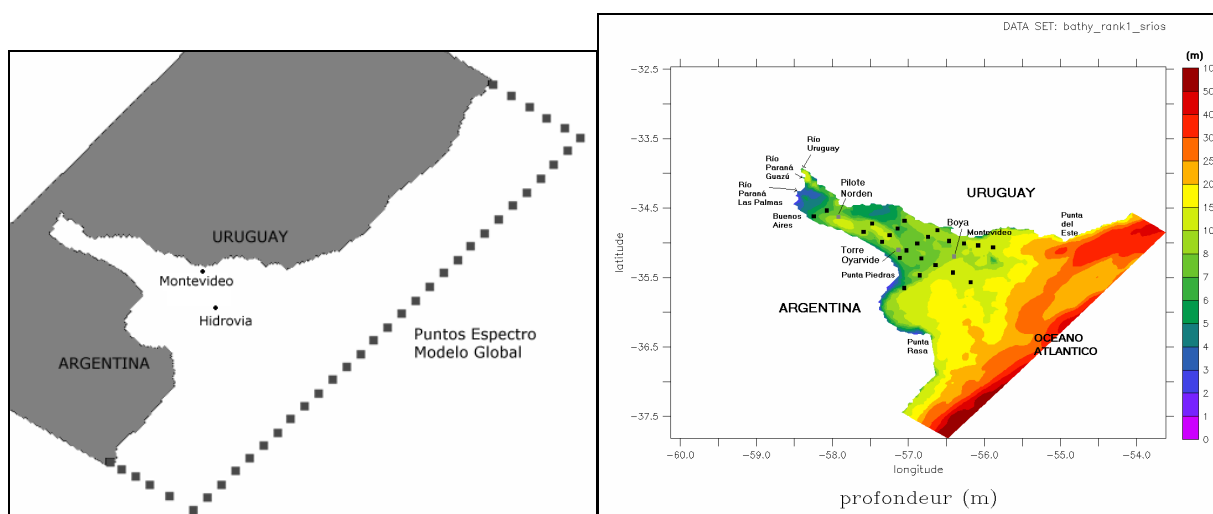


Figura 1.- Dominio del modelo rank1 (panel izquierdo) y detalle de la batimetría del rank1 en la zona del Río de la Plata (panel derecho).

En relación a la información de campo de sedimento fino, series de turbidez medidas durante varios meses entre noviembre 2009 y diciembre 2010 en 3 ubicaciones fijas (Piloto Norden,

Torre Oyarvide y Boya; ver Figura 1 panel derecho) de la zona de estudio constituyen la mayor base de información vinculada con sedimentos finos. Además, perfiles de turbidez medidos en 5 campañas oceanográficas realizadas durante el mismo período en 26 puntos distribuidos en todo el Río de la Plata, y la composición de muestras de agua de suspensión y muestras de sedimento de fondo permiten conocer específicamente el sedimento en la región. Esta información fue procesada y analizada y es utilizada en la calibración y ajuste del modelo. Se cuenta además con perfiles de concentración en la zona de Montevideo medidos mediante un ADCP desde el año 2003 hasta principios del 2009.

Para ordenar el artículo se presentan en las secciones del artículo las diversas etapas mencionadas anteriormente, presentando las principales características, los resultados obtenidos y un análisis de los mismos.

1- MODELO DE OLAJE

El modelo de generación y propagación de oleaje SWAN fue implementado y calibrado para la zona de estudio utilizando la misma malla del rank 1 del modelo hidrodinámico MARS implementado (Figura 1). En 17 puntos distribuidos en la frontera oceánica se ingresaron como condiciones de borde los espectros de oleaje calculados por el modelo global WW3 implementado en escala planetaria por IFREMER (Figura 1, panel izquierdo). Se utiliza para la determinación del oleaje el nivel de agua en cada instante y en cada punto del dominio calculado previamente con el modelo hidrodinámico. El modelo local SWAN es forzado además por el campo de vientos obtenido del modelo atmosférico global ECMWF con una resolución espacial de 0.25° y temporal de 6 horas. Se utilizaron datos de oleaje medidos en la costa uruguaya cerca de Montevideo y en la zona central del Río de la Plata (Hidrovia) para calibrar el modelo local SWAN. La ubicación de dichos puntos se presenta en la Figura 1 panel izquierdo. La principal variable de ajuste del modelo es la parametrización de la fricción de fondo y los mejores resultados se obtuvieron utilizando la parametrización de Jonswap con el parámetro que el modelo sugiere por defecto.

Tabla 1.- Coeficiente de correlación y error cuadrático medio obtenido con el modelo para los meses con medidas en Hidrovía y Montevideo.

Datos Hidrovía			Datos Montevideo		
Ajuste Altura Significativa Oleaje			Ajuste Altura Significativa Oleaje		
Período	Correlación	RMSE (m)	Período	Correlación	RMSE (m)
ene-06	0.73	0.21	ene-09	0.88	0.20
feb-06	0.90	0.27	feb-09	0.88	0.15
mar-06	0.76	0.30	abr-09	0.89	0.14
abr-06	0.87	0.22	may-09	0.95	0.14
may-06	0.96	0.16	jun-09	0.97	0.17
jun-06	0.90	0.24			

Para evaluar la calidad del ajuste del modelo de oleaje implementado se calcularon los coeficientes de correlación y el error medio cuadrático obtenidos mensualmente además de la comparación visual de las curvas temporales de altura significativa de ola. En la Tabla 1 se presentan los valores del ajuste obtenido para los datos medidos en Montevideo y en la zona central del Río de la Plata (boya Hidrovía). En la Figura 2 se presenta a modo de ejemplo la variabilidad temporal de altura significativa de ola medida y obtenida con el modelo en ambos puntos de control. Por la ubicación exterior en Hidrovía la altura de oleaje es mayor que en la zona de Montevideo. Se observa que el modelo implementado y calibrado representa en general la variabilidad del oleaje en períodos de calma y principalmente representa los valores altos correspondientes a tormentas en ambos puntos. La calidad del ajuste varía mes a mes pero se observan coeficientes de correlación mayores a 0.73 en Hidrovía y mayores a 0.88 en Montevideo; con errores entre 0.16 m y 0.3 m en Hidrovía y entre 0.14 y 0.20 m en Montevideo. El período y la dirección del oleaje también fueron evaluados y el modelo reproduce el comportamiento observado.

Por último, se presenta a modo de ejemplo en la Figura 3 el campo de altura de ola significativa (panel izquierdo) obtenido con el modelo y el campo de viento (panel derecho) correspondientes a un evento de tormenta del SW ocurrido el día 18 de enero de 2009 en el Río de la Plata. Se observa en la misma uno de los patrones más habituales de tormenta en la zona con mayores alturas de ola en la zona exterior del Río de la Plata con un decrecimiento hacia la zona interior.

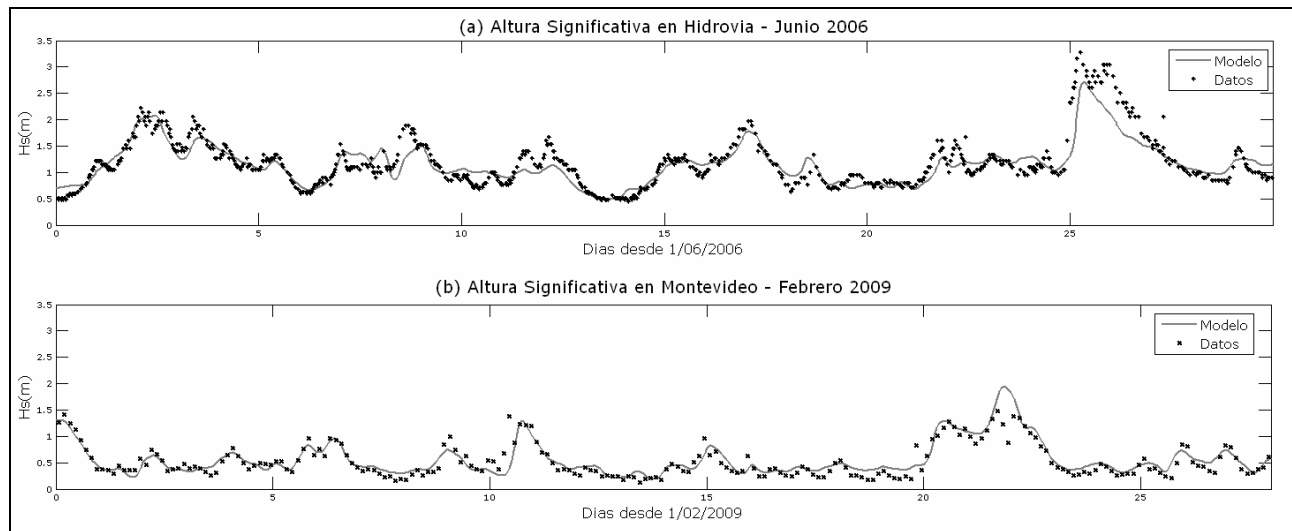


Figura 2.- Ejemplos de variación temporal de altura significativa obtenida con el modelo y medida en (a) Hidrovía y (b) Montevideo.

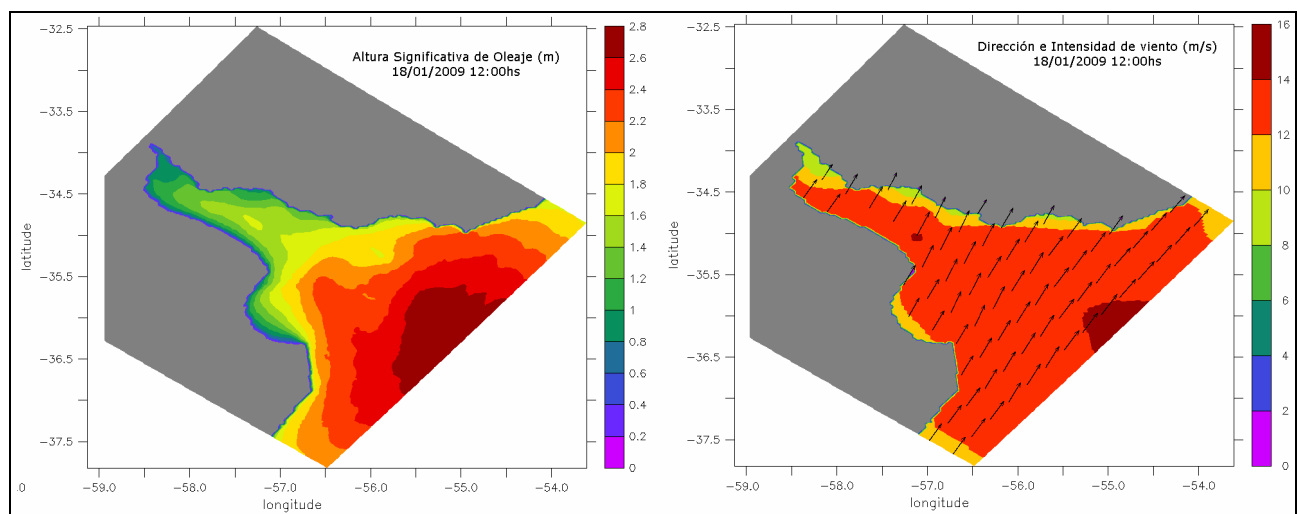


Figura 3.- Ejemplo de resultado del modelo de oleaje. Campo de altura significativa (panel izquierdo) obtenido con el modelo y campo de vientos (panel derecho) correspondientes al 18 de enero 2009 12:00hs.

2- DETERMINACION DE LAS TENSIONES DE CORTE DE FONDO

Uno de los principales procesos que involucran la dinámica de sedimentos finos es la resuspensión de los sedimentos depositados en el fondo (Winterwerp et al, 2004) que ocurre por efecto de la tensión de corte generada por el flujo de corrientes de marea (astronómica y meteorológica) y por el flujo oscilatorio del oleaje. Debido a esto, representar correctamente las tensiones de corte de fondo generadas por corrientes y por oleaje en la zona de estudio es determinante para poder representar correctamente con el modelo la resuspensión de fondo y por tanto la dinámica de sedimentos finos. A pesar de que el proceso de resuspensión y las tensiones de corte generadas por flujo combinado (mareas y oleaje) impuestas sobre el fondo es un tema de investigación en desarrollo, es necesario incluir en el modelo alguna simplificación que permita representar las principales características de dicho proceso. En el modelo implementado se utiliza

para la tensión de corte de corriente la formulación calculada imponiendo la ley de pared de perfil de velocidad logarítmico con una rugosidad denominada z_{0sed} que se ingresa como parámetro de ajuste (Nielsen, 1992) y en la cual interviene la velocidad del flujo calculada por el modelo sobre el fondo. Para la tensión generada por oleaje se utiliza la formulación de Soulsby (Whitehouse et al, 2000) para flujo turbulento rugoso en la capa límite oscilatoria en la cual intervienen el período pico y la velocidad orbital del oleaje, además del parámetro de rugosidad de fondo z_{0sed} . Se realizaron diversos análisis de sensibilidad complementarios en relación a las tensiones de fondo, por ejemplo, la verificación de la condición de flujo turbulento, la consideración de otras formulaciones para oleaje, la variación del parámetro z_{0sed} , entre otros.

Para obtener las tensiones generadas por el oleaje las características del oleaje período pico y velocidad orbital calculados con SWAN para la zona de estudio se ingresan al modelo hidrodinámico MARS con una resolución temporal de 30 minutos. Se determina la tensión de fondo por oleaje que en conjunto con la tensión de fondo generada por las corrientes constituyen la tensión total de fondo. Una de las mayores indeterminaciones en el caso de sedimento de fondo tipo barrosos como el del Río de la Plata (compuesto en su mayoría por arcillas y limos) en la definición de las tensiones de fondo es el parámetro z_{0sed} . Se realizaron análisis de sensibilidad a dicho parámetro y finalmente se fijó en un valor igual a 0.1 mm valor utilizado en otros estudios que utilizaron el modelo MARS (Dufois et al, 2008) Las tensiones de corte obtenidas se compararon con las tensiones calculadas en base a registros del perfil de corrientes obtenidos con un ADCP ubicado en la boya oceanográfica (Figura 1) y se obtuvo una buena representación en el orden de las mismas, principalmente durante los eventos de tormenta.

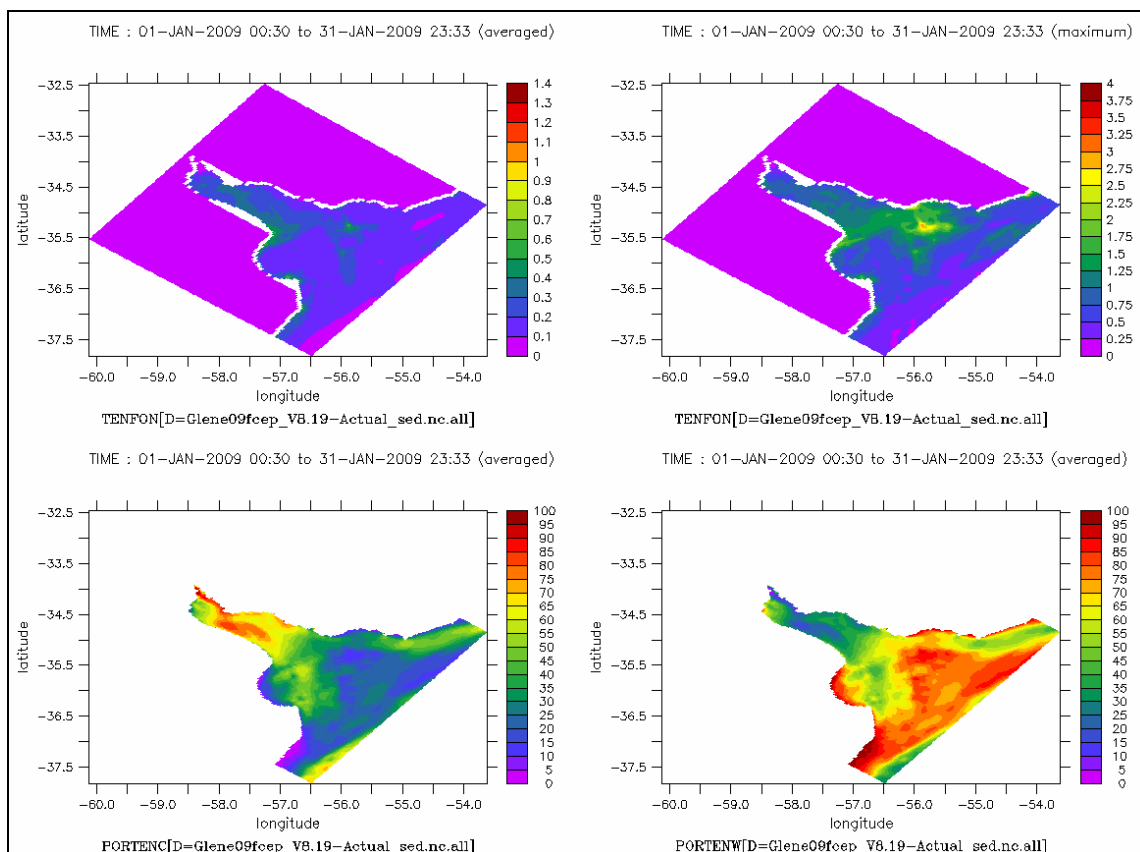


Figura 4.- Promedio mensual (panel izquierdo superior) y máximos mensuales (panel derecho superior) de tensiones de corte totales para el mes de enero 2009. Porcentaje promedio mensual de la tensión por corriente respecto a la tensión total (panel izquierdo inferior) y porcentaje promedio mensual de la tensión por oleaje respecto a la tensión total (panel derecho inferior) para el mes de enero 2009.

Las tensiones de corte de fondo totales (obtenidas como la suma vectorial de las corrientes por marea y por oleaje), calculadas según la metodología descrita muestran una distribución espacial promedio mensual de características principales como la presentada en la Figura 4 para el

mes de enero 2009. En dicha Figura se presenta en el panel izquierdo superior las tensiones medias mensuales y en el panel derecho superior las tensiones máximas en cada punto. En los paneles inferiores se muestra la influencia promedio mensual en la tensión total de las tensiones por corriente (panel inferior izquierdo) y por oleaje (panel inferior derecho) en porcentaje respecto a la tensión total. Los resultados obtenidos muestran a grandes rasgos que en la zona interior las tensiones generadas por las corrientes predominan frente al oleaje mientras que en la región intermedia ambas componentes son determinantes y en la región exterior las tensiones por oleaje predominan.

3- MODELO DE SEDIMENTOS FINOS

Implementación y ajuste

En el modelo de sedimentos finos se representan las principales características de su dinámica: transporte, sedimentación, deposición en el fondo, y resuspensión. En esta primera etapa no se considera la consolidación del sedimento de fondo en el modelo. En función de los análisis de composición de los finos en la zona obtenidos en los datos se incluyen en el modelo dos variables de finos, limo y arcilla. Las variables se diferencian en su velocidad de caída. Además, para cada una de estas variables se separa el material que proviene del fondo y el material que proviene de los aportes fluviales. El fondo del Río de la Plata está compuesto mayoritariamente por limo y arenas finas en la zona interior e intermedia y arcilla limosa en la zona exterior. Se utiliza en el modelo como condición inicial la composición histórica determinada en Laborde y Nagy (1999), definiendo en cada celda del modelo la proporción de materiales correspondiente. Por otra parte, se simula el ingreso de sedimentos finos por los principales aportes fluviales, los ríos Paraná Las Palmas, Paraná Guazú y Uruguay (Figura 1). A partir de valores de aporte fluvial de concentración de finos determinado por el INA (Re et al, 2009) para los años 2003 y 2004 se calculó el valor medio y el mismo se definió como concentración para el período simulado: 150 mg/l de limos y 50 mg/l de arcillas. Se utilizaron datos de caudales líquidos diarios de los tres aportes fluviales lo que resulta en una carga de sedimento variable. El caudal medio total ingresado al Río de la Plata durante los años 2009 y 2010 es igual a 24,500 m³/s.

Por la disponibilidad de datos se implementó el modelo para simular los años 2009 y 2010 completos. Se simuló como período previo el año 2008 para inicializar el campo salino y el campo de sedimentos. Debido a la gran complejidad de la dinámica en la zona se realizó un análisis exhaustivo de sensibilidad del modelo a los diferentes procesos como parte del proceso de ajuste. Se definieron inicialmente tres familias de procesos que se estudiaron en detalle en base a simulaciones y comparación de resultados: erosión, caída y mezcla. La primera familia comprende parámetros como tensión crítica de erosión, deposición, tasa de resuspensión y variaciones en formulaciones que representen procesos de erosión y deposición. La segunda familia comprende formulaciones y parámetros vinculados a la velocidad de caída de las dos variables de finos consideradas, limo y arcilla. La tercera familia comprende el estudio de diversas parametrizaciones de cierre de la turbulencia vertical en el modelo. En función del análisis de los resultados se definieron posteriormente varias simulaciones test con combinación de los diversos parámetros evaluados. Los resultados del modelo fueron evaluados con las series de turbidez medidas en tres puntos fijos ubicados en distintas zonas del Río de la Plata durante varios meses. Además, se evaluó la representación de la dinámica global utilizando los perfiles medidos en las campañas. El mes de agosto de 2010 fue seleccionado para realizar la gran mayoría de análisis y ajustes. No es posible presentar en este artículo los resultados parciales obtenidos en esta etapa por su gran extensión.

Como resultado de dicho proceso se cuenta con el modelo ajustado que representa la generalidad de la dinámica de sedimentos finos en la zona de estudio, representando los eventos de resuspensión que se observan en los datos además de los valores de concentración en suspensión en períodos de calma que se observan en toda la zona interior e intermedia del Río de la Plata. A modo de ejemplo de los resultados se muestra en la Figura 5 la comparación de la serie de turbidez medida y obtenida con el modelo durante agosto 2010 en Torre Oyarvide, junto con la serie de

tensiones de corte de fondo correspondientes. Se observa el modelo representa las características principales de la dinámica, representando tanto los valores de concentración en períodos de calma como el incremento y posterior descenso durante el evento de tormenta.

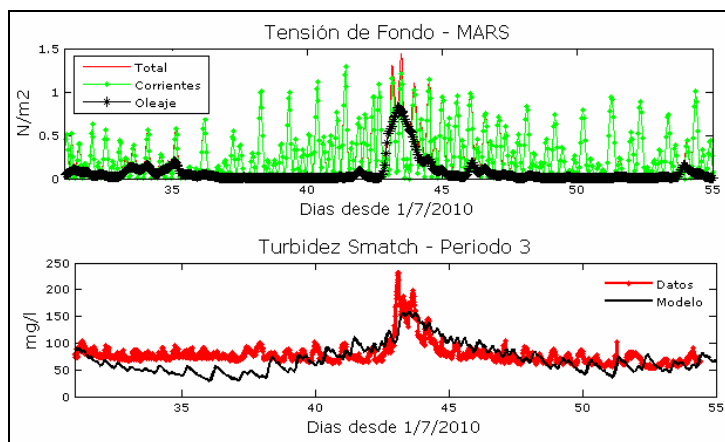


Figura 5.- Ajuste del modelo de sedimentos obtenido en Torre Oyarvide (panel inferior) y la correspondiente tensión de corte de fondo en dicho punto (panel superior) durante el mes de agosto 2010.

Resultados obtenidos

El trabajo realizado con el modelo ha permitido determinar que la dinámica instantánea de sedimentos finos en cada zona del Río de la Plata está gobernada principalmente por la resuspensión de los sedimentos de fondo. La mayor parte de la carga que ingresa por los aportes fluviales, formada por limos, se deposita en la zona cercana a la desembocadura de los ríos en el interior del Río de la Plata. En la zona intermedia las corrientes de marea generan resuspensión de sedimento de fondo constantemente en función de su periodicidad lo que genera un valor basal de concentración. El sedimento en suspensión es transportado por el flujo principalmente bidimensional y presenta una sedimentación rápida. De esta forma se observa un ciclo continuo de deposición, resuspensión y transporte diario de los sedimentos en esta zona. No obstante, esta dinámica es alterada durante eventos de tormenta que generan tensiones altas durante varias horas generando mayor resuspensión que la habitual y por tanto las concentraciones de sedimento fino aumentan, para luego disminuir una vez pasada la tormenta y a medida que ocurre la sedimentación. En esta zona casi no hay variación de las concentraciones en el perfil vertical. En la zona exterior en cambio la dinámica es muy diferente. Las corrientes de marea generan muy baja resuspensión y por tanto no hay concentración basal como en la zona interior-intermedia, y los valores de turbidez son bajos durante períodos de calma. No obstante el efecto del oleaje es fuerte en esta zona generando grandes eventos de erosión de fondo. El material de fondo en esta zona es mayormente arcilloso y su dinámica se ve fuertemente influenciada por el transporte y por el campo de salinidad. La estratificación por salinidad observada principalmente sobre la zona exterior hacia la costa uruguaya atrapa el sedimento resuspendido generando muchas veces dos capas de sedimento y no hay uniformidad en la dirección vertical.

A modo de ejemplo se presenta en la Figura 6 el campo de concentración en la columna de agua promedio y máximo obtenido en fondo y en superficie con el modelo para el mes de junio 2009. El campo promedio representa básicamente situaciones de calma y el campo extremo lo que sucede en eventos de tormenta. Se observa en la zona interior e intermedia los campos medios en fondo y superficie son similares. En cambio en la zona exterior no se observa lo mismo y en el fondo en promedio hay concentraciones bajas de sedimento pero en superficie prácticamente no hay sedimento. En los eventos extremos se observa la distribución de sedimentos finos en fondo y en superficie es totalmente diferente a lo que sucede en períodos de calma. En estos casos las mayores concentraciones se observan en la zona exterior. Además se observa una fuerte resuspensión en la zona intermedia contra la costa uruguaya. La pluma de sedimento de superficie presenta una extensión sobre la costa uruguaya que no se observa en períodos de calma.

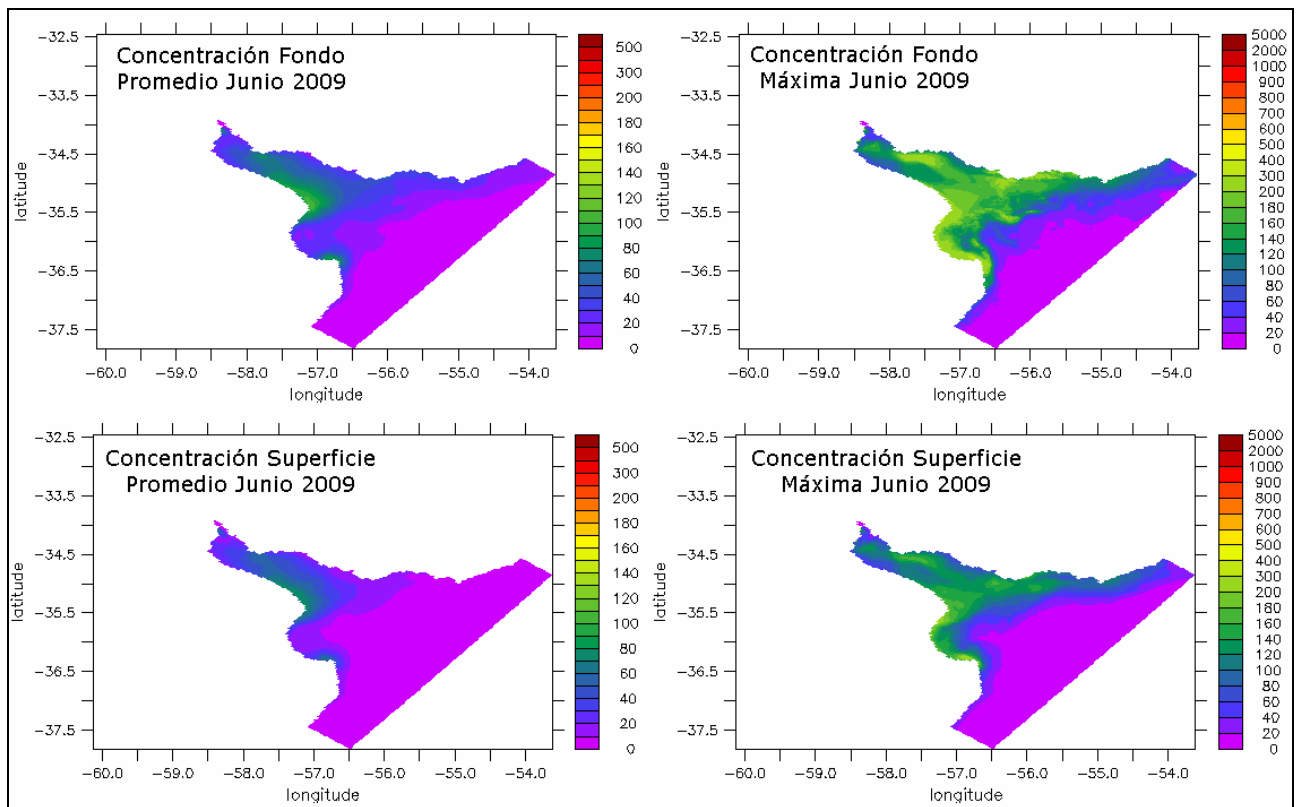


Figura 6.- Ejemplos del campo de sedimento fino obtenido para el mes de junio 2009: concentración promedio mensual en fondo (panel superior izquierdo), concentración máxima mensual en fondo (panel superior derecho), concentración promedio mensual en superficie (panel inferior izquierdo) y concentración máxima mensual en superficie (panel superior derecho). Valores en mg/l.

DISCUSION

La herramienta desarrollada permite analizar ciertos procesos de la dinámica de sedimentos en el Río de la Plata de forma sencilla. Por ejemplo, es posible determinar zonas de deposición predominante y otras zonas de erosión predominante. Como se mencionó anteriormente la dinámica está regulada por procesos de erosión y deposición sucesivos que ocurren en diversas escalas y ocurren en todo el Río de la Plata. Sin embargo a largo plazo puede haber una tendencia que es importante determinar. En este caso se determinó a modo preliminar las zonas que en un año presentaron erosión neta, las zonas que en un año presentaron deposición neta, y las zonas que en un año presentan muy poca variación de la altura de fondo, denominadas de equilibrio. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 7 calculados a partir de la simulación del año 2009.

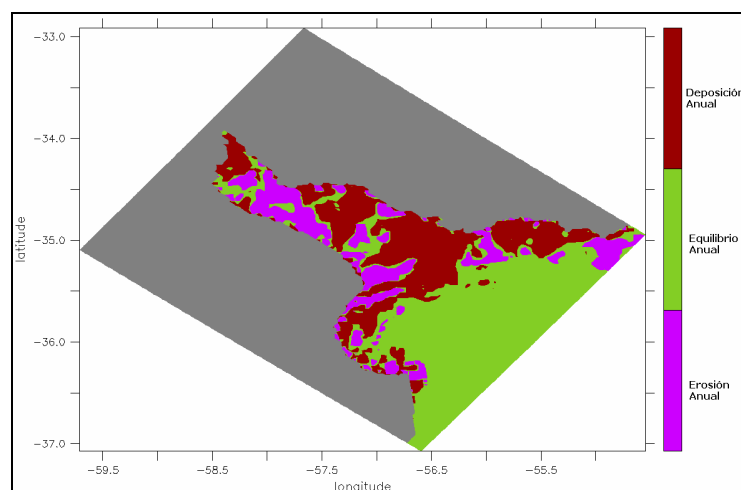


Figura 7.- Zonas de deposición y erosión neta obtenidas luego de un año de simulación.

Se observa principalmente que sobre la costa uruguaya predominan zonas de deposición y sobre la costa argentina de erosión salvo algunas excepciones. Este tipo de resultados debe analizarse considerando el material de fondo de cada una de las zonas y se observa una cierta coherencia. En la zona donde predominan las arcillas el modelo muestra deposición y en la zona donde predominan los limos zonas de erosión. Resulta de interés extender este análisis a un período de tiempo mayor para obtener tendencias más certeras.

CONCLUSIONES

Se ha avanzado en el estudio de la dinámica de sedimentos finos en el Río de la Plata mediante la implementación, ajuste con datos y evaluación de un modelo numérico tridimensional. Los principales factores determinantes en la dinámica se han incluido en el modelo y luego de diversos análisis de sensibilidad y de ajuste, se ha definido una configuración que reproduce valores razonables de concentración en suspensión en toda el área de estudio.

Los resultados obtenidos con el modelo muestran que el aporte fluvial de sedimento fino principalmente deposita en la zona interior del Río de la Plata y que la dinámica general está gobernada por ciclos de erosión, transporte y deposición. En la zona interior e intermedia las mareas dominan dicho proceso a una escala semidiurna generando un valor basal de concentración que en eventos de oleaje aumenta por fuertes erosiones adicionales. En la zona exterior la dinámica es muy diferente, dominada por la resuspensión generada durante las tormentas y el transporte posterior del sedimento en suspensión. En esta zona se observa una gran influencia del campo de salinidad en la dinámica. A partir del modelo ajustado es posible realizar estudios exploratorios posteriores para mejorar el conocimiento de la dinámica de sedimentos finos en la zona. Por ejemplo, se determinaron zonas de erosión y deposición predominantes luego de un año. Extender el período de tiempo en esta determinación resulta de gran interés, además de otros análisis que apunten a entender como es la dinámica.

BIBLIOGRAFÍA

- Fossati M., Moreira D., Simionato C., Cayocca F., Tessier C., Sarubbi A. y Re M.** (2010). Estudio del transporte de sedimentos en el Río de la Plata: primeros resultados de la modelación numérica. *XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Uruguay.
- Dufois F., Garreau P., Le Hir P., Forget P.** (2008). Wave- and current-induced bottom shear stress distribution in the Gulf of Lions. *Continental Shelf Research* vol 28 (2008) 1920–1934.
- López Laborde, J. y Nagy, G.J.**, 1999. Hydrography and sediment transport characteristics of the Río de la Plata: a review. En: Perillo, G.M.E., Piccolo, M.C. & Pino, M. (Eds.), *Estuaries of South America: Their geomorphology and dynamics*, Springer, 133 – 160.
- Moreira, D., de los Campos, T., Capeluto Ware, A., Guerrero, R., Repecaud, M., Le Bihan, C., Balestrini, C., Firpo, A. y Fossati M.** (2010). Estudio del transporte de sedimentos en el Río de la Plata: campañas oceanográficas. *XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Uruguay.
- Nielsen, P.** (1992). Coastal bottom boundary layers and sediment transport. *Advanced series on ocean engineering*. Vol 4. World Scientific.
- Lazure P. and Dumas F.** (2008). An external–internal mode coupling for a 3D hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS). *Advances in Water Resources* 31 (2008) 233–250.
- Re, M., Menéndez, A.N., Amsler, M.L.**, (2009). Metodología para la generación de series temporales de descarga sólida de los ríos Paraná de las Palmas y Paraná Guazú. *Cuarto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, RIOS 2009*, Salta, Argentina, Noviembre.
- Whitehouse, R., Soulsby, R.L., Roberts, W., Mitchener, H.**, (2000). *Dynamics of estuarine muds*. Thomas Telford, London, 210pp.
- Winterwerp, Johan C., and van Kesteren, Walther G.M.** (2004). *Introduction to the Physics of Cohesive Sediment in the Marine Environment*. Elsevier.