

**REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY  
ARMADA NACIONAL  
SERVICIO DE OCEANOGRAFÍA HIDROGRAFÍA Y METEOROLOGÍA DE LA ARMADA**



# **LA MAREA EN LA COSTA URUGUAYA**

## **CASOS DE EVENTOS EXTREMOS**

**PUBLICACIÓN Nº 15**



# **LA MAREA EN LA COSTA URUGUAYA CASOS DE EVENTOS EXTREMOS**

**REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY  
ARMADA NACIONAL**



**PUBLICADO POR EL  
SERVICIO DE OCEANOGRAFÍA, HIDROGRAFÍA Y METEOROLOGÍA  
DE LA ARMADA**

**1a EDICIÓN 2021**

**© 2021, SOHMA URUGUAY  
Todos los derechos reservados  
ISBN 978-9915-9371-6-8**

**Publicación  
N° 15**





## PRÓLOGO

Con la publicación LA MAREA EN LA COSTA URUGUAYA: CASOS DE EVENTOS EXTREMOS, el Departamento de Oceanografía perteneciente al Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA), continúa con la tarea de informar y divulgar los conocimientos referentes a nuestras Aguas Jurisdiccionales.

Nuestra finalidad es proporcionar a los diversos actores relacionados con el tema, la información básica que puede ser de utilidad ya sea a navegantes, científicos, técnicos, gestores y estudiantes. Proveemos un conocimiento actualizado hasta la fecha de los estudios de las corrientes de mareas frente a las costas de Punta del Este. Esta información deberá ser tomada como una herramienta más a aplicar en conjunto con información de monitoreo, para así contribuir a la comprensión de las corrientes generadas por la marea lo más eficazmente que sea posible.

Su uso, podrá ser de utilidad para aquellos navegantes que utilicen esta información para la navegación costera.

En esta Publicación se indican valores de las corrientes de mareas referidos a la pleamar en el puerto de Punta del Este. Los cálculos fueron realizados con datos tomados entre los años 2013 y 2015 por este Servicio.

El trabajo de cálculo, su recopilación, armado y edición, ha sido realizado por el Magister José Eduardo Verocai, perteneciente a la División Física del Departamento de Oceanografía.

La lectura crítica ha sido realizada por el Oficial Adjunto al Departamento de Oceanografía AN (CG) Victoria Yang Rouco.

Capitán de Navío (CG)



JOSÉ DOMINGUEZ

Jefe del Servicio de Oceanografía, Hidrografía  
y Meteorología de la Armada

Setiembre, 2021



# ÍNDICE

1. Eventos extremos	
1.1 Definición de los eventos extremos en este estudio.....	Pág. 5
1.2 La marea en el Uruguay, conceptos y definiciones.....	Pág. 6
1.3 Ondas de tormenta.....	Pág. 9
2. Evento extremo de Junio de 2000	
2.1 Introducción.....	Pág. 10
2.2 Análisis mareológico.....	Pág. 10
2.3 Análisis de los retardos.....	Pág. 13
2.3.1 La Paloma-Montevideo.....	Pág. 13
2.3.2 Punta del Este-Montevideo.....	Pág. 13
2.3.3 Montevideo-Colonia.....	Pág. 14
2.4 Análisis de los caudales.....	Pág. 15
2.5 Conclusiones.....	Pág. 15
3. Evento extremo de Enero de 2005	
3.1 Introducción.....	Pág. 16
3.2 Análisis mareológico.....	Pág. 17
3.3 Análisis de los retardos.....	Pág. 19
3.4 Análisis de los caudales.....	Pág. 19
3.5 Conclusiones.....	Pág. 20
4. Evento extremo de Agosto de 2005	
4.1 Introducción.....	Pág. 21
4.2 Análisis mareológico.....	Pág. 22
4.3 Análisis de los retardos.....	Pág. 25
4.4 Análisis de los caudales.....	Pág. 26
4.5 Conclusiones.....	Pág. 26
5. Evento extremo de Marzo de 1998	
5.1 Introducción.....	Pág. 27
5.2 Análisis mareológico.....	Pág. 27
5.3 Análisis de los retardos.....	Pág. 30
5.4 Análisis de los caudales.....	Pág. 30
6. Evento extremo de Febrero de 1993	
6.1 Introducción.....	Pág. 32
6.2 Análisis mareológico.....	Pág. 33
6.3 Análisis de los retardos.....	Pág. 36
6.4 Análisis de los caudales.....	Pág. 37
7. Bibliografía.....	Pág. 38



# 1. Eventos extremos

El clima de un área geográfica se caracteriza por una cierta probabilidad de distribución de ocurrencia de eventos del tiempo. Es poco probable que ocurran, aquellos eventos con valores alejados de la media (olas de calor, sequía e inundaciones), estos eventos que estadísticamente son menos probables que ocurran son llamados “eventos extremos”.

Un evento extremo meteorológico es un evento inusual en un lugar en particular y en una determinada época del año. La definición de lo que puede considerarse raro puede variar, pero a un evento extremo meteorológico se lo puede considerar raro cuando se encuentra por encima o por debajo del percentil 90 ó 10 de la función de probabilidad observada, siendo estos eventos característicos en cada lugar. (IPCC, 2001a).

Los efectos producidos por estos eventos se pueden clasificar en nuestro caso en cuatro grandes grupos:

- Daños sobre la población.
- Daños en los bienes inmobiliarios.
- Daños en los bienes expuestos y sobre el patrimonio.
- Daños en sector productivo.

Los daños sobre la población se relacionan a los daños causados directamente sobre la vida misma de las personas, muertes, accidentes de tránsito, evacuados, realojados y otro tipo de lesiones.

Los daños en los bienes inmobiliarios se refieren a casos de casas cubiertas por el agua, voladura de techos, derrumbe de fincas en mal estado, derrumbe por caída de árboles y otros. La parte inmobiliaria y la infraestructura de las distintas localidades, es un factor relevante si se tiene en cuenta que las poblaciones afectadas serían, desde las más vulnerables en relación a las condiciones de vida, hasta las poblaciones menos vulnerables en ese aspecto y con mejores situaciones económicas y sociales que les permitiría responder de forma diferencial a una determinada catástrofe.

Al considerar los bienes expuestos y el patrimonio, nos referimos a oficinas públicas y de seguridad social, centros de salud, centros educativos, áreas de transporte y circulación, industrias y áreas recreativas. En esta categoría entran los daños causados a los sistemas de alumbrado público, agua potable, comunicación, cortes de rutas y calles, patrimonio cultural y ambiental.

Los daños al sector productivo, están relacionados al uso del suelo en las distintas zonas, donde el efecto puede tener consecuencias beneficiosas para un sector pero no para otro, el sector granjero puede sufrir daños en los cultivos y en el rendimiento de las cosechas y el sector ganadero puede ser beneficiado por la presencia de lluvias que mejoren las pasturas.

## 1.1 Definición de los eventos extremos en este estudio.

El criterio de selección de los eventos fueron las cotas extraordinarias (sobre el cero hidrométrico ex Wharton) alcanzadas por el nivel del mar frente a las costas de nuestro país. El evento del 23 y 24 de Agosto de 2005 fue seleccionado particularmente, no solo porque las aguas alcanzaron los 300 cm sobre el cero en Montevideo, sino por la velocidad y la fuerza con que se produjo el aumento del nivel del mar en casi toda la costa.

El evento del 31 de Enero y 1 de Febrero de 2005 fue seleccionado porque en este caso las aguas alcanzaron un máximo de 321 cm sobre el cero en Montevideo, causando verdaderas

inundaciones (playa de contenedores) con grandes pérdidas económicas asociadas. El 15 y 16 de Junio del año 2000 se seleccionó para su análisis porque en Colonia y Montevideo las alturas sobre el cero alcanzaron los 290 cm.

El evento del 24 al 26 de Marzo de 1998 se seleccionó no solo porque las aguas alcanzaron un máximo de 300 cm sobre el cero, sino por la duración de la crecida (3 días). El último evento seleccionado fue el del 7 y 8 de Febrero de 1993. En este caso los niveles de las aguas llegaron en 2 oportunidades a 300 cm sobre el cero en Montevideo y a 400 cm en Colonia, lugar donde se hizo sentir la crecida con mas fuerza.

## 1.2 La marea en el Uruguay conceptos y definiciones.

La marea es el ascenso y descenso periódico del nivel del mar, provocado por las acciones de la Luna y el Sol, en combinación con los movimientos propios de la Tierra; ninguna otra causa interviene en su formación. De acuerdo a las diferentes posiciones que ocupan los astros encontramos que la atracción ejercida sobre la Tierra no es la misma. Las mareas están determinadas por la forma, el tamaño y la profundidad de los océanos, además de la forma de la costa lo cual determina su amplitud. La pleamar (o marea alta) y la bajamar (o marea baja) se alternan y presentan diferencias de intensidad según las formas continentales (Defant, 1961; Lanfredi et al, 1979; Mellor, 1996).

En el transcurso de un año la posición del Sol vista desde la Tierra se mueve hacia el Norte y el Sur. Los solsticios son los dos puntos de la esfera celeste en la que el Sol alcanza su máxima declinación Norte ( $+23^{\circ} 27'$ ) y su máxima declinación Sur ( $-23^{\circ} 27'$ ) con respecto al ecuador celeste.

**PERIHELIO:** es el punto en el cual un objeto celeste que gira alrededor del Sol se encuentra a la mínima distancia de él.

**AFELIO:** es el punto más alejado de la órbita de un planeta alrededor del Sol. Es el opuesto al perihelio.

**PERIGEO:** es el punto de la órbita elíptica que recorre un cuerpo (natural o artificial) alrededor de la Tierra, en el cual dicho cuerpo se halla más cerca del centro de la misma. La Luna, por ejemplo, cuya órbita tiene una excentricidad de 0,0549. En el perigeo hay una distancia a la Tierra de 356.410 km, y en el apogeo de 406.740 km.

**APOGEO:** del griego *απο* (lejos de) y *geo* (tierra) es el punto en una órbita elíptica alrededor de la Tierra, en el que un cuerpo se encuentra más alejado del centro de ésta (Fig. 1).

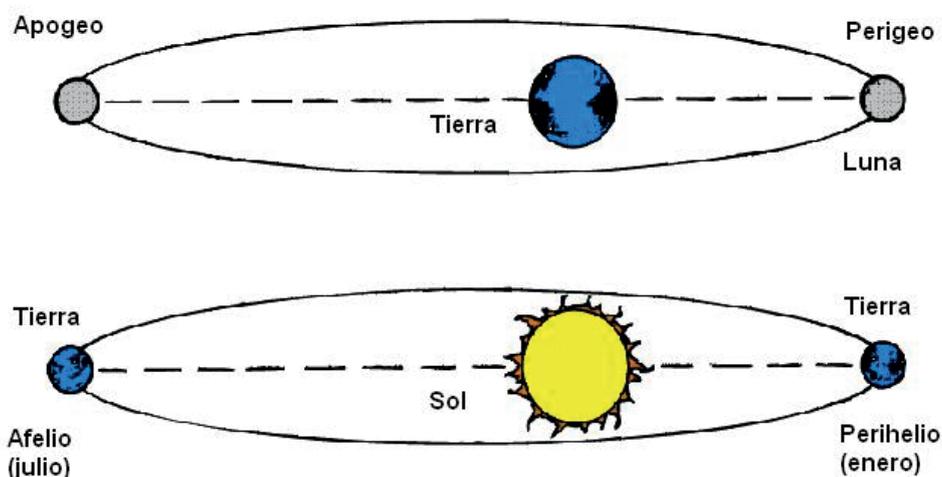


Figura 1. Esquema mostrando la Luna en Perigeo y Apogeo; y la Tierra en posiciones notables con respecto al Sol (Afelio y Perihelio).

En el período de aproximadamente 30 días la Luna pasa por diferentes fases. Se llaman fases a los distintos aspectos que presenta la superficie iluminada de la Luna frente a la Tierra. Ello depende de las diferentes posiciones que nuestro satélite va ocupando en su órbita con respecto a la línea Sol – Tierra (Fig. 2). Este tipo de posiciones da lugar a diferentes fuerzas de atracción entre los astros que, como se mencionó anteriormente, da origen a las mareas (Thurman, 1994; Ross, 1995).

LUNA NUEVA	Conjunción	Sol – Luna – Tierra
CUARTO CRECIENTE	Cuadratura	Luna a 90° de línea: Tierra – Sol
LUNA LLENA	Oposición	Sol – Tierra – Luna
CUARTO MENGUANTE	Cuadratura	Luna a 270° de línea: Tierra – Sol



Figura 2. Esquema representando la Luna, el Sol y la Tierra en las dos posibles posiciones que generan las pleamares más elevadas (mareas de sicigias). El color oscuro alrededor de la tierra representa el sentido de la deformación de las aguas.

Las mareas se manifiestan de distinta manera en diferentes lugares del mundo, no sólo porque tienen mayores o menores diferencias de amplitud entre las pleamares y las bajamares, sino también porque también cambia su periodicidad. En la mayor parte de las costas del Océano Atlántico en un día hay dos pleamares y dos bajamares (semidiurnas o mixtas); pero en otros lugares la periodicidad es distinta (Fig. 3), (Mellor, 1996).

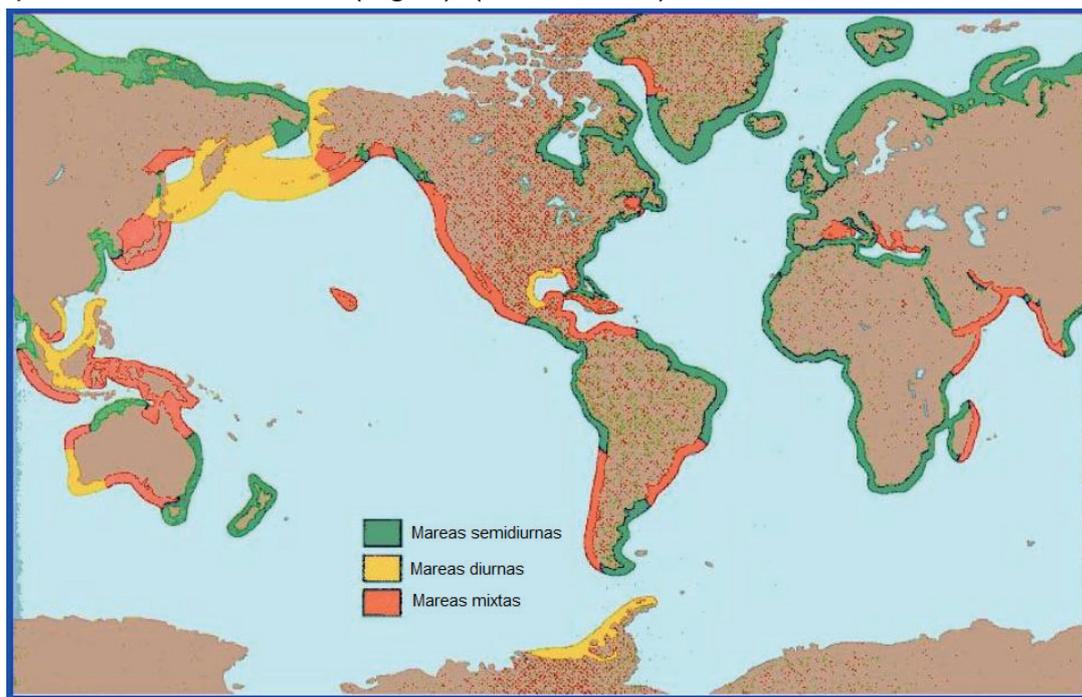


Figura 3. Esquema representando el tipo de mareas que se pueden encontrar en las diferentes costas del planeta.

En la costa uruguaya el régimen mareológico es mixto (de carácter semidiurno, con desigualdades diurnas), regido fundamentalmente por la componente semidiurna lunar principal M2 (contiene más del 80% de la energía total de la marea) con influencia parcial de otras componentes (N2 y O1). N2 es la componente lunar elíptica mayor semidiurna y la componente O1 es la componente lunar diurna, que pauta el rango de desigualdades diurnas como se observa en la predicción astronómica del 1 al 20 de Enero del año 2010 para el Puerto de Montevideo (Fig. 4), (Framiñan, et al., 1999).

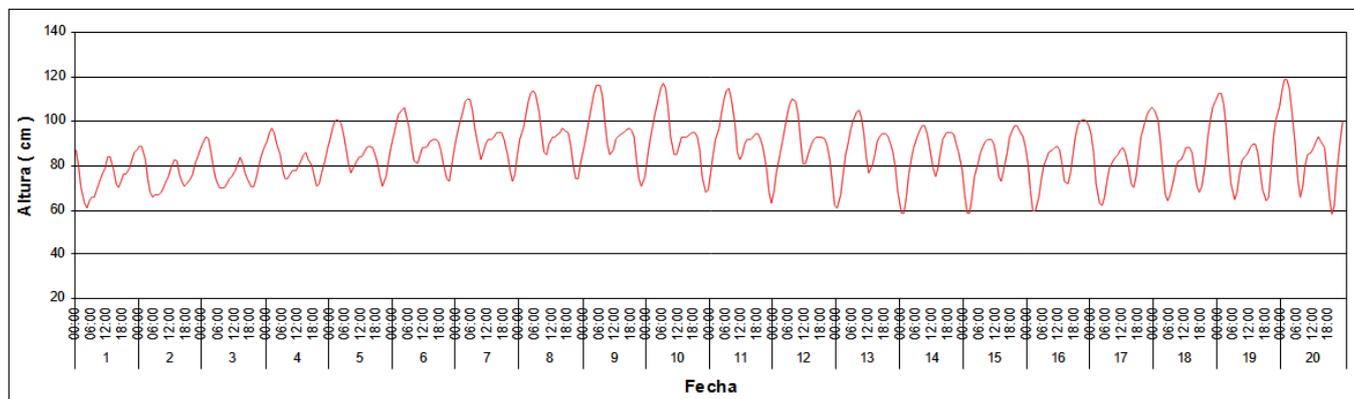


Figura 4. Altura de las aguas predichas para la zona de Montevideo para los días 1 al 20 de Enero del año 2010. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

El fenómeno proviene desde el mar, dirigiéndose hacia el interior del Río de la Plata. En el recorrido, la onda de marea sufre deformaciones producto de la fuerza de coriolis, disminución de la profundidad, procesos de adaptación a la configuración geográfica (bancos, cuencas erosivas y canales) y disminución de la sección transversal, hasta la zona de Montevideo, donde se presenta otro abrupto estrechamiento del río. Como consecuencia de estos fenómenos se produce un aumento en las isoamplitudes de las principales componentes armónicas (Fig. 5).

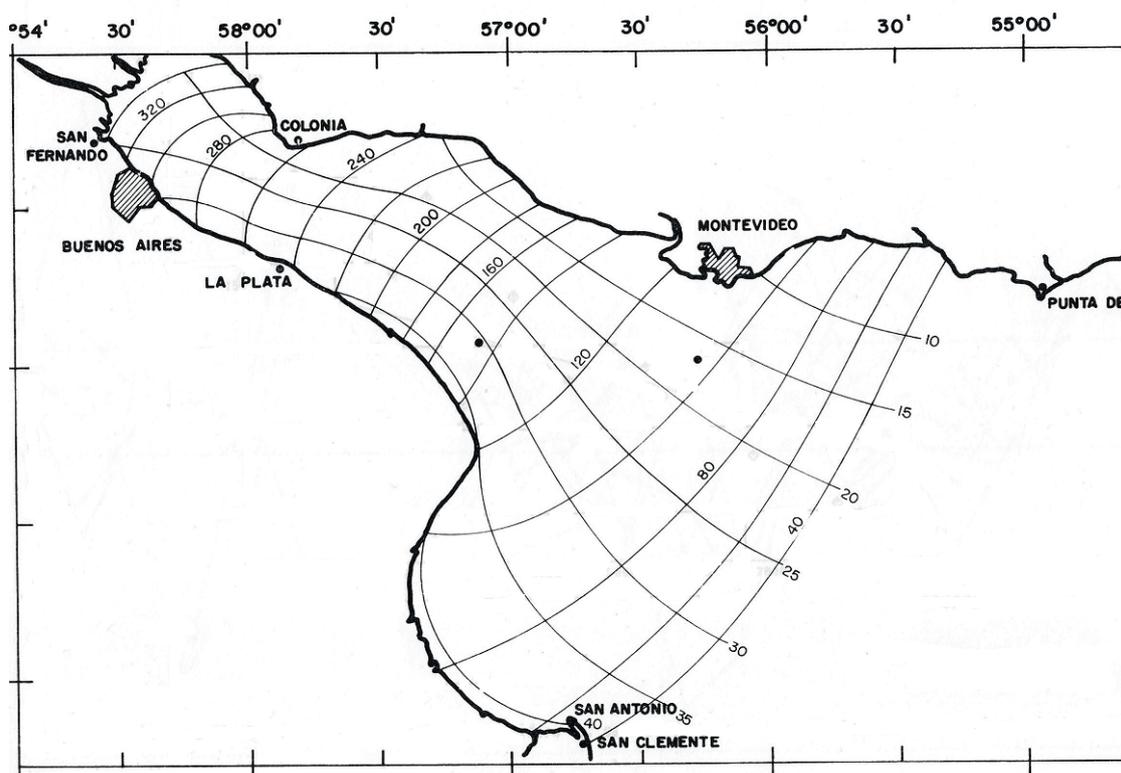


Figura 5. Isoamplitudes y Cotidales de la componente semidiurna lunar principal M2, en el Río de la Plata (tomada de CARP, 1989).

La onda de marea oceánica que proviene del Sudeste, al llegar a la altura de Punta Piedras sufre deformaciones por la discriminación del fondo del estuario y por el empuje de las aguas del Río de la Plata que hacen disminuir su velocidad. No obstante, esta onda de marea (del SE) se propaga en el estuario y se une con la onda que proviene del Noreste, que bordea la costa uruguaya. La onda del SE al girar sobre Punta Piedras entra al estuario y se encauza por el canal Punta Indio, bordeando el Banco Ortiz para cubrir todo el estuario, pero duplicando su amplitud sobre la costa argentina con respecto a la uruguaya (CARP, 1989; D’Onofrio, et al., 1999).

### 1.3 Ondas de tormenta.

El término “ondas de tormenta” se refiere a la subida de agua asociada con la tormenta, además de las mareas, olas de ejecución en marcha, y las inundaciones de agua dulce. Son causadas principalmente por los fuertes vientos empujando la superficie del océano. El viento hace que el agua se acumule más alto que el nivel normal del mar.

Cuando se trata de representar áreas reducidas, con relativamente escasa masa de agua, las fuerzas astronómicas tienen un efecto despreciable frente a la dinámica de propagación, con las perturbaciones ocasionadas por las variaciones de la batimetría y los efectos del borde de la cuenca. Esta masa es mucho menor si, además, estamos tratando áreas relativamente poco profundas, como por ejemplo, una plataforma continental.

Las ondas de tormenta duran típicamente desde unas pocas horas hasta dos o tres días. El intercambio de impulso del agua con la atmósfera se produce a través del gradiente horizontal de la presión y de la tensión del viento en superficie. La presión provoca oscilaciones mediante el efecto llamado de barómetro invertido, que es independiente de la profundidad del agua. En cambio, la influencia del viento es inversamente proporcional a la profundidad. Por esto, en aguas muy poco profundas, es de esperar que predomine el efecto del viento, mientras que en aguas más profundas el efecto de las variaciones de presión puede ser dominante.

Centrándose en el aumento del nivel del agua, Boon (2004) resume los factores que generan y modifican la onda de tormenta como:

*“El aumento del nivel del mar es generado por las dos componentes de la tensión del viento sobre la superficie del agua. Una componente se debe al viento que sopla perpendicularmente y hacia la costa, en la que la pendiente de la superficie es directamente proporcional a la tensión del viento e inversamente proporcional a la profundidad. La otra componente es el efecto del viento que sopla paralelamente a la costa, que genera una corriente en el mismo sentido. Otro efecto es la modificación producida por la configuración de la costa y la batimetría, como convergencia o divergencia en bahías.”*

La coincidencia de altas (y aún moderadas) pleamares con grandes ondas de tormenta inducidas atmosféricamente, han causado catastróficas inundaciones en muchas áreas costeras, amenazando y cobrando vidas humanas y produciendo grandes daños económicos y materiales.

Las ondas de tormenta en el Río de la Plata obedecen a dos factores fundamentales. Ondas de plataforma e influencia meteorológica local (fundamentalmente el viento), llamadas comúnmente sudestadas. Las sudestadas en el Río de la Plata son un fenómeno climático – hidrológico. Desde el punto de vista de la circulación atmosférica que las acompañan constituyen una anomalía importante respecto a los campos medios, produciendo vientos de componente Este – Sudeste con la consecuente obstrucción de la libre descarga del Río de la Plata (Balay, 1961; D’Onofrio et. al., 1999).

## 2. Evento extremo de Junio de 2000

### 2.1. Introducción

Entre los días 15 al 17 de Junio de 2000 se produjo un fuerte cambio de tiempo y elevación del nivel del mar, en la costa Sur del país, asociado al pasaje de un frente frío provocando tormentas y lluvias, una posterior rotación del viento al Suroeste el día 16 de Junio y la presencia de ráfagas de viento de hasta 30 nudos en la zona de Montevideo.

Para este evento hay registro de pérdida de cuatro vidas humanas, estos eran pescadores artesanales de la comunidad de Pajas Blancas. Según el diario "El Observador" hubo casas inundadas y calles convertidas en ríos en Montevideo, se sumó a esto el problema que generó la basura en las calles que no había sido recogida, causó una obstrucción de las bocas de tormentas, agravando la situación de inundación (BPL, 2009).

### 2.2. Análisis mareológico.

Desde el punto de vista del nivel del mar, este evento impactó la costa uruguaya alcanzando la cota de 295 cm sobre el cero hidrométrico (ex Wharton) en Colonia, lugar donde las alturas registradas fueron máximas. Astronómicamente en el año 2000 hubo solo una posición notable de los astros que hicieran elevar las alturas de las pleamares al nivel de extraordinarias en el período en que ocurrió el evento. El 16 de Junio se estaba en sicigia.

Luna nueva Sicigias 2 de Junio	Luna llena Sicigias 16 de Junio	Cuarto creciente 9 de Junio	Cuarto menguante 24 de Junio
-----------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	---------------------------------

La Luna en sicigia para ese período indicaba que las pleamares en los 4 puertos analizados serían importantes, sin embargo en La Paloma las alturas predichas fueron mayores que para los otros 3 puertos.

Para el Puerto de Colonia las pleamares extraordinarias predichas no superaron la cota de los 100 cm si bien fueron aumentando desde el 16 hasta el 19 de Junio. Observando los datos registrados (Fig. 6) a partir del 14 de Junio y hasta el 19 del mismo mes, las alturas de las aguas se elevan por sobre la predicha hasta 3 veces su valor, llegando a tener un registro de 300 cm sobre el cero el día 16 a las 03:00 horas. A la hora 20:00 del día 15 y a la hora 08:00 del día 16 se producen las pleamares pronosticadas; sin embargo los registros evidencian una sola pleamar que se manifiesta desde la noche del 15 hasta la mañana del 16. También se observa para este puerto que la bajamar pronosticada para la hora 01:00 no se manifiesta en los datos reales, por lo cual el fenómeno meteorológico que haya ocurrido fue lo suficientemente fuerte como para enmascararla.

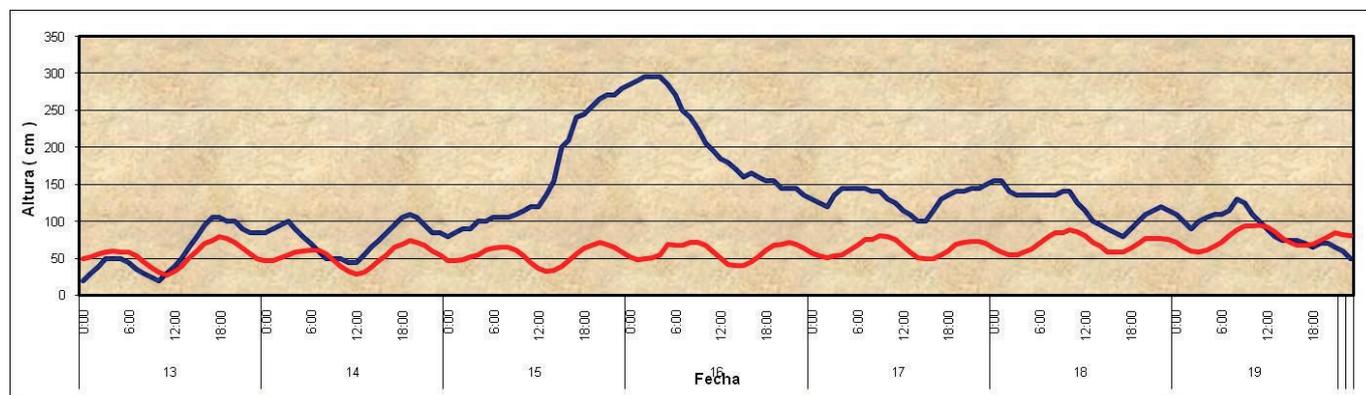


Figura 6. Altura de las aguas frente al Puerto de Colonia predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 13 al 19 de Junio del año 2000. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Para el Puerto de Montevideo y para los días 18 y 19 de Junio las pleamares extraordinarias predichas astronómicamente se acercaron a los 110 cm sobre el cero. Desde el 13 de Junio los niveles registrados comenzaron a superar a los predichos, tanto que la bajamar pronosticada de la hora 15:00 fue totalmente desapercibida. Los registros observados continuaron superando a los pronosticados las siguientes horas con la curiosidad de que el día 14 de Junio si fueron coincidentes las horas de las pleamares y bajamares pronosticadas con el registro observado. Para este evento se observo un máximo puntual alcanzando los 273 cm. A partir del día 16 es de destacar que las alturas observadas fueron en todo momento superiores a las pronosticadas (Fig. 7).

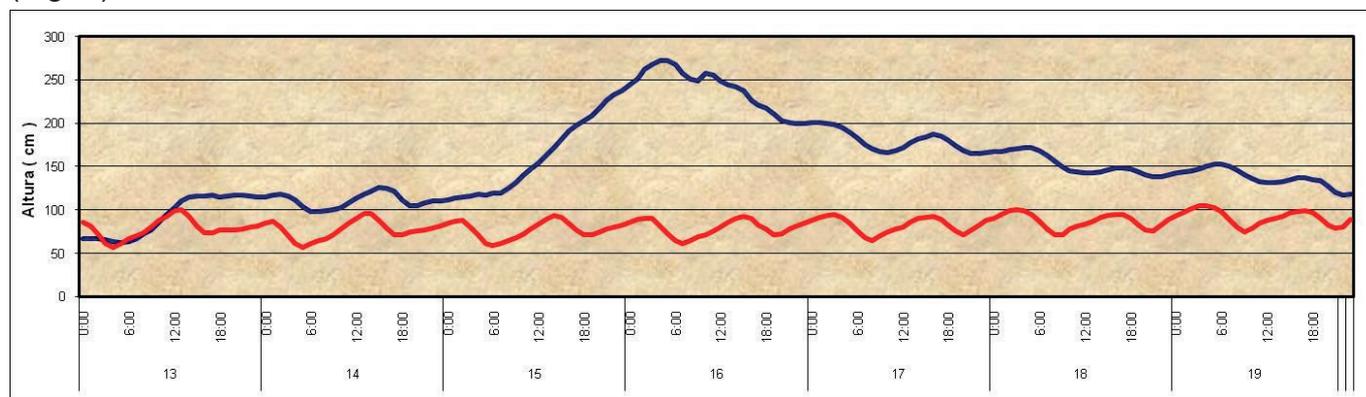


Figura 7. Altura de las aguas frente al Puerto de Montevideo predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 13 al 19 de Junio del año 2000. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

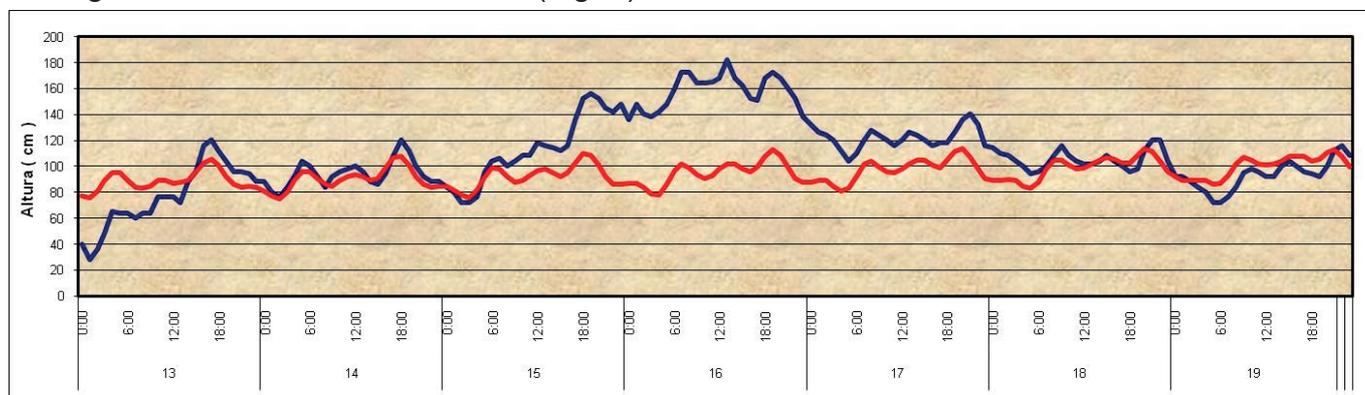
Para Punta del Este las pleamares pronosticadas no superaron en ningún de los días analizados la cota de los 100 cm sobre el cero. El día 13 a la hora 10:00 las alturas registradas comenzaron a superar a las predichas. Durante el día 14 las horas que corresponderían a las bajamares y pleamares predichas coinciden con las horas de registro de las observadas. Ya para el día 15 y 16 los registros de alturas de las aguas no presentan una periodicidad reconocible por lo que las pleamares y bajamares predichas no se corresponden con lo observado (Fig. 8). Las alturas registradas superaron por poco los 200 cm. Los días siguientes al evento (18 y 19 de Junio) se registraron descensos regulares y continuos de las aguas pero no bajaron tanto como para alcanzar los valores predichos para la fecha. Sin embargo las pleamares extraordinarias observadas para el 17, 18 y 19 coincidieron con las pronosticadas en tiempo, no así en magnitud.



Figura 8. Altura de las aguas frente al Puerto de Punta del Este predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 13 al 19 de Junio del año 2000. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

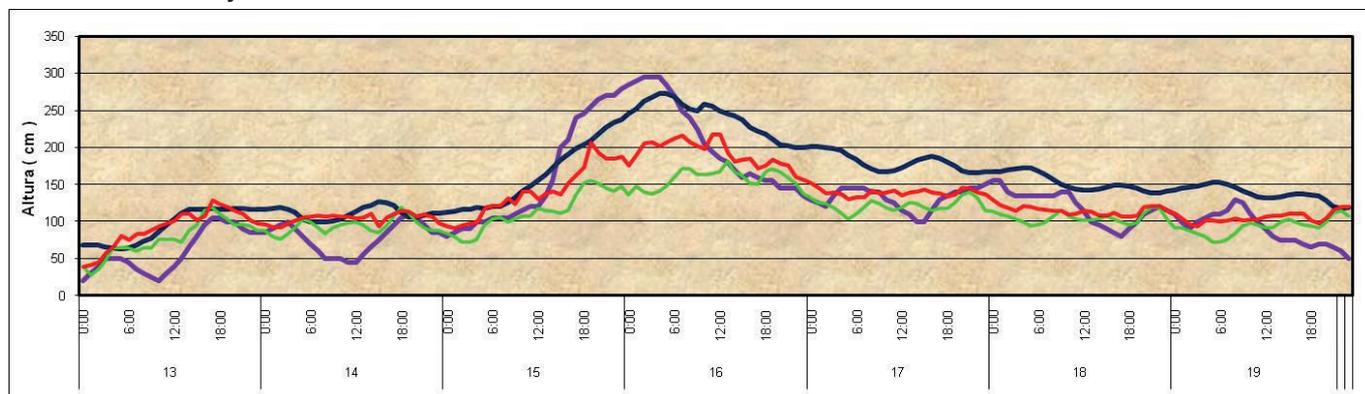
Para La Paloma las mayores pleamares predichas fueron para el día 18 y 19 de Junio casi alcanzando la cota de los 120 cm. En este evento las pleamares y bajamares registradas coinciden con las predichas hasta el día 15 a la hora 06:00 en que la curva observada de altura de

las aguas comienza a desfasarse de la predicha. No ocurre lo mismo con las horas en las cuales se registran las pleamares y bajamares; ya que la correspondencia entre las horas de pleamar y bajar predicha con la observada en este puerto es muy alta. Los niveles máximos alcanzados por el evento superaron los 180 cm. Es notorio como las pleamares y las bajamares pronosticadas para todo el período analizado coinciden en el tiempo con los registros observados. Luego del evento la coincidencia entre los niveles predichos y los observados también se manifiesta en la magnitud de las cotas alcanzadas (Fig. 9).



*Figura 9. Altura de las aguas frente al Puerto de La Paloma predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 13 al 19 de Junio del año 2000. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).*

Si se consideran solamente los niveles alcanzados por las aguas en los 4 puntos de la costa uruguaya estudiados, y sin tener en cuenta el retardo de las pleamares en recorrer la distancia desde La Paloma hasta Montevideo (Fig. 10), se evidencia que los niveles alcanzados en Colonia nuevamente fueron los más elevados seguidos de los niveles alcanzados en Montevideo, Punta del Este y La Paloma.



*Figura 10. Altura de las aguas registradas frente a los Puertos de La Paloma (línea verde), Punta del Este (línea roja), Montevideo (línea azul) y Colonia (línea violeta) para los días 13 al 19 de Junio del año 2000. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).*

Observando ahora las diferencias (Fig.11) entre las alturas registradas en Montevideo y La Paloma sin tener en cuenta el retardo que se existe en la onda de mareas; desde el día 15 de Junio y hasta el 19 del mismo mes, una diferencia positiva a favor de Montevideo que llega a veces a alcanzar un máximo de 131 cm sobre el cero.

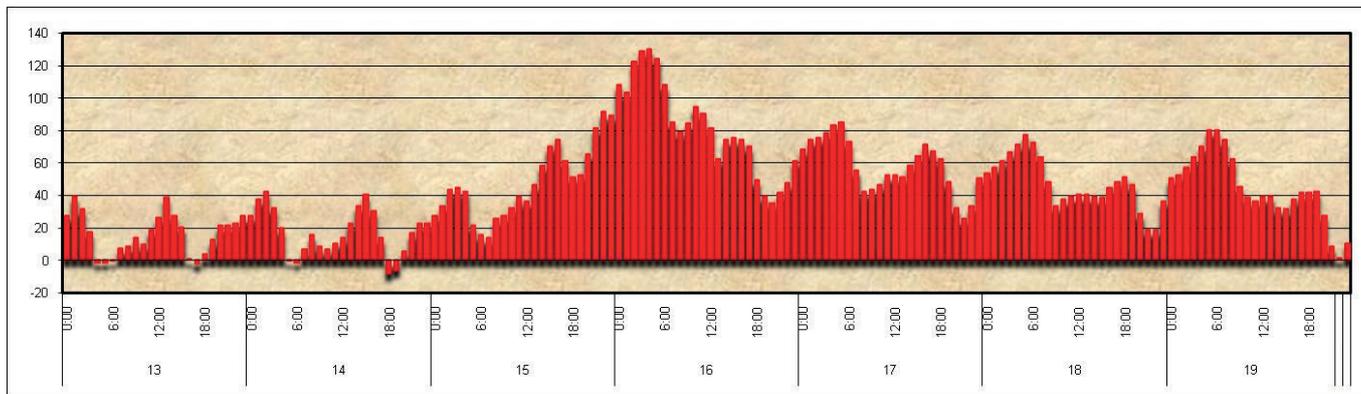


Figura 11. Diferencias de la altura de las aguas observadas entre La Paloma y Montevideo sin tener en cuenta el retardo de marea que existe entre ambos puertos; para los días 21 al 27 de Agosto del año 2005. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

### 2.3. Análisis de los retardos.

Como se mencionó en la introducción, la onda de marea que proviene del océano, ingresa en el Río de la Plata recorriendo la costa uruguaya de Este a Oeste. En ese trayecto, una pleamar, por ejemplo, (nivel máximo alcanzado por las aguas) se registra primero en La Paloma, para luego verificarse en Punta del Este, Montevideo y por último en Colonia. Estos retardos se calcularon con datos reales tomando como referencia en Puerto de Montevideo.

#### 2.3.1. La Paloma – Montevideo

Se calcularon las correlaciones entre los niveles de mareas para 12:30 pares de datos comenzando con los datos observados a la misma hora (diferencia 0 hora, 0 minutos). Se fueron desfasando las dos series de datos cada 15 minutos, tomando como pre-establecido (CARP, 1989) que la onda de marea que llega desde el océano, primero impacta la costa de La Paloma y después la de Montevideo. Se observó que las correlaciones (Fig. 12) fueron aumentando hasta llegar a un máximo a las 05 horas 00 minutos y luego comenzaron a disminuir progresivamente.

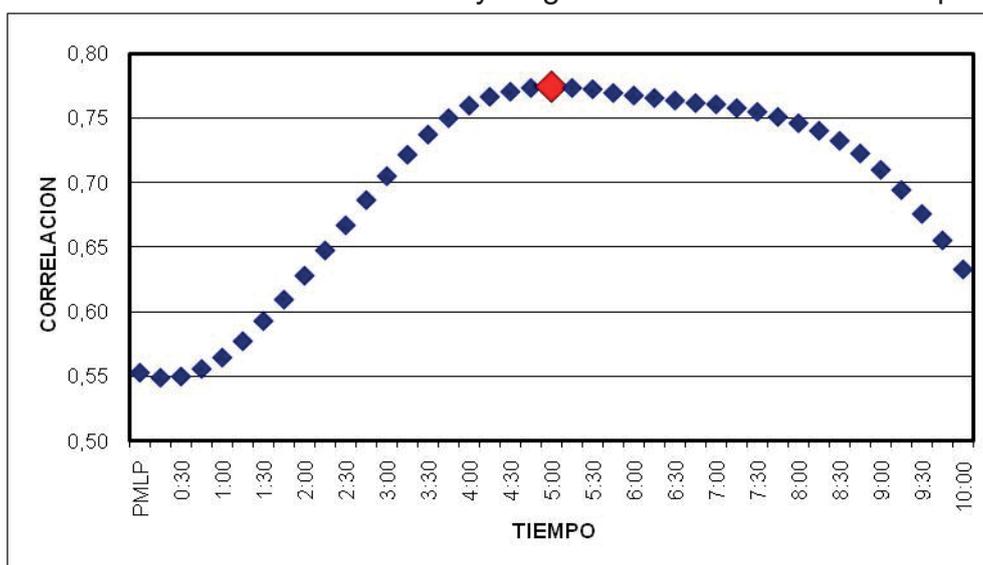


Figura 12. Correlaciones calculadas entre las alturas de las aguas observadas frente al Puerto de Montevideo y La Paloma (PMLP= pleamar en la paloma) hasta 10:horas 00 minutos tomando 12:30 pares de datos; el punto rojo indica la hora en que se produce la correlación máxima.

#### 2.3.2. Punta del Este – Montevideo

Se calcularon las correlaciones entre los niveles de mareas para 744 pares de datos co-

menzando con los datos observados a la misma hora (diferencia 0 hora, 0 minutos). Se fueron desfasando las dos series de datos cada 60 minutos, tomando como pre-establecido (CARP, 1989) que la onda de marea que llega desde el océano, primero impacta la costa de Punta del Este y después la de Montevideo. Se observó que las correlaciones (Fig. 13) fueron aumentando hasta llegar a un máximo a las 04 horas y luego comenzaron a disminuir progresivamente.

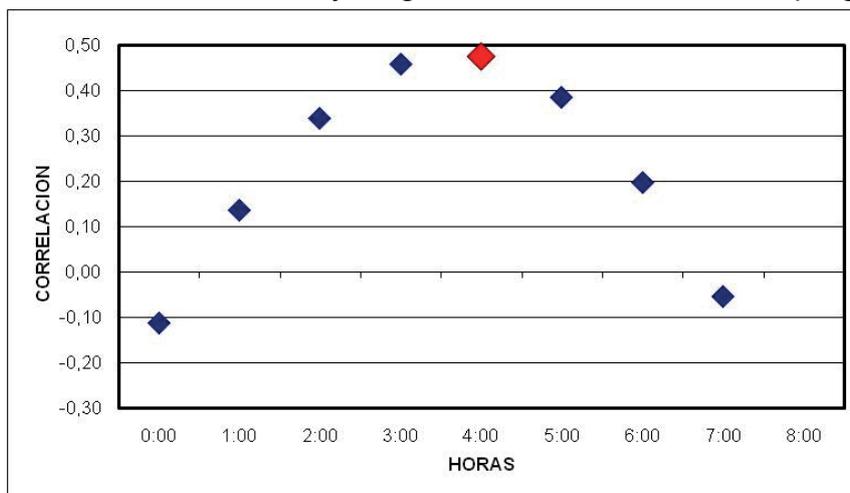


Figura 13. Correlaciones calculadas entre las alturas de las aguas observadas frente al Puerto de Montevideo y Punta del Este hasta 08:00 horas; el punto rojo indica la hora en que se produce la correlación máxima.

### 2.3.3. Montevideo – Colonia

Se calcularon las correlaciones entre los niveles de mareas para 744 pares de datos comenzando con los datos observados a la misma hora (diferencia 0 hora, 0 minutos). Se fueron desfasando las dos series de datos cada 60 minutos, tomando como pre-establecido (CARP, 1989) que la onda de marea que ingresa en el Río de la Plata, primero impacta la costa de Montevideo y después la de Colonia. Se observó que las correlaciones (Fig. 14) fueron aumentando hasta llegar a un máximo a las 05 horas y luego comenzaron a disminuir progresivamente.

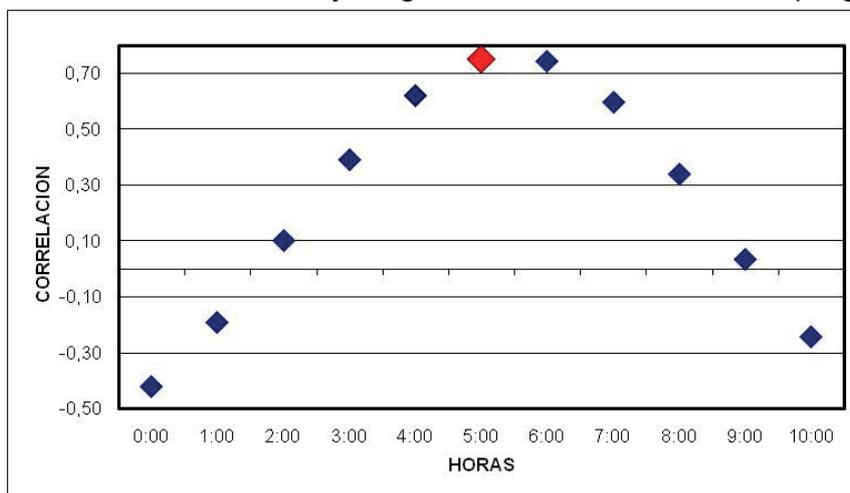


Figura 14. Correlaciones calculadas entre las alturas de las aguas observadas frente al Puerto de Montevideo y Colonia hasta 10:00 horas; el punto rojo indica la hora en que se produce la correlación máxima.

Para este evento la altura máxima del nivel del mar en Montevideo se registró el día 16 a las horas 04:00 y 05:00 habiendo un solo pico máximo; pero comenzando la elevación de las aguas por sobre las alturas predichas a la hora 10:00 del día 15. Para La Paloma se produjeron 3 o 4 picos que coincidieron con las pleamares pronosticadas y la elevación del nivel del mar por sobre predicciones comenzó a la misma hora que en Montevideo.

Para Punta del Este se produjo una sola crecida grande que comenzó a manifestarse a la

hora 06:00 del día 15 justo 4 horas antes de la manifestación del fenómeno en Montevideo.

Para Colonia se produjo una sola crecida grande que comenzó a manifestarse a la hora 15:00 del día 15, 3 horas después de la manifestación del fenómeno en Montevideo. Sin embargo el máximo nivel alcanzado por las aguas en Colonia se produjo entre las 02:00 y 04:00 del mismo día 16. Para este gran pico que alcanzó el nivel del mar, no hubo retardo con respecto a Montevideo.

## 2.4. Análisis de los caudales.

Observando el comportamiento de los caudales calculados para el Río de la Plata (Fig. 15) existe un leve incremento del caudal diario justo en el momento del pico máximo de la elevación del nivel del mar en todos los puertos de la costa uruguaya. El caudal fue de tal magnitud, que superó ampliamente el promedio mensual (Junio), el anual para el 2000, y el promedio de 45 años de observaciones. Si se observan ahora los niveles del mar registrados en Colonia, Montevideo y Punta del Este (Figs. 18, 19 y 20), en los días previos y posteriores al evento, los niveles se mantienen siempre por sobre los pronosticados aun cuando las pleamares y bajamares marcadas astronómicamente se cumplen en el horario pronosticado. Dando como resultado pleamares y bajamares con mayor nivel que el pronosticado astronómicamente.

Para La Paloma (Fig. 9) los niveles predichos astronómicamente no se encuentran tanto por debajo de los registrados. Probablemente pueda deberse a que en ese puerto los caudales ya no tengan tanta influencia.

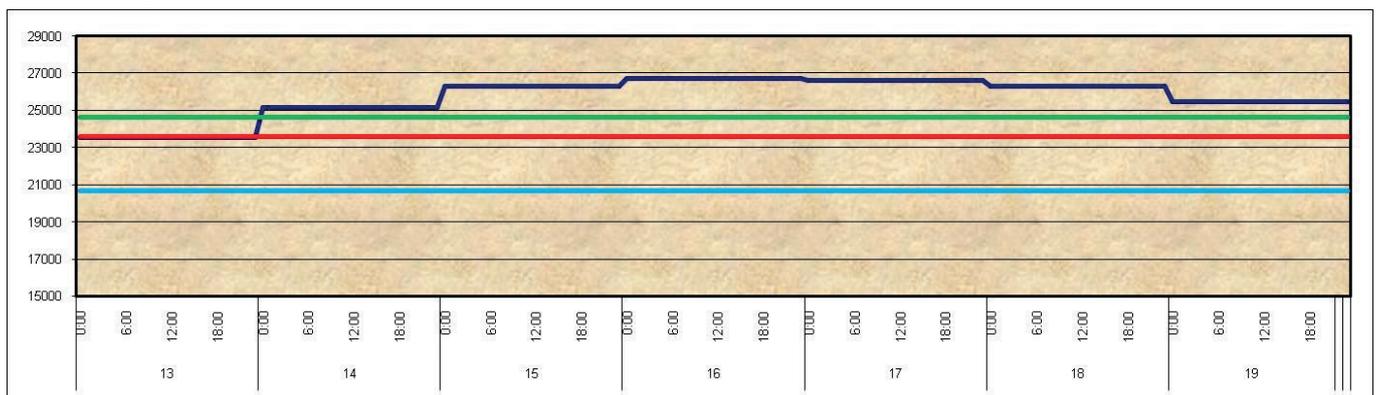


Figura 15. Caudales del Río de la Plata (azul=los días del evento extremo, rojo=promedio mensual de Junio 2000, celeste=promedio anual 2000 y verde=promedio tomado de 45 años) medidos en m<sup>3</sup>/s.

## 2.5. Conclusiones.

Para este evento no existió casi coincidencia mareológica como para realizar un seguimiento de la onda de tormenta (tomando como referencia Montevideo), las coincidencias de las pleamares extraordinarias observados no permiten la realización de un pronóstico acertado, solamente basados en la marea. En este evento Punta del Este aparece como el puerto más seguro en cuanto a predicciones del fenómeno extremo respecto a Montevideo.

Los caudales registrados para este evento y la diferencia entre los datos de mareas (fundamentalmente pleamares) pronosticados con los observados ponen de manifiesto que hubo en el mes del evento un aumento de los caudales por sobre el promedio anual y más aun, los caudales superaron el promedio de 45 años. Según lo encontrado por autores que investigaron este tipo de fenómenos en el Río de la Plata (Nagy, et. al., 1997; 2005, 2007 y 2008) encontraron que la variabilidad de la descarga fluvial (Río de la Plata) presenta una relación directa con las fluctuaciones del nivel del mar reforzando el riesgo de inundaciones de los ambientes costeros.

### 3. Evento extremo de Enero de 2005

#### 3.1 Introducción.

Entre los días 29 de Enero y 1 de Febrero de 2005 se produjo una fuerte sudestada. El proceso comenzó con el pasaje de un frente frío que el día 29 de Enero se encontraba al Sur de la provincia de Buenos Aires y se desplazó hacia el Noreste produciendo intensas precipitaciones. Asociada al mismo se generó una depresión al Norte de Buenos Aires que produjo un aumento de precipitaciones en dicha zona y vientos intensos predominantes del sector Sudeste que persistieron hasta el día 31, afectando principalmente ambas márgenes del Río de la Plata.

Para esta fecha es importante señalar varios factores que la hacen relevante desde el punto de vista de los daños generados. La mayor incidencia se constató en el área metropolitana de Colonia, San José, Canelones y Montevideo. La caída de los árboles y las intensas lluvias, causaron dificultades puntuales en el suministro de energía eléctrica en las zonas de Montevideo, y en Colonia se registraron cañerías rotas que afectaron el suministro de agua potable. Los bomberos realizaron 55 salidas por caída de árboles, zonas inundadas y calles cortadas.

Este temporal generó daños en el Hospital de Clínicas, Mausoleo de Artigas, se suspendieron festejos y otras actividades. En el campo las pérdidas fueron elevadas, varios cultivos fueron dañados. Los invernáculos, cultivos de soja, peras, duraznos y los viñedos también fueron dañados.

Al ser temporada de verano se estaba frente a un pico del flujo de gente por el recambio en la temporada. Más de 4.000 personas quedaron detenidas en los puertos, aeropuertos y distintas ciudades, generándose un clima de tensión y por momentos de caos. El puerto de Montevideo permaneció cerrado cinco horas y el de Colonia todo el día. El aeropuerto de Colonia vio interrumpida su actividad. Las zonas aledañas al aeropuerto de Carrasco, permanecieron inundadas dificultando el acceso al mismo.



En el Cerro se evacuaron cerca de 15 familias y en la Ciudad Vieja se desalojaron 3 familias, los barrios de Barros Blancos y Toledo quedaron totalmente bajo agua. En Colonia se registraron 69 personas que se autoevacuaron y en la localidad de Santiago Vázquez 30 personas fueron desalojadas por estar sus viviendas inundadas. Cabe destacar que en este evento se perdió una vida humana debido a la caída de un árbol, y se notifica la desaparición de otra persona, pasajera de un ómnibus que sufrió un accidente (fue arrastrado por la crecida del Arroyo Conchillas) (BPL, 2009).

#### 3.2. Análisis mareológico.

Desde el punto de vista del nivel del mar, este evento impactó la costa uruguaya alcanzando la cota de 321 cm sobre el cero hidrométrico (ex Wharton) en Montevideo, lugar donde las alturas registradas fueron máximas. Astronómicamente en el año 2005 no hubo una posición notable de los astros que hicieran elevar las alturas de las pleamares al nivel de extraordinarias en el período en que ocurrió el evento.

Luna nueva Sicigias 8 de Febrero	Luna llena Sicigias 25 de Enero	Cuarto creciente 17 de Enero	Cuarto menguante 2 de Febrero
-------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	----------------------------------

La Luna para ese período no se encontraba en ninguna de las posiciones notables que indiquen que las pleamares o bajamares producidas sean de carácter extraordinario.

Para el Puerto de Colonia las pleamares extraordinarias predichas no superaron la cota de los 100 cm tampoco se observó un aumento o disminución de las mismas. Observando los datos registrados (Fig. 16) a partir del 30 de Enero, las alturas de las aguas observadas se elevan por sobre la predicha llegando a tener un registro de 307 cm sobre el cero el día 31 a las 19:00 horas. La bajamar predicha del 31 a la mañana no se observó en los datos registrados, sin embargo la bajamar del 31 pronosticada para la hora 15:00 si se vió reflejada en los registros.

En este caso en el 2 de Febrero las dos pleamares pronosticadas se corresponden con los registros de los datos reales, aunque los niveles todavía se mantienen por sobre lo pronosticado. Ya para el 3 de Febrero las coincidencias entre los pronósticos y los registros son muy buenas.

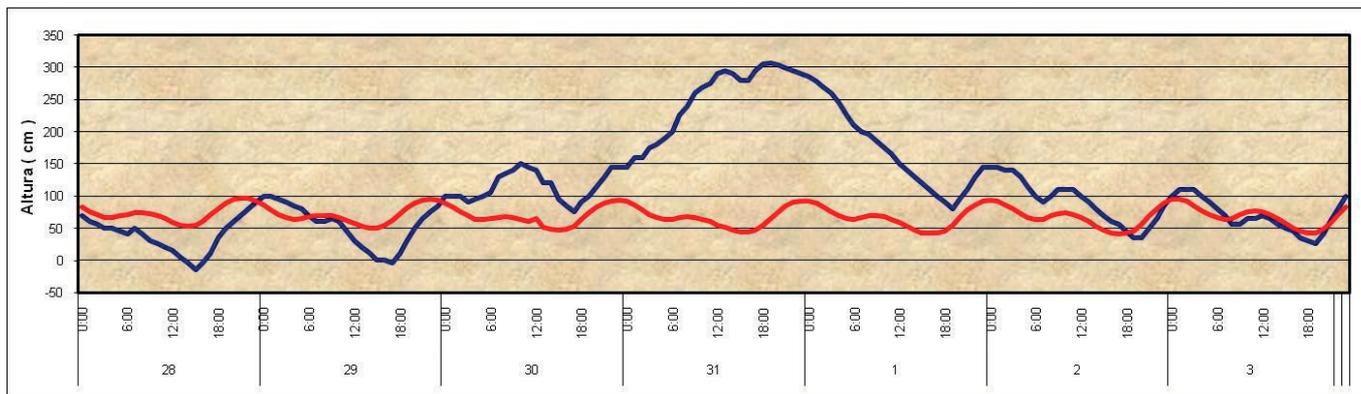


Figura 16. Altura de las aguas frente al Puerto de Colonia predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 28 al 31 de Enero y 1 al 3 de Febrero del año 2005. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Para el Puerto de Montevideo y para los días 28 al 31 de Enero las pleamares extraordinarias predichas astronómicamente sobrepasaron los 125 cm sobre el cero. Desde el 30 de Enero a la hora 11:00 los niveles registrados comenzaron a superar a los predichos sin embargo las bajamares del 30 y de las 11:00 horas del 31 de Enero se observaron en los registros como una pequeña pausa o inclusive retroceso en el continuo aumento de los niveles. Los registros observados continuaron superando a los pronosticados las siguientes horas alcanzando un máximo de 321 cm a las 18:00 del 31 de Enero. El mismo 1 de Febrero se registró un descenso (desde la hora 00:00 y hasta las 12:00) de más de 100 cm no observándose ningún indicador de la pleamar ordinaria pronosticada para la hora 03:00 (Fig. 17).



Figura 17. Altura de las aguas frente al Puerto de Montevideo predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 28 al 31 de Enero y 1 al 3 de Febrero del año 2005. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Para La Paloma las mayores pleamares predichas fueron para los días 1, 2 y 3 de Enero alcanzando la cota de los 105 cm. En este evento los registros observados fueron muy irregulares notándose una separación en las alturas registradas a partir del 30 de Enero a las 11:00 horas. Los niveles máximos alcanzados por el evento no superaron los 180 cm. Sin embargo a partir del 1 de Febrero las pleamares y las bajamares pronosticadas coinciden en el tiempo con los registros observados. Luego del 2 de Febrero a las 09:00 horas la coincidencia entre los niveles predichos y los observados también se manifiesta en la magnitud de las cotas alcanzadas (Fig. 18).

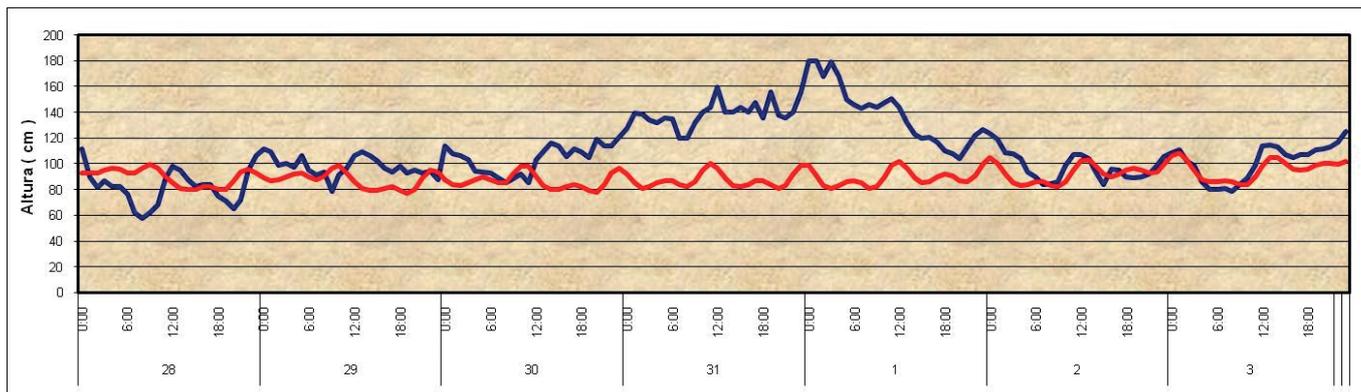


Figura 18. Altura de las aguas frente al Puerto de La Paloma predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 28 al 31 de Enero y 1 al 3 de Febrero del año 2005. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Observando para este evento, solamente los niveles alcanzados por las aguas en los 3 puntos de la costa uruguaya estudiados, y sin tener en cuenta el retardo de las pleamares en recorrer la distancia desde La Paloma hasta Montevideo (Fig. 19), se evidencia que los niveles alcanzados en Montevideo y Colonia nuevamente fueron los más elevados seguidos de los niveles alcanzados en La Paloma. Habiendo aumentado casi el doble en Montevideo y Colonia que en La Paloma.



Figura 19. Altura de las aguas registradas frente a los Puertos de La Paloma (línea verde), Montevideo (línea azul) y Colonia (línea violeta) para los días 28 de Enero al 3 de Febrero del año 2005. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Observando ahora las diferencias (Fig. 20) entre las alturas registradas en Montevideo y La Paloma sin tener en cuenta el retardo que se existe en la onda de mareas; desde el día 28 de Enero y hasta el 2 de Febrero, hay una diferencia positiva a favor de Montevideo que llegó a alcanzar un máximo de 185 cm sobre el cero.

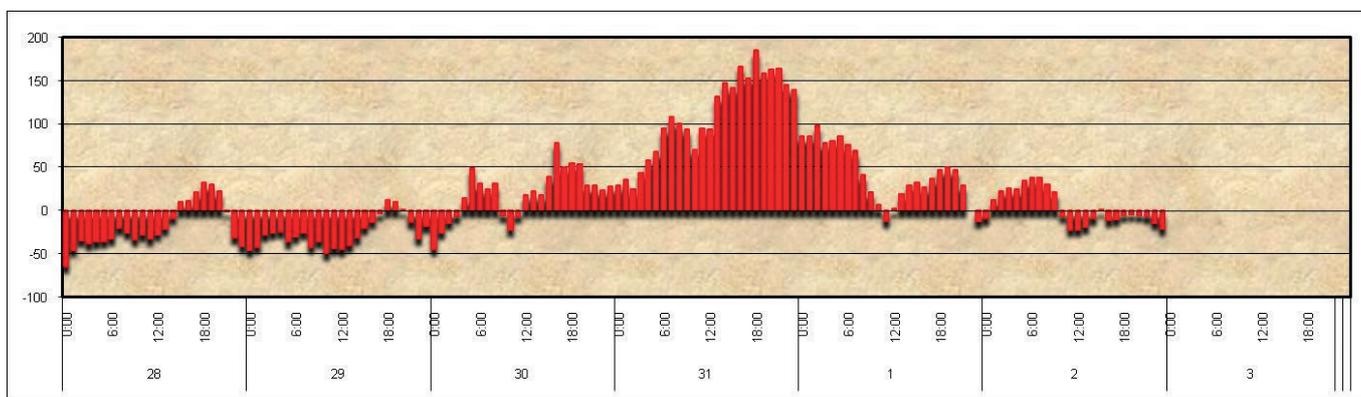


Figura 20. Diferencias de la altura de las aguas observadas entre La Paloma y Montevideo sin tener en cuenta el retardo de marea que existe entre ambos puertos; para los días 28 de Enero al 3 de Febrero del año 2005. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

### 3.3. Análisis de los retardos.

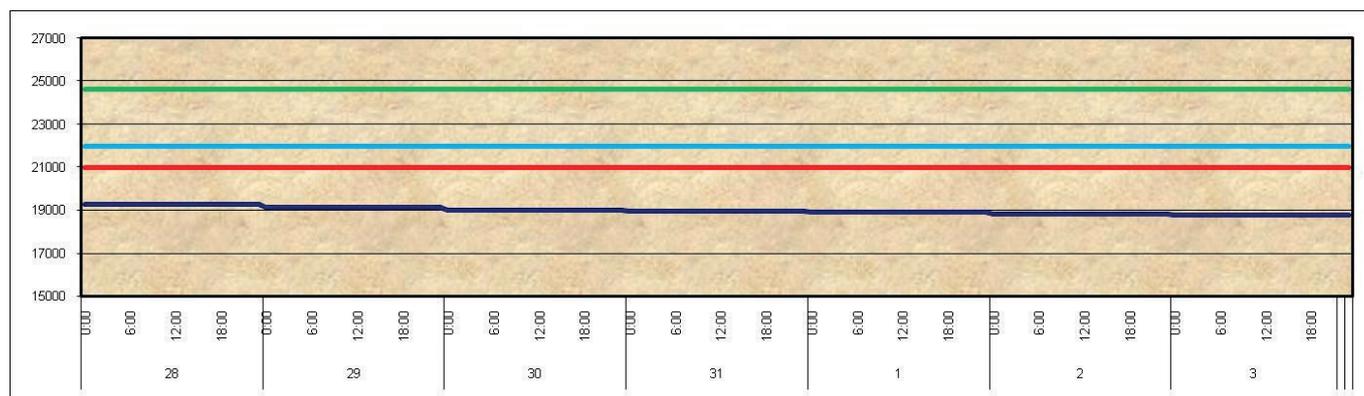
Para este evento la altura máxima del nivel del mar en Montevideo se registró el día 31 de Enero a las 18:00 horas habiéndose registrado un solo pico máximo (coincidiendo en el tiempo con la pleamar pronosticada); comenzando la elevación de las aguas por sobre las alturas predichas a la hora 12:00 del día 30. Para La Paloma se produjeron 3 ó 4 picos que coincidieron con las pleamars pronosticadas y la elevación del nivel del mar por sobre predicciones comenzó a la misma hora que en Montevideo. El pico de alturas máximo se registró a la hora 00:00 del 1 de Febrero. Por lo tanto para este evento, no se podría decir que los dos máximos registrados en cada puerto tengan una dependencia mareológica.

Para Colonia el nivel de las aguas comenzó a elevarse el mismo día pero a la hora 18:00 (6 horas después que en Montevideo). El pico de alturas máximo en Montevideo solo se desfasó 1 hora registrándose el máximo en Colonia a la hora 19:00 del 31 de Enero.

### 3.4. Análisis de los caudales.

Observando el comportamiento de los caudales calculados para el Río de la Plata (Fig. 21)

existe un leve descenso del caudal diario manifestándose desde el 28 de Enero hasta el 3 de Febrero; el promedio mensual registrado para ese año fue bastante mayor, así como también el anual del 2005. Todos estos caudales se encuentran muy por debajo del promedio calculado en base a 45 años de observación.



*Figura 21. Caudales del Río de la Plata (azul=los días del evento extremo, rojo=promedio mensual de Enero 2005, celeste=promedio anual 2005 y verde=promedio tomado de 45 años) medidos en m<sup>3</sup>/s.*

Tomando los caudales para la fecha del evento, este podría haber alcanzado magnitudes mayores y elevado más aun los niveles del mar si hubiesen estado por sobre los promedios mensual, anual e histórico. Este tipo de variables debería tenerse muy en cuenta a la hora de realizar los pronósticos de las ondas de tormentas para nuestro país.

### 3.5. Conclusiones.

En particular en éste evento extremo, se produjeron fuertes vientos del sector E durante los días previos al pasaje del frente frío y de la depresión atmosférica que ocurrió el día 31 de Enero. Posteriormente el ingreso de un anticiclón provocó la rotación de los vientos al sector Sur/Suroeste a partir del día 1 de Febrero de 2005. El extenso recorrido de los vientos sobre el Océano Atlántico produjo una fuerte elevación del nivel del mar en el Río de la Plata y en particular sobre la bahía de Montevideo. En La Paloma la elevación del nivel del mar no fue significativa, con lo que confirma el hecho de que la disminución de las profundidades y el estrechamiento del Río de la Plata, juegan un rol fundamental en el impacto de los aumentos del nivel del mar, considerando que los fenómenos climáticos afectan por igual la costa uruguaya.

Considerando que el nivel del mar frente a Montevideo ha ido en aumento en los últimos 100 años (Forbes, 2002) es un tema que debería preocupar y ser tenido en cuenta en el momento de prever nuevos eventos extremos para la costa uruguaya.

## 4. Evento extremo de Agosto de 2005

### 4.1. Introducción.

Entre los días 23 y 24 de Agosto de 2005 un violento sistema de tiempo afectó el Sur del Uruguay, en particular las costas de los departamentos sobre el Río de la Plata y Océano Atlántico: Colonia, San José, Montevideo, Canelones, Maldonado y Rocha. Este fenómeno con características de temporal fue producido por el pasaje de un sistema de baja presión o ciclón extratropical que se destacó por la intensidad de los vientos que alcanzó sobre las costas del Sur de nuestro país (ráfagas de más de 170 km/h) y la pérdida de vidas humanas y bienes materiales.

Este evento afectó a seis departamentos del sur del Uruguay: Colonia, San José, Montevideo, Canelones, Maldonado y Rocha. Los barrios más afectados en Montevideo fueron Carrasco norte, La Teja, Cerro, Brazo Oriental, Colon y Maroñas.

Se estima que en Montevideo cayeron un 10% de los árboles, esta situación provocó accidentes de tránsito, corte de calles y de las rutas 1 y la 2 por varias horas. Hubo más de 7.000 pinos perdidos en Punta del Este. Esta situación, trajo como consecuencia que entre 10.000 y 40.000 personas quedaron sin servicio eléctrico en gran parte del territorio nacional y UTE se vió obligada a demorar los tiempos de recuperación de servicios (48 horas hasta 20 días en la Costa de Oro). Un 30% de la población de Montevideo quedó sin energía.

Los sistemas de telefonía fija y móvil también se vieron afectados; los tiempos de respuesta para atender los daños causados se retrasaron por más de 48 horas (entre 2.500 y 15.000 usuarios afectados). Las antenas de telefonía móvil sufrieron desaliñes y caídas. Se produjo la caída de 3 antenas de radio de hasta 130 metros de alto, esto se dió en Montevideo, donde una de ella provoca una muerte, y en Las Piedras causó el corte de la ruta 5 vieja. La Torre de las telecomunicaciones también sufrió daños en vidrios de los 5 primeros pisos.

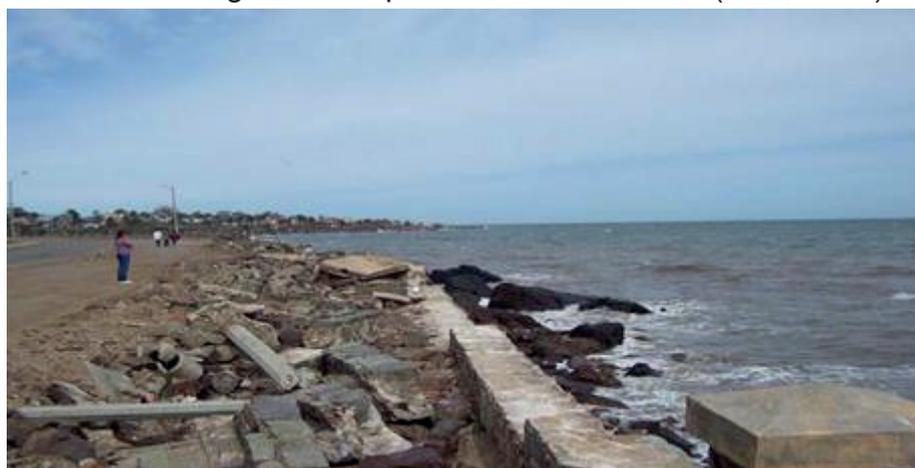
La distribución del agua potable se vió afectada en distintos puntos del país (por más de 48 horas). Se emitió una alerta sanitaria a poblaciones en condiciones de higiene difíciles, por la llegada de aguas servidas y la carencia de servicios de higiene. Se estima que el 40% de los liceos y el 25% de las escuelas sufrieron daños edilicios, también fue afectada la biblioteca de la Facultad de ingeniería por voladura de techos, quedando a la intemperie parte del material. Los Puertos de Colonia, Montevideo, Buceo, Maldonado y Punta del Este fueron cerrados y sufrieron daños incalculables. La plaza de contenedores del Puerto de Montevideo fue abatida por los fuertes vientos y en los restantes puertos los daños fueron de otra índole: destrucción de embarcaciones de muy alto costo y hundimiento de otras, la fuerza del mar causó ruptura de muros de los distintos puertos. El aeropuerto de Carrasco fue cerrado por mal tiempo.

Cientos de evacuados en Montevideo, Canelones y Colonia y más de 280 realojados fueron las cifras para este evento, en este caso las poblaciones más vulnerables socialmente fueron las más afectadas. Se perdieron más de 10 vidas humanas a causa de distintos factores: derrumbe de fincas en mal estado, caída de antenas de radio sobre techos de casas, caída de árboles, infartos, hipotermias, electrocutamientos y caídas de personas desde los árboles al realizar tareas de limpieza de los daños causados.

Otros daños causados fueron en reservas naturales como el caso del Arboreto Lussich, donde el viento causó destrozos, que llevaron a las autoridades del departamento a pedidos de ayuda para su restauración. En la franja costera de Maldonado fueron removidas más de 160 mil toneladas de arena haciendo retroceder el cordón de dunas entre tres y cinco metros. El Parque Rodó de Montevideo fue uno de los lugares que sufrió mayores daños edilicios.

Los daños causados en el sector productivo fueron diversos, empezando por el apícola, en particular el de Rincón de la Bolsa, que sufrió la pérdida de gran parte de las colmenas y de las abejas. El sector granjero, fue afectado en los cultivos de hoja y daños en la estructura de los cultivos bajo cubierta, el daño a invernáculos se estima en un 80%. En Canelones la comuna cuantificó las pérdidas en U\$S 1.800.000 para el sector granjero.

Las pérdidas totales cuantificadas se estiman que sobrepasen los U\$S 37 millones. “El temporal generó que se triplicaran las denuncias por siniestros a las principales empresas aseguradoras. Royal & Sunalliance recibió 1.600 llamados por 400 siniestros y estimó en U\$S 1.500.000 la asistencia que deberá dar. En tanto, en Porto Seguro se incrementaron los reclamos entre 60% y 80%; en el Banco de Seguros se triplicaron las denuncias (BPL, 2009).



#### 4.2. Análisis mareológico.

Desde el punto de vista del nivel del mar, este evento impactó la costa uruguaya alcanzando la cota de 303 cm sobre el cero hidrométrico (ex Wharton) en Montevideo, lugar donde las alturas registradas fueron máximas. Astronómicamente en el año 2005 y para la fecha del evento hubo una posición notable de los astros que pudieran hacer elevar las alturas de las pleamares al nivel de extraordinarias. El 26 de Agosto se entraba en cuarto menguante.

Luna nueva Sicigias	Luna llena Sicigias	Cuarto creciente	Cuarto menguante
5 de Agosto	19 de Agosto	12 de Agosto	26 de Agosto

Para el puerto de Colonia las pleamares extraordinarias predichas superaron la cota de los 100 cm los días 21 al 25 de Agosto. Observando los datos registrados (Fig. 22) a partir del 23 de Agosto, las alturas de las aguas observadas se elevan por sobre la predicha pues la bajamar pronosticada para las 16:00 con una altura de 51 cm nunca se llega a verificar, y la baja se produce a más de 115 cm sobre el cero. La pleamares y bajamares aparecen muy bien marcadas pero los registros sobre el cero son muy elevados llegando a un máximo de 222 cm sobre la cota de 0 centímetro. El 25 de Agosto las pleamares y las bajamares pronosticadas y observadas se cruzan continuando el descenso continuo de las aguas hasta valores negativos que velan el cero. Las coincidencias entre las pleamares y bajamares pronosticadas y registradas siguen siendo altas.

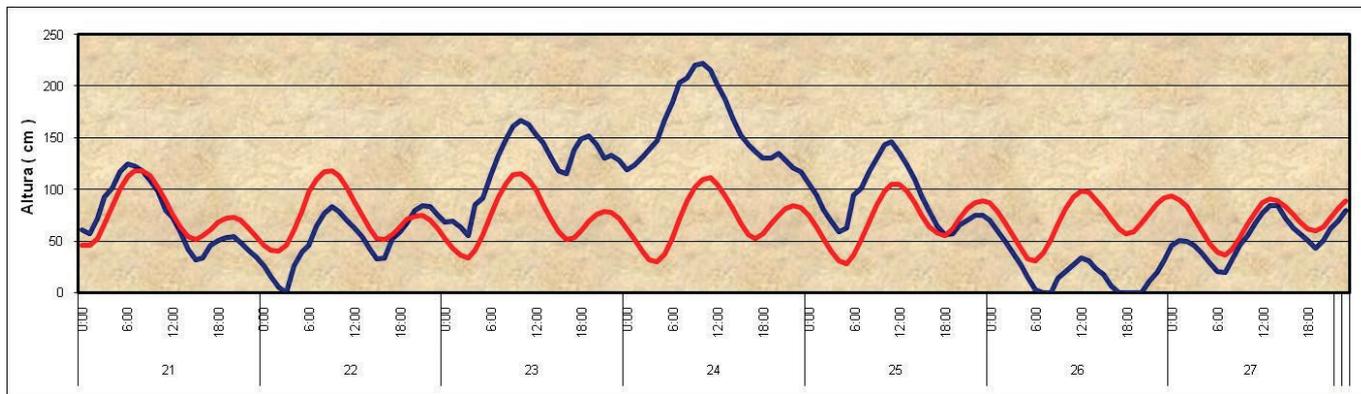


Figura 22. Altura de las aguas frente al Puerto de Colonia predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 21 al 27 de Agosto del 2005. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Para el Puerto de Montevideo y para los días 21 al 23 de Agosto las pleamares extraordinarias predichas astronómicamente sobrepasaron los 125 cm sobre el cero. Desde el 23 de Agosto a la hora 11:00 los niveles registrados comenzaron a superar a los predichos sin embargo la bajamar de las 11:00 horas se registró casi hasta con los mismos niveles que los pronosticados. A partir de esa bajamar, los niveles continuaron aumentando de tal forma que la bajamar pronosticada para la noche del 23 no fue registrada en los datos observados. Los registros observados continuaron superando a los pronosticados las siguientes horas alcanzando un máximo de 303 cm a las 02:00 del 24 de agosto. El mismo 24 se registró un descenso (desde la hora 04:00 y hasta la hora 00:00 del 25) de más de 180 cm. Este descenso continuó hasta por debajo de las alturas pronosticadas el 26 de Agosto (Fig. 23).

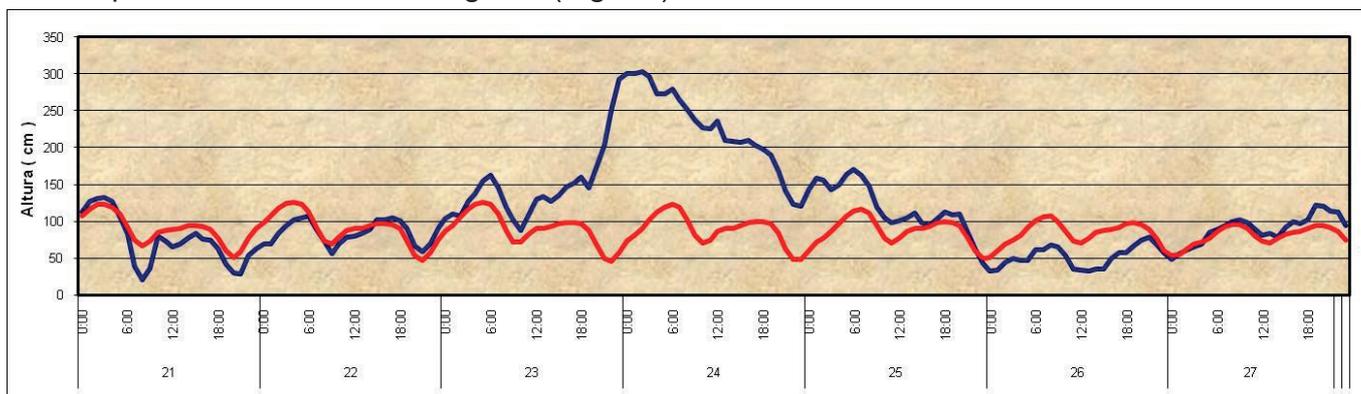


Figura 23. Altura de las aguas frente al Puerto de Montevideo predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 21 al 27 de Agosto del año 2005. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Para Punta del Este las pleamares predichas no superaron los 100 cm de la cota 0. En este evento los registros observados fueron muy regulares hasta el 23 de Agosto a la hora 18:00 notándose una separación en las alturas registradas a partir del mismo día a la hora 01:00. Los niveles máximos alcanzados por el evento superaron los 280 cm. Notándose como caso extraordinario el hecho que en 6 horas 30 minutos el nivel del agua se elevó desde 100 cm hasta los 282 cm sin que se produzca la bajamar pronosticada. A partir de la hora 02:00 del 24 de Agosto, los niveles comenzaron a descender lentamente siguiendo la onda de marea pronosticada marcando 4 bajamares y 3 pleamares, siendo estas últimas todas extraordinarias por los niveles alcanzados (Fig. 24).



Figura 24. Altura de las aguas frente al Puerto de La Punta del Este predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 21 al 27 de Agosto del año 2005. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Para La Paloma las pleamares predichas no superaron los 100 cm de la cota 0. En este evento los registros observados fueron muy regulares y marcados. El 22 de Agosto a la hora 19:00 comenzó a notarse una separación en las alturas registradas verificándose una pleamar que debería haber alcanzado los 100 cm y alcanzó 134 cm sobre el cero. Desde esa hora los registros observados continuaron marcando las pleamares y bajamares a la misma hora que los pronósticos pero con diferencia en cuanto a las alturas del agua. Los niveles máximos alcanzados por el evento llegaron a 228 cm a la hora 12:00 del 24 de Agosto. A partir de ese máximo alcanzado las aguas comenzaron a descender siguiendo el régimen de mareas marcando las pleamares y bajamares pronosticadas (Fig. 25).

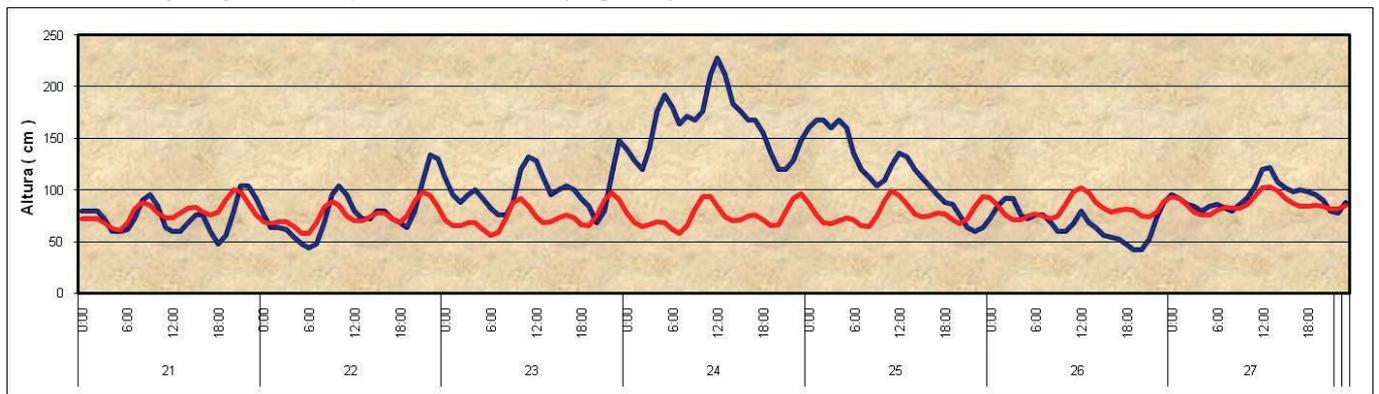


Figura 25. Altura de las aguas frente al Puerto de La Paloma predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 21 al 27 de Agosto del año 2005. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Observando para este evento los niveles alcanzados por las aguas en los 4 puntos de la costa uruguaya estudiados, y sin tener en cuenta el retardo de las pleamares en recorrer la distancia desde La Paloma hasta Montevideo (Fig. 26), se evidencia que en Montevideo y Punta del Este los niveles alcanzados por las aguas fueron muy superiores que los registrados en Colonia y La Paloma. Habiendo aumentado casi 100 cm o más en Montevideo y Punta del Este que en La Paloma y Colonia. También se observó que los picos altos de los niveles para Montevideo y punta del este fueron alcanzados en la madrugada del 24, mientras que para La Paloma y Colonia el pico máximo del nivel del mar se alcanzó el día 24 a la hora 12:00.

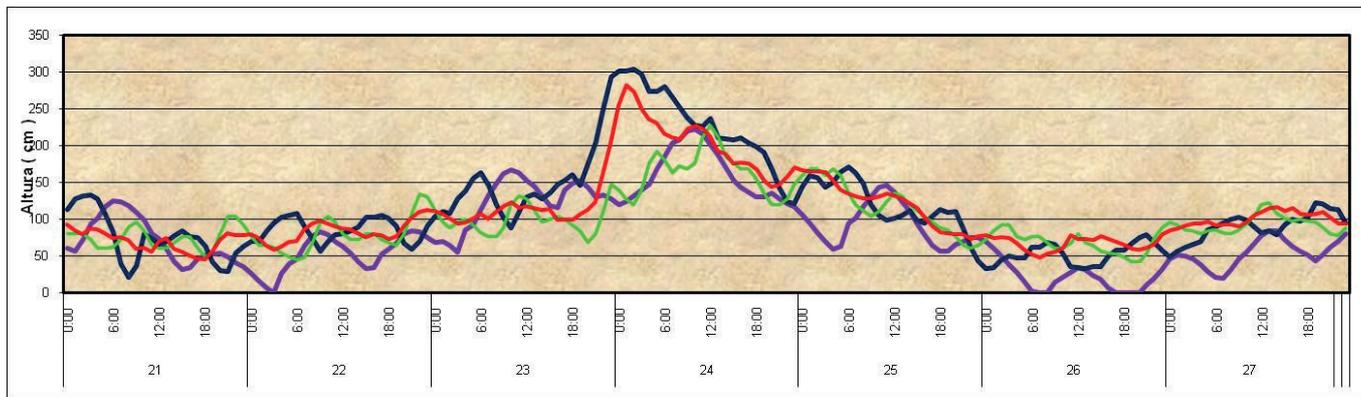


Figura 26. Altura de las aguas registradas frente a los Puertos de La Paloma (línea verde), Punta del Este (línea roja), Montevideo (línea azul) y Colonia (línea violeta) para los días 21 al 27 de Agosto del año 2005. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Observando ahora las diferencias (Fig. 27) entre las alturas registradas en Montevideo y La Paloma sin tener en cuenta el retardo que se existe en la onda de mareas (diferencias positivas y negativas en el gráfico) desde el día 21 hasta el 27 de Agosto, hay una diferencia positiva a favor de Montevideo que se comienza a manifestar el 23 y llegó a alcanzar un máximo de 183 cm sobre el cero.

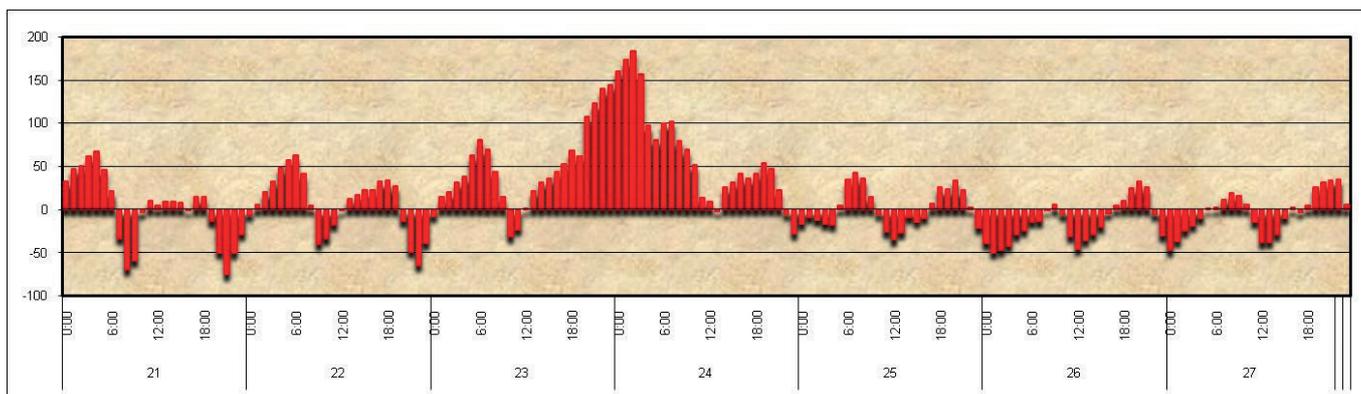


Figura 27. Diferencias de la altura de las aguas observadas entre La Paloma y Montevideo sin tener en cuenta el retardo de marea que existe entre ambos puertos; del 21 al 27 de Agosto del año 2005. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

### 4.3. Análisis de los retardos.

Para este evento la altura máxima altura del nivel del mar en Montevideo se registró el día 24 de Agosto a la hora 02:00 habiéndose registrado dos pleamares anteriores que, aunque fueron pequeñas, igualmente superaron las predicciones. La primera de ellas a la hora 06:00 del 23 y la segunda a las 17:00 del mismo día. Para La Paloma ya el día 22 a la hora 23:00 se registró una pleamar extraordinaria (7 horas antes que la registrada en Montevideo); la pleamar registrada en La Paloma a la hora 11:00 del 23 podría haber influenciado 5 horas después la pleamar registrada en Montevideo a la hora 17:00 del mismo 23 de Agosto.

La pleamar registrada en La Paloma a la hora 23:00 del 23 de Agosto fue bastante más elevada que las anteriores y 4 horas después se produjo el pico de alturas máximas registradas en Montevideo para este evento. Si bien el desfase fueron 4 horas, igualmente las pleamares se manifestaron.

Para Punta del Este el día 23 entre la hora 00:00 y la 01:00 se registró una pleamar extraordinaria (6 horas antes que la registrada en Montevideo); la pleamar registrada en Punta del Este

a la hora 10:00 del 23 no tuvo suficiente fuerza como para producir una mayor elevación del nivel del mar. La pleamar extraordinaria registrada en Punta del Este dando como consecuencia su máxima elevación con 282 cm se produjo a la hora 01:00 del 24 de Agosto y 1 hora después se produjo el pico de alturas máximas registradas en Montevideo. No existió prácticamente retardo entre los picos máximos alcanzados en los dos puertos.

Para Colonia el día 23 entre la hora 10:00 y las 11:00 se registró una pleamar extraordinaria (4 y 5 horas después que la registrada en Montevideo). La segunda pleamar registrada en Colonia se produjo a la hora 22:00 (5 horas después que en Montevideo). El 24 de Agosto hora 09:00 se produce la pleamar extraordinaria registrada en Colonia, dando como consecuencia su máxima elevación con 222 cm. Esto significa un retardo con respecto a Montevideo de 7 horas.

#### 4.4. Análisis de los caudales.

Observando el comportamiento de los caudales calculados para el Río de la Plata (Fig. 28) existe un leve incremento del caudal diario del 21 al 27 de Agosto, acercándose al promedio mensual registrado para agosto del año 2005. Sin embargo estos caudales se encuentran muy por debajo del promedio calculado en base a 45 años de observación. La pregunta aquí a realizar es: ¿Qué hubiese pasado en la costa uruguaya si en el momento del evento los caudales estaban por sobre el promedio anual? ¿y sobre el promedio de 45 años?

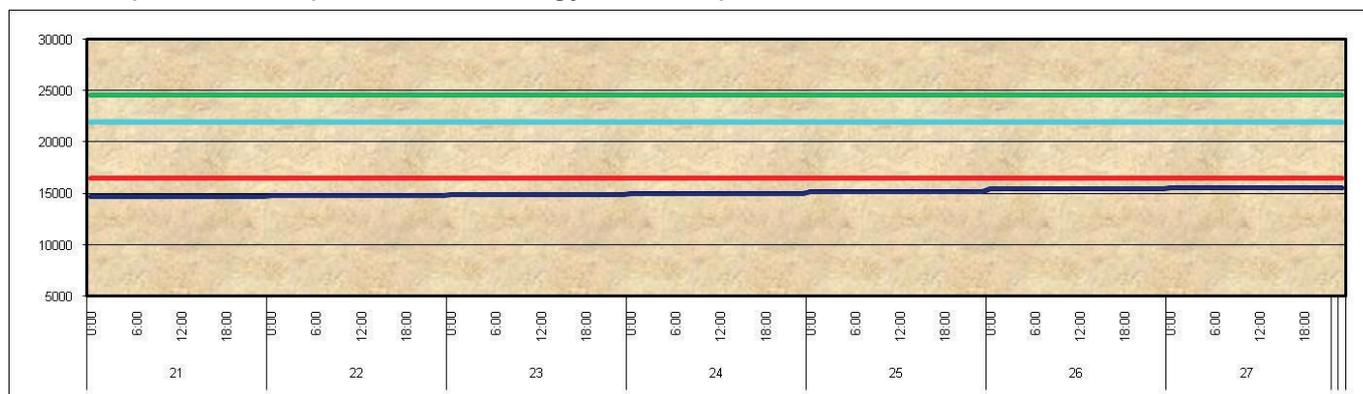


Figura 28. Caudales del Río de la Plata (azul=los días del evento extremo, rojo=promedio mensual de agosto 2005, celeste=promedio anual 2005 y verde=promedio tomado de 45 años) medidos en m<sup>3</sup>/s.

Parte de la respuesta a estas interrogantes se encuentran en el Informe II (concordando con otros autores) en el cual se predice la altura del nivel del mar de acuerdo a las descargas del Río Uruguay y Río de la Plata. Existe una relación directa ente las elevaciones del nivel del mar y los caudales (Nagy, et. al., 1997 y 2005; Barros, 2005 Nagy, et. al., 2007 y 2008). Tomando entonces los caudales para la fecha del evento, este podría haber alcanzado magnitudes mayores y elevado más aun los niveles del mar si hubiesen estado por sobre los promedios mensual, anual e histórico.

#### 4.5. Conclusiones.

Este evento extremo, caracterizado por los vientos máximos, registrado en el sur del país, los días 23 y 24 de Agosto de 2005, fue producido por el pasaje de una depresión del tipo extra-tropical (baja presión atmosférica), cuyo centro se desplazó desde territorio argentino hacia el Sur de Uruguay y se internó sobre el Océano Atlántico. Si bien el pasaje de este tipo de perturbaciones no es anómalo en nuestra región, sí lo fue la profundización de la depresión, que registró valores mínimos de 990 hectopascales en superficie en Montevideo y menores aún sobre el Este del país. Esto provocó un fuerte gradiente de presión atmosférica en superficie, provocando a su vez un fuerte flujo de aire (viento) de dirección Oeste-Sur-Oeste (WSW) en su máxima intensidad, entre las 21 y 24 hora local del día 23 en Montevideo.

## 5. Evento extremo de Marzo de 1998

### 5.1. Introducción

Este evento se dió 15 días después de otro de similar magnitud e intensidad, por lo que la prensa no lo cubrió de la misma forma que los anteriores.

Se considero que los deterioros fueron de poca significación, a destacar fue un corte por el día de la rambla sur a la altura de la calle Paraguay y un retraso en las tareas de arreglo, en particular los muros de contención. (BPL, 2009).

### 5.2. Análisis mareológico.

Desde el punto de vista del nivel del mar, este evento impactó la costa uruguaya superando la cota de los 300 cm sobre el cero hidrométrico (ex Wharton) en Montevideo, lugar donde las alturas registradas fueron máximas. Astronómicamente en el año 1998 hubo solo una posición notable de los astros que hicieran elevar las alturas de las pleamares al nivel de extraordinarias en el período en que ocurrió el evento. El 28 de Marzo se estaba en sicigia.

Luna nueva Sicigias	Luna llena Sicigias	Cuarto creciente	Cuarto menguante
28 Marzo	13 de Marzo	5 de Marzo	21 de Marzo

Para el Puerto de Colonia las pleamares extraordinarias predichas no superaron la cota de los 100 cm. Las diferencias entre las pleamares y bajamares se acentúan mas los días 26, 27 y 28 de Marzo de acuerdo a la sicigia que comenzó el 28 astronómicamente. Observando los datos registrados (Fig. 29) es notorio como a partir del 24 de Marzo y hasta el 26 del mismo mes, las alturas de las aguas se elevan por sobre la predicha 2 veces más, llegando a tener un registro de 225 cm sobre el cero el día 25 a las 14:00 horas. A la hora 17:00 se produce la pleamar pronosticada. Lo que también se observa para este puerto es que la bajamar pronosticada para la hora 11:00 coincide con una baja en los niveles registrados a la misma hora, por lo cual independientemente del fenómeno meteorológico que haya ocurrido, la bajamar astronómica se manifestó.

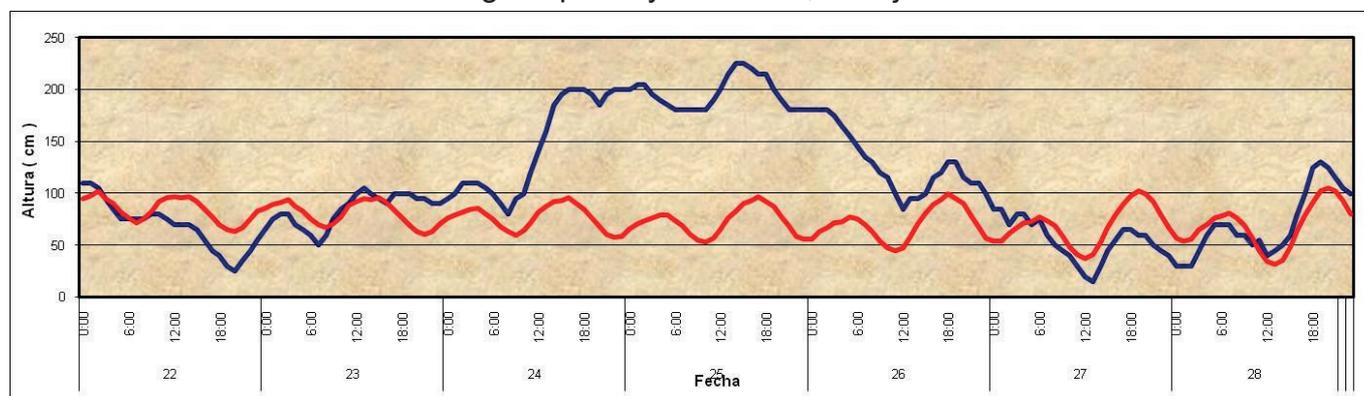


Figura 29. Altura de las aguas frente al Puerto de Colonia predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 22 al 28 de Marzo del año 1998. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Para el Puerto de Montevideo y para los días 26, 27 y 28 de Marzo las pleamares extraordinarias predichas astronómicamente se acercaron a los 130 cm sobre el cero. Ya el 23 de Marzo los niveles registrados comenzaron a superar a los predichos en horas de la mañana. Para este evento se observaron 2 máximos puntuales, alcanzando niveles que se ubicaron cerca de los 300 cm. Es de destacar que el día 25 a la hora 03:00 (Fig. 30) se produce la bajamar pronosticada y a la misma hora se produce un descenso de las aguas de más de 50 cm. En este caso la bajamar pronosticada de la mañana del 26 de Marzo se evidenció también en ambas curvas.

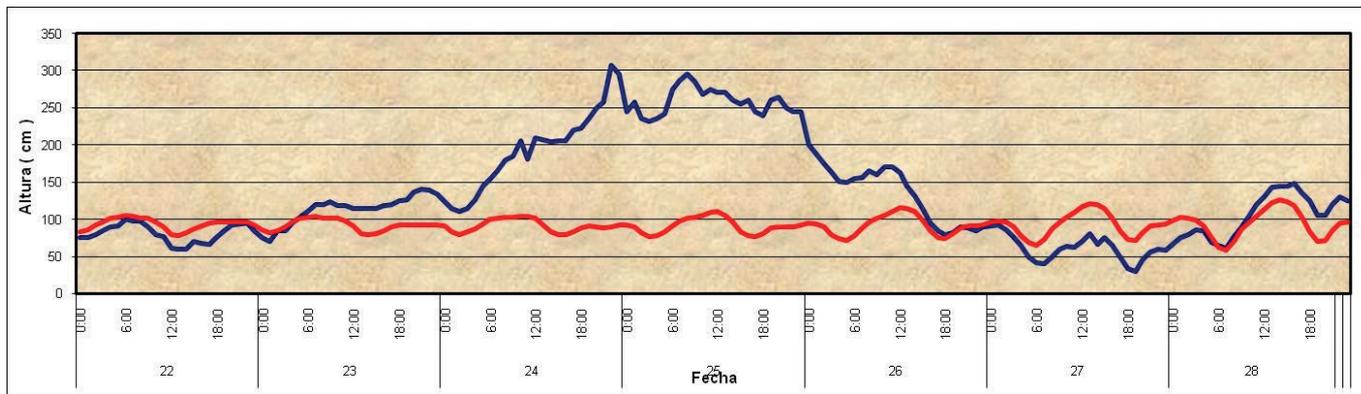


Figura 30. Altura de las aguas frente al Puerto de Montevideo predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 22 al 28 de Marzo del año 1998. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Para Punta del Este las pleamares superaron casi la cota de los 100 cm sobre el cero. El día 23 las alturas registradas comenzaron a superar constantemente a las predichas resultando que las horas que corresponderían a las bajamares predichas casi ni aparece en los registros observados. Las alturas registradas superaron por poco los 200 cm y al igual que se observó para los Puertos de Colonia y Montevideo el día 25 quedó registrada una pequeña bajamar entre los dos picos de máximas alturas que superaron los 200 cm. Los días 25 y 26 se registraron descensos regulares y continuos de las aguas hasta alcanzar (incluso por debajo) los niveles predichos para la fecha (Fig. 31).

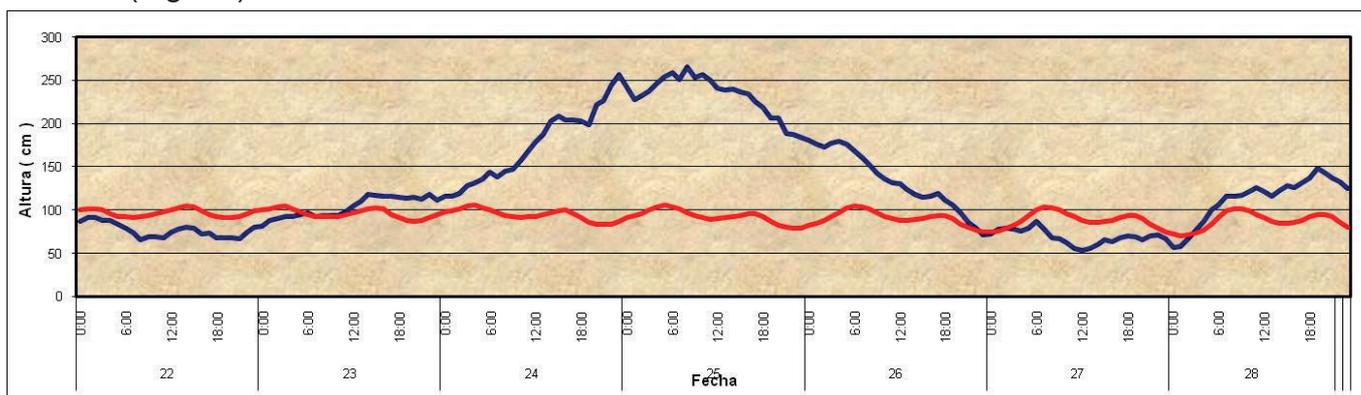


Figura 31. Altura de las aguas frente al Puerto de Punta del Este predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 22 al 28 de Febrero del año 1998. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Para La Paloma las mayores pleamares predichas fueron para el día 22 superando la cota de 100 cm. En este caso recién el día 24 en las horas de la mañana la curva observada de altura de las aguas comienza a desfasarse de la predicha en lo que refiere a los niveles alcanzados. No ocurre lo mismo con las horas en las cuales se registran las pleamares y bajamares; ya que la correspondencia entre las horas de pleamar y bajamar predicha con la observada en este puerto es muy alta. Los niveles máximos alcanzados por el evento superaron los 212 cm. Es notorio como la bajamar pronosticada para la mañana del 25 de Marzo se manifestó también en este puerto. Un acontecimiento que también se observó en los 4 puertos analizados (mas notoriamente en Punta del Este y La Paloma), fue que después de una bajante pronunciada el día 27 por debajo de las alturas predichas, el día 28 todos los registros observados superaron las alturas predichas (Fig. 32).

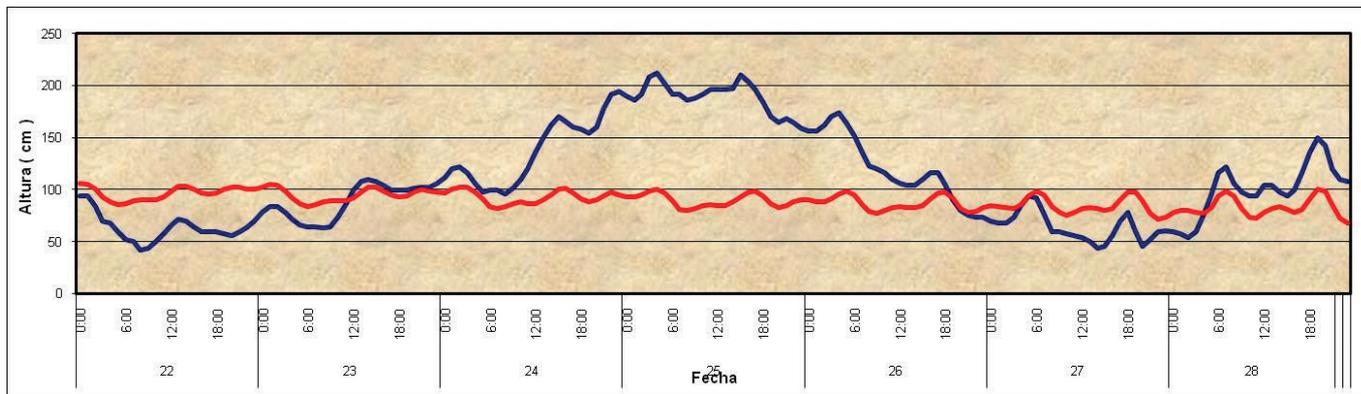


Figura 32. Altura de las aguas frente al Puerto de La Paloma predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 22 al 28 de Marzo del año 1998. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Observando para este evento, solamente los niveles alcanzados por las aguas en los 4 puntos de la costa uruguaya estudiados, y sin tener en cuenta el retardo de las pleamares en recorrer la distancia desde La Paloma hasta Montevideo (Fig. 33), se evidencia que tanto en Punta del Este como en Montevideo los niveles alcanzados por las aguas fueron similares, mientras que en Colonia y La Paloma los niveles fueron más bajos y similares entre ellos.



Figura 33. Altura de las aguas registradas frente a los Puertos de La Paloma (línea verde), Punta del Este (línea roja), Montevideo (línea azul) y Colonia (línea violeta) para los días 22 al 28 de Marzo del año 1998. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Observando ahora las diferencias (Fig. 34) entre las alturas registradas en Montevideo y La Paloma sin tener en cuenta el retardo que se existe en la onda de mareas; existe en los días 24 y 25 una diferencia positiva a favor de Montevideo que llega a un máximo de 115 cm sobre el cero.

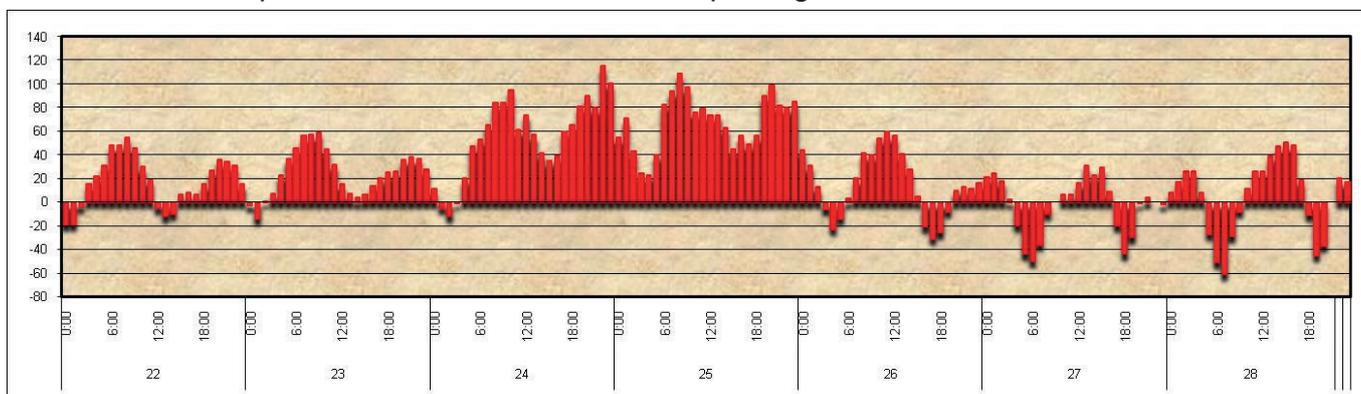


Figura 34. Diferencias de la altura de las aguas observadas entre La Paloma y Montevideo sin tener en cuenta el retardo de marea que existe entre ambos puertos; del 22 al 28 de Agosto del año 1998. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

### 5.3. Análisis de los retardos.

Para este evento la altura máxima del nivel del mar en Montevideo se registró el día 24 a la hora 22:00 y hubo otro pico el día 25 a la hora 08:00 coincidiendo ambos picos con pleamares pronosticadas. Para La Paloma también se produjeron 2 picos de alturas máximas del nivel del mar; uno registrado el día 25 a la hora 04:00 con 212 cm y el otro se registró a la hora 15:00 con un registro de 210 cm sobre el cero.

Considerando los retardos calculados el primer pico de gran elevación del nivel del mar registrado en Montevideo se había registrado 6 horas antes en La Paloma con una altura de 170 cm sobre el cero. Ya el segundo pico producido en Montevideo se había registrado con 4 horas de anticipación y coincidiendo con la pleamar de La Paloma que elevó el nivel del mar a 212 cm sobre el cero.

Considerando ahora lo ocurrido en Punta del Este, el primer momento de gran elevación del nivel del mar registrado en Montevideo se había registrado entre 4 y 5 horas antes en Punta del Este con una altura de mas de 200 cm sobre el cero. El segundo pico producido en Montevideo se había registrado con 3 horas de anticipación en Punta del Este, adelantándose a lo pronosticado.

El día 23 a la hora 21:00 se produce una pleamar que supera las ordinarias en Montevideo, 5 horas después en Colonia se produce la primera pleamar superando la altura pronosticada alcanzando 110 cm sobre el cero. Considerando los retardos calculados para Colonia, el primer pico de gran elevación del nivel del mar registrado en Montevideo, se registró 4 horas después (hora 02:00 del 25) en Colonia alcanzando una altura de 202 cm sobre el cero. El segundo pico producido en Montevideo se registró entre 5 y 6 horas después en Colonia.

Para este evento si bien existió mas de un 70% de coincidencia mareológica acerca del seguimiento de la onda de tormenta (tomando como referencia Montevideo), los adelantos y retardos de las pleamares extraordinarias observados no garantizan la realización de un pronóstico acertado, solamente basados en la marea. Pero si se estaría en condiciones de generar una advertencia sobre Montevideo y Colonia en el momento de observar el primer desfase del nivel del mar en La Paloma y ajustarlo con el pasaje por Punta del Este.

### 5.4. Análisis de los caudales.

Observando el comportamiento de los caudales calculados para el Río de la Plata (Fig. 35) existe un leve descenso del caudal diario desde el 22 y hasta el 28 de Marzo de 1998. Los caudales descargados estuvieron casi iguales que el promedio mensual (Marzo), también superaron el promedio anual (1998) y, por mucho, el promedio de 45 años de observaciones.

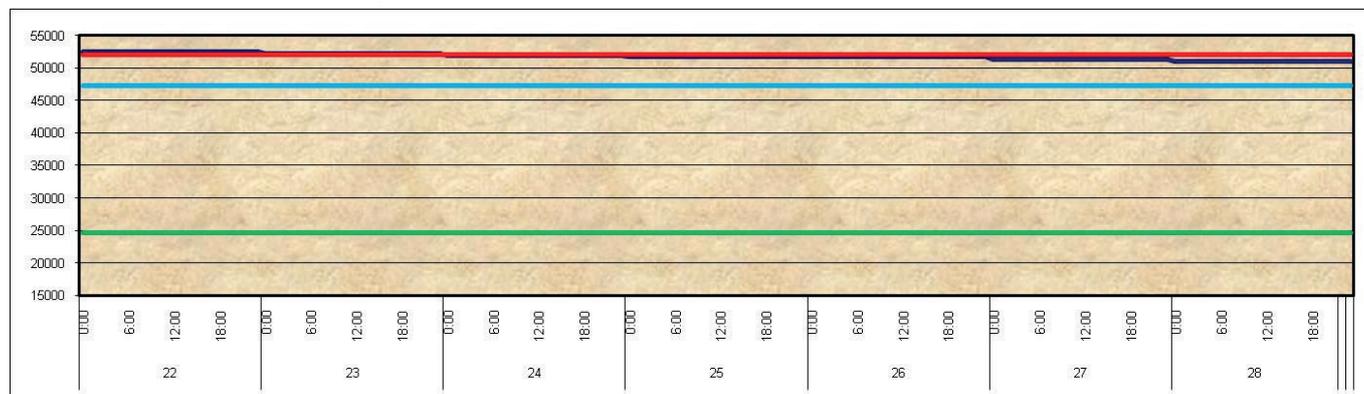


Figura 35. Caudales del Río de la Plata (azul=los días del evento extremo, rojo=promedio mensual de marzo 1998, celeste=promedio anual 1998 y verde=promedio tomado de 45 años) medidos en m<sup>3</sup>/s.

Para este evento probablemente, el nivel del mar alcanzado en el momento del evento, haya sido reforzado por los caudales registrados en esa época. Estudios anteriores realizados para nuestra costa (Nagy, et. al.,2005) han puesto de manifiesto que en los años del niño (1998) el nivel medio del mar fluctúa en torno a la media aproximadamente 110 cm. La figura 6.7 muestra como, los caudales calculados para el Río de la Plata, se encuentran muy por encima de los promedios históricos, y para todo el año 1998.

## 6. Evento extremo de Febrero de 1993

### 6.1 Introducción

La ocurrencia de este evento causó un mayor impacto en la población debido al momento del año, plena temporada estival que trae como consecuencia un flujo de población directamente hacia las zonas costeras fuertemente afectadas por la crecida de ríos y las intensas lluvias caídas. Las zonas más afectadas fueron los departamentos de Colonia, San José, Montevideo y Canelones. Varios sectores en las ramblas de los balnearios fueron cortados, y también las rutas 1, 2, 6, 11, 45, 61, 97 y 108.

La IMM emitió una alerta para que el uso de las playas se haga luego de 24 horas después del temporal, para evitar contagios de cólera. Los paradores de la rambla y clubes de pesca fueron dañados.



Los Puertos de Colonia, Montevideo, del Buceo y el de Punta del Este permanecieron cerrados. En el Puerto de Montevideo, tres barcos chocaron y en el del Buceo un funcionario de ADES sufrió lesiones. En la ciudad de Colonia, los buques debieron ser fondeados fuera de puerto. En el Río Uruguay, a la altura del departamento de Soriano, las embarcaciones que lo transitaban también sufrieron problemas.

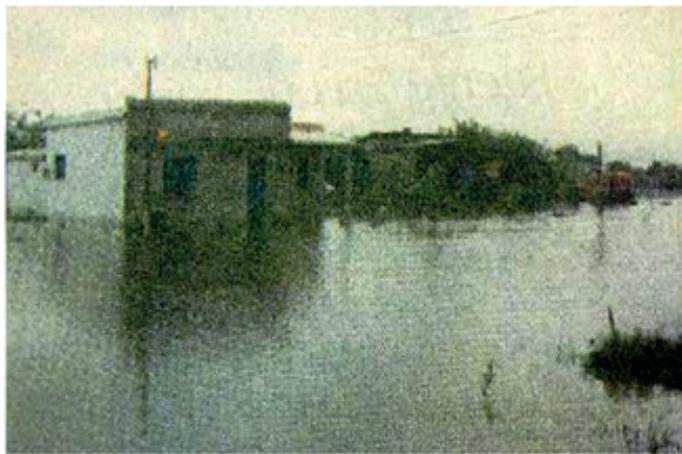


El cierre de los puertos trajo como consecuencia que un gran número de turistas causaran un alto tráfico generándose dificultades para circular. Festivales de folklore debieron ser suspendidos, así también como la postergación de algunas actividades carnavalesas.

La caída de árboles y cartelería provocó el corte de suministros de la energía eléctrica, UTE recibió 10.000 llamadas por falta de luz, en San José una centralita de ANTEL quedó bajo aguas por la crecida del Arroyo Cufre. En el sector productivo los daños fueron causados por la inun-

dación de campos, animales muertos y cultivos dañados. Se estima que los daños en la zona granjera son del orden de los millones de dólares y el 20% de la producción frutícola no se pudo extraer.

No se registraron pérdidas de vidas humanas, pero el número de personas evacuadas fue muy elevado, más de 100 en Montevideo, 92 en Santa Lucía, en Soriano 33, en Colonia más de 200 y en San José más de 150, 26 campamentos cercanos a el puerto de Mercedes fueron levantados (BPL, 2009).



## 6.2. Análisis mareológico.

Desde el punto de vista del nivel del mar, este evento impactó la costa uruguaya superando en algunos casos la cota de los 400 cm sobre el cero hidrométrico (ex Wharton). Astronómicamente en el año 1993 hubo solo una posición notable de los astros que hicieran elevar las alturas de las pleamares al nivel de extraordinarias en el período en que ocurrió el evento. El 6 de Febrero se estaba en sicigia.

Luna nueva Sicigias	Luna llena Sicigias	Cuarto creciente	Cuarto menguante
22 de Enero	8 de Enero	1 de Enero	15 de Enero
21 de Febrero	6 de Febrero		13 de Febrero

Las pleamares extraordinarias predichas para ese período en los 4 puertos analizados no fueron de la misma magnitud para los días en que ocurrió el evento.

Para el Puerto de Colonia las pleamares extraordinarias predichas superan la cota de los 100 cm. Estas tienden a ser más elevadas los días 7, 8 y 9 de Febrero de acuerdo a la sicigia que comenzó el 6 astronómicamente. Observando los datos registrados es notorio como a partir del 6 de febrero y hasta el 9 del mismo mes, las alturas de las aguas se elevan por sobre la predicha casi 4 veces más, llegando a tener un registro de 400 cm sobre el cero el día 7 a las 19:00 horas. A la hora 20:00 se produce la pleamar pronosticada. Lamentablemente no hubo registros observados del nivel que alcanzaron las aguas a la hora 20:00, pero coinciden las pleamares independientemente de cualquier fenómeno meteorológico (Fig. 36).

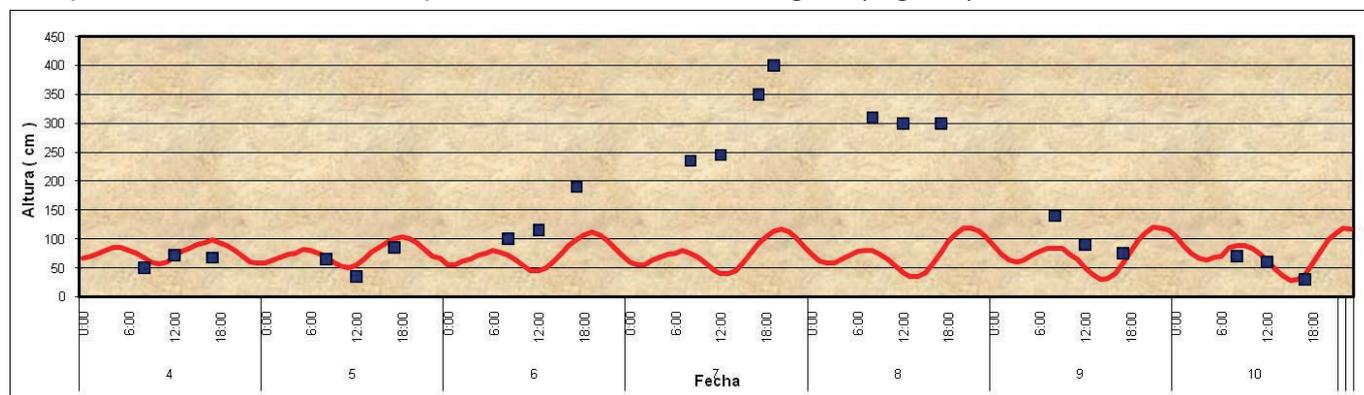


Figura 36. Altura de las aguas frente al Puerto de Colonia predichas (línea roja) y registrada (puntos azules) para los días 4 al 10 de Febrero del año 1993. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Para el Puerto de Montevideo y para los días 7, 8, 9 y 10 de Febrero las pleamares extraordinarias predichas astronómicamente se acercan a los 150 cm sobre el cero. Ya el 6 de Febrero los niveles registrados comenzaron a superar a los predichos a tempranas horas de la mañana. Para este evento se observaron 2 máximos puntuales separados por casi 24 horas, alcanzando niveles máximos que se ubicaron cerca de los 300 cm. Uno el 7 y otro el 8, ambos coincidieron con las pleamares pronosticadas astronómicamente. El día 7 a las 13:00 horas y el día 8 a las 14:00 horas (Fig. 37). En este caso la bajamar pronosticada de la mañana del 8 de Febrero se evidenció también en ambas curvas.

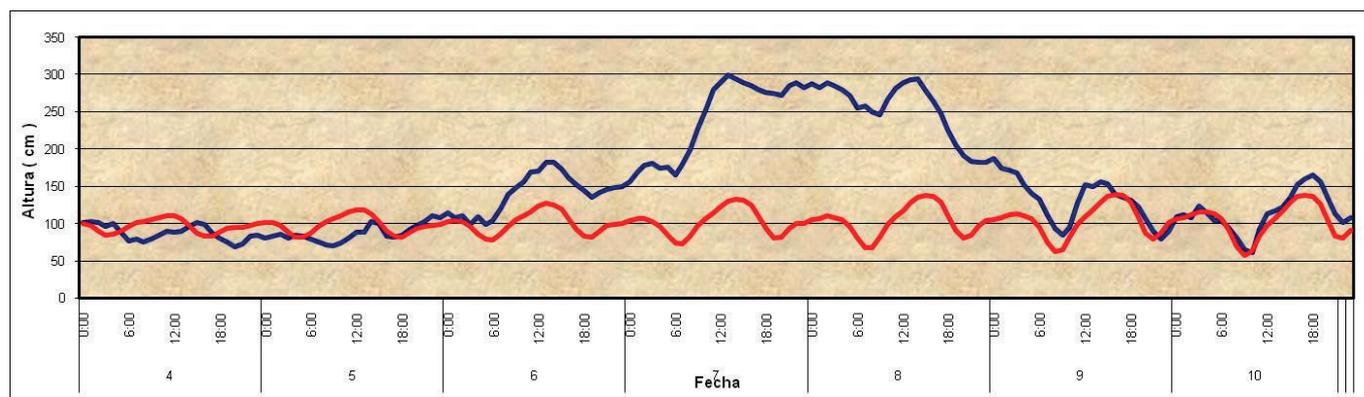


Figura 37. Altura de las aguas frente al Puerto de Montevideo predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 4 al 10 de Febrero del año 1993. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Para Punta del Este las pleamares predichas no fueron extraordinarias superando por muy poco la cota de los 100 cm sobre el cero. El día 6 a tempranas horas de la mañana la curva de niveles del agua se separa de la predicha y el 7 por la noche (hora 21:00) la marea alcanza su máximo nivel superando apenas los 203 cm. Para este puerto existe también una marcada coincidencia en la pleamar del 8 de Febrero a la hora 09:00 (Fig. 38).

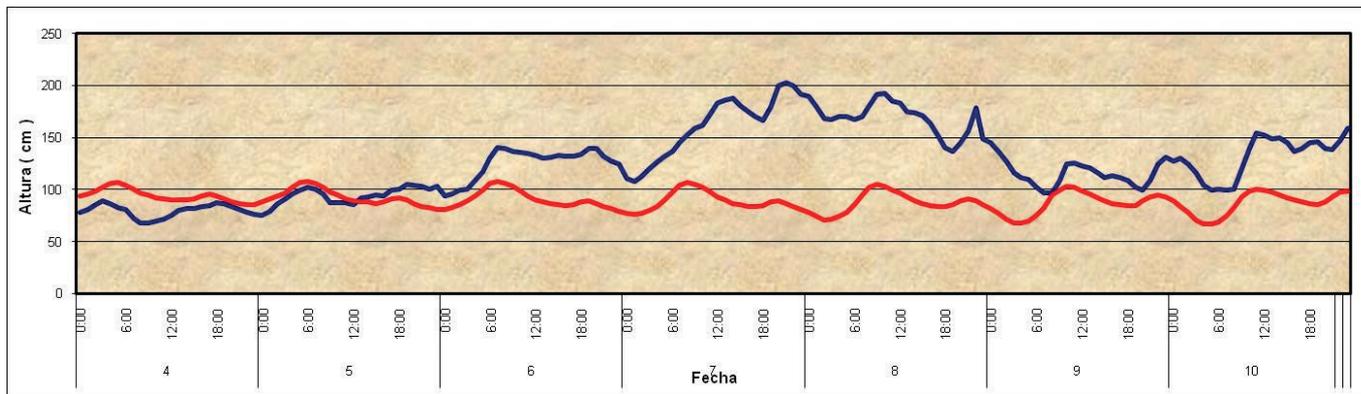


Figura 38. Altura de las aguas frente al Puerto de Punta del Este predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 4 al 10 de Febrero del año 1993. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Para La Paloma las mayores pleamares predichas fueron para los días 4 y 5 superando la cota de 110 cm. Como se observó en los puertos anteriores, ya el día 6 temprano en la mañana las curvas predichas de altura de las aguas y la observada comienzan a sufrir un desfasaje de la altura de los niveles alcanzados. No ocurre lo mismo con las horas en las cuales se registran las pleamares y bajamares; ya que la correspondencia entre las horas de pleamar y bajamar predicha con la observada es muy alta. En este puerto los niveles máximos alcanzados por el evento no llegaron a los 180 cm. Sin embargo se observan los dos picos que se observaron en Montevideo, el primero se registró el día 7 a la hora. Es notorio como aún durante la tormenta, las bajamares se manifiestan en este puerto (Fig. 39).

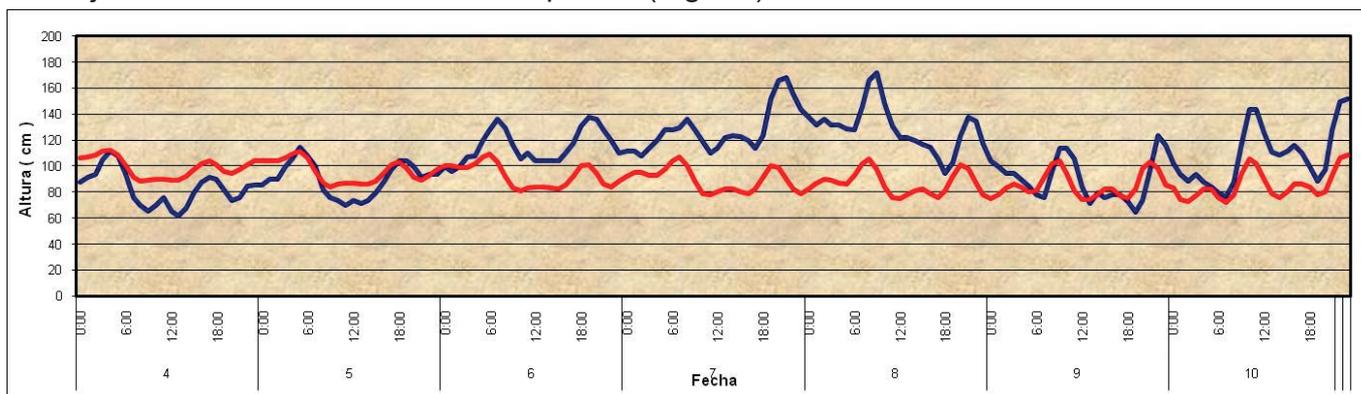


Figura 39. Altura de las aguas frente al Puerto de La Paloma predichas (línea roja) y registrada (línea azul) para los días 4 al 10 de Febrero del año 1993. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Observando solamente los niveles alcanzados por las aguas en los 4 puntos de la costa uruguaya estudiados, y sin tener en cuenta el retardo de las pleamares en recorrer la costa desde La Paloma hasta Montevideo (Fig. 40), se observa que a medida que nos acercamos al Río de la Plata (de oeste a este) los niveles máximos que alcanzaron de las aguas fueron más altos considerando el mismo evento.

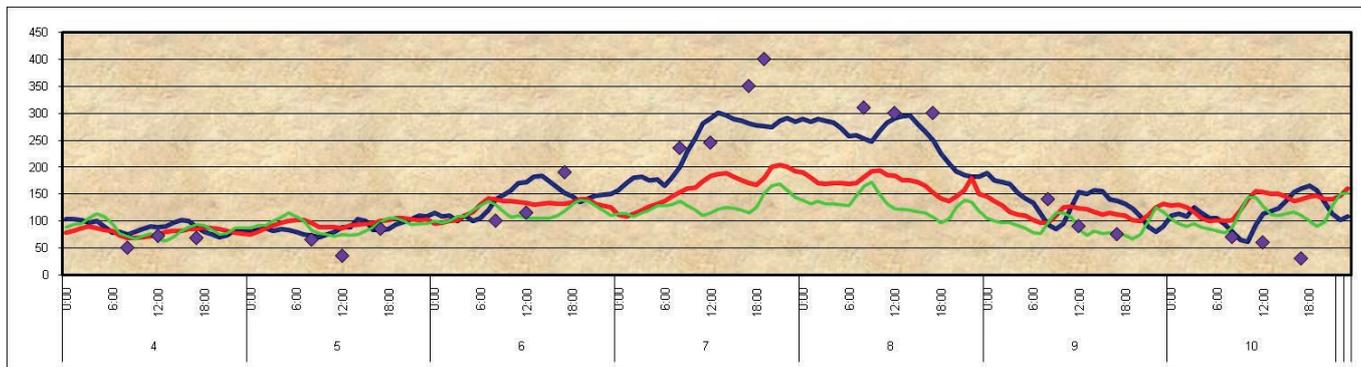


Figura 40. Altura de las aguas registradas frente a los Puertos de La Paloma (línea verde), Punta del Este (línea roja), Montevideo (línea azul) y Colonia (puntos violetas) para los días 4 al 10 de Febrero del año 1993. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

Considerando ahora las diferencias de niveles registrados entre La Paloma y Montevideo (Fig. 41), en el mismo momento, sin considerar el retardo de la pleamar, se observa que las diferencias comienzan a ser positivas el día 6 al comienzo del evento hasta alcanzar valores de 160 cm. Ya para el día 9 de Febrero las diferencias vuelven a ser positivas y negativas por efecto del desfase de la onda de marea entre una localidad y otra. Estos resultados confirman lo observado en la Figura anterior.

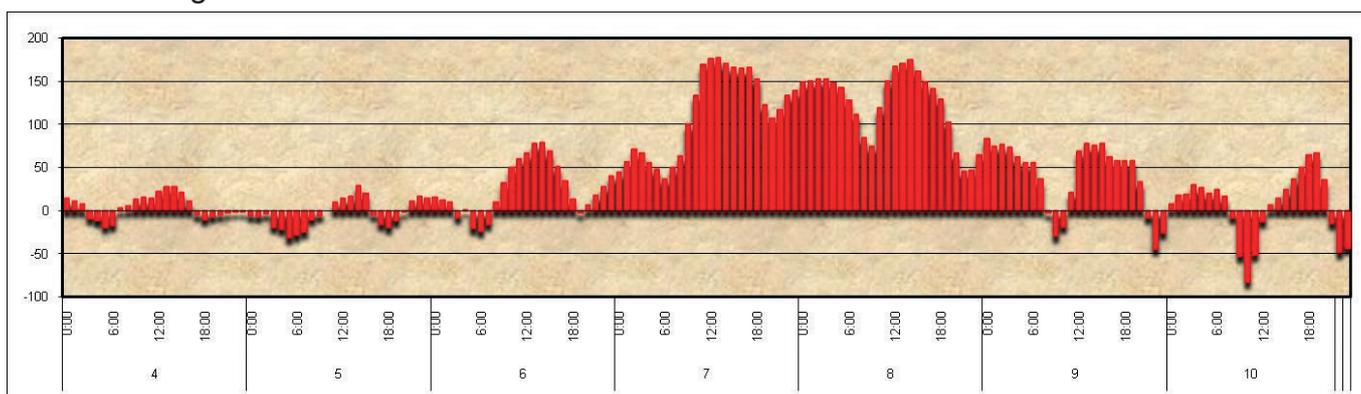


Figura 41. Diferencias de la altura de las aguas observadas entre La Paloma y Montevideo sin tener en cuenta el retardo de marea que existe entre ambos puertos; para los días 4 al 10 de Febrero del año 1993. Los valores están expresados en centímetros y referidos al cero hidrométrico provisorio (ex Wharton).

### 6.3. Análisis de los retardos.

Para este evento la altura máxima del nivel del mar en Montevideo se registró el día 7 a la hora 13:00 y hubo otro pico el día 8 a la hora 14:00. El primer pico de gran elevación del nivel del mar registrado en Montevideo el día 7 a la hora 13:00 no tuvo conexión aparente con las alturas registradas en La Paloma, ya que a la hora 08:00 si bien hubo una pleamar, esta no fue de mayor impacto alcanzando los 136 cm sobre el cero. No ocurrió lo mismo con el segundo pico registrado en Montevideo (día 8 hora 14:00), ya que exactamente 5 horas antes (día 8 hora 09:00) en La Paloma se había producido una pleamar importante del nivel del mar alcanzando 172 cm sobre el cero.

El primer pico registrado en Montevideo tampoco tuvo conexión aparente con las alturas registradas en Punta del Este, ya que en este último lugar se observó el máximo nivel a la hora 14:00 del mismo día. Para el segundo gran pico observado en Montevideo, si pudo existir relación de la marea con la tormenta, ya que exactamente 4 horas antes de producirse la pleamar en Montevideo, se produce un máximo considerable en Punta del Este alcanzando 193 cm sobre el

cero.

Para este evento pudo existir un 50% de previsión acerca del fenómeno a registrarse en Montevideo. Solo después del primer impacto en Montevideo, las alturas del nivel del mar podrían utilizarse como advertencia observando La Paloma y ajustando con Punta del Este.

#### 6.4. Análisis de los caudales.

Observando el comportamiento de los caudales calculados para el Río de la Plata (Fig. 42) existe un leve aumento del caudal diario justo los días del evento. Los caudales descargados para la fecha superaron por muy poco el promedio mensual (Febrero), también superaron el promedio anual (1993) y, por mucho, el promedio de 45 años de observaciones.

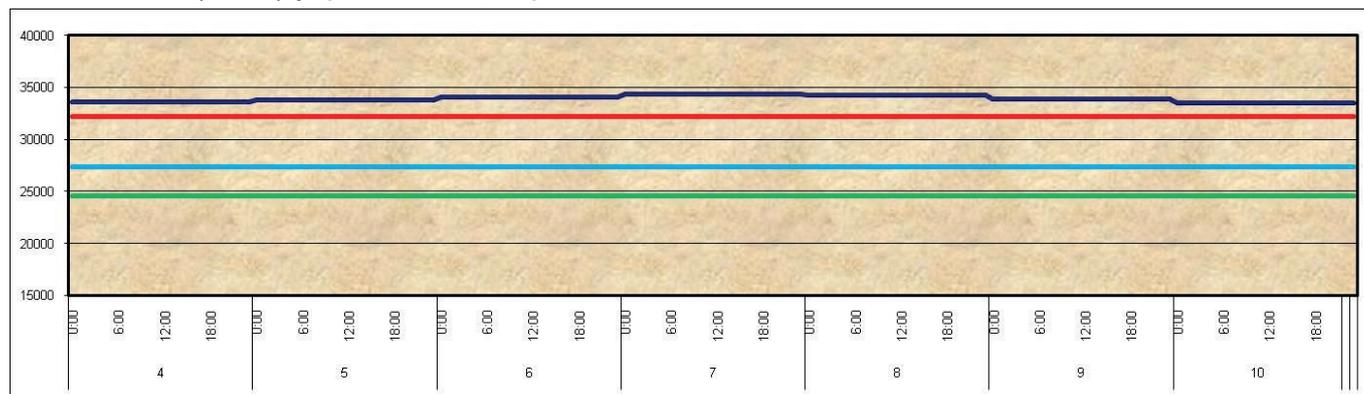


Figura 42. Caudales del Río de la Plata (azul=los días del evento extremo, rojo=promedio mensual de febrero 1993, celeste=promedio anual 1993 y verde=promedio tomado de 45 años) medidos en m<sup>3</sup>/s.

Para este evento probablemente, el nivel del mar alcanzado haya sido reforzado por los caudales registrados en esa época. Estudios anteriores (Nagy, et. al., 2005) que analizaron la perturbación atmosférica ocurrida en este mismo evento, manifiestan que se produjo un persistente viento del Sur-Este acompañado de intensas precipitaciones.

## 7. Bibliografía.

Balay, M.A., 1961. El Río de la Plata entre la atmósfera y el mar. Publicación H 621, *Servicio de Hidrografía Naval*, Buenos Aires.

Biblioteca del Poder Legislativo (BPL), 2009. Archivos de Prensa escrita (Diarios consultados *El País, La República, El Observador, Últimas noticias, La Mañana, El Diario*).

Boon, J.D., 2004. *Secrets of the Tide: Tide and Tidal Current Analysis and Applications, Storm Surges and Sea Level Trends*. Hollywood Publishing. Chapter 2 pp. 13–end. ISBN 1904275176.

CARP (Comisión Administradora del Río de la Plata) 1990. Estudio para la evaluación de la contaminación en el Río de la Plata. Informe de Avance 1989, ISBN 950-99583-0-1. 2 volúmenes, 422 pp.

Defant, A. 1961. *Physical Oceanography*, vol.2 *Pergamon Press*, New York

D'Onofrio E., Fiore M. and S. Romero, 1999. Return Periods of extreme water levels estimated for some vulnerable areas of Buenos Aires. *Continental shelf Research*, 4: 341-366.

Framiñan, M.B., M.P. Etala, E.M. Acha, R.A. Guerrero, C.A. Lasta and O. Brown, 1999. Physical characteristics and processes of the Río de la Plata estuary in G.M Perillo, M.C. Piccolo, M. Pino (Eds), *Estuaries of South America, their geomorphology and dynamics*, Springer-Verlag, Berlin, 161-194 pp.

IPCC, 2001<sup>a</sup>. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. *Cambridge University Press*, USA, 881 pp.

Lanfredi, N., Schmidt, S. y J. Speroni, 1979. Cartas de corrientes de Marea (Río de la Plata). *Departamento de Oceanografía SIHN*, IC-IT-79/03.

López Laborde, J. y G.J. Nagy, 1999. Hydrography and Sediment Transport Characteristics of the Río de la Plata. In G.M Perillo M.C. Piccolo, M. Pino (Eds), *Estuaries of South America; their geomorphology and dynamics*. Ch 7, Springer-Verlag, Berlin 137-159 pp.

Nagy G.J., C.M. Martínez, R.M. Caffera, E.A. Forbes, A.C. Perdomo, G. Pedrosa, y J. López Laborde, 1997. The Hydrological and climatic setting of the Río de la Plata. In: *The Río de la Plata. An environmental overview*. Publ. Dalhousie University, Canada. Ch 2: 17-68 pp.

Nagy G.J., V. Pshennikov and P Robatto, 2003. Monthly variability of salinity at Montevideo, Río de la Plata's frontal zone, in response to ENSO fluctuations and to the River Uruguay Flow (1998-2000), 2003. Contribution N° 1 in *The Río de la Plata: Research to Manage the Environment, Fish Resources and the Fishery in the saline front*. D Vizziano, P Puig, C Mesones, GJ Nagy (Eds). EcoPlata, Programme, Montevideo, Uruguay. 21-30 pp.

Nagy G.J., M. Gómez-Erache y V. Fernández., 2007. El Aumento del Nivel del Mar en la costa uruguaya del Río de la Plata: Tendencias, vulnerabilidades y medidas para la adaptación. *Revista Medio Ambiente y Urbanización, Cambio climático: Vulnerabilidad y Adaptación en ciudades de América Latina*,. IEED-AL, Bs. As, Argentina. López. Vol 67: 77-93 pp.

Thurman, H.V., 1994. *Introductory Oceanography*, 7th edition, New York, NY 276 pp.

Unidad de Cambio Climático. MVOTMA. 2005. Análisis de la estadística climática y desarrollo y evaluación de escenarios climáticos e hidrológicos de las principales cuencas hidrográficas del Uruguay y de su zona costera. Caffera R.M. Bidegain M. Nagy G. Ed. MVOTMA. 84 pp.