

# Eventos Hidrometeorológicos Extremos. Caracterización y Evaluación de Métodos de Predicción de Eventos Extremos de Clima y de la Hidrología en la Cuenca del Plata

José A. Marengo  
Angel Menéndez  
Alexandre Guetter  
Terri Hogue  
Carlos R. Mechoso

**RESUMEN:** En este artículo se revisa los extremos de lluvia e hidrológicos en la cuenca del Plata. Uno de los problemas principales en la cuenca es la definición de “extremos” para lluvia y eventos hidrometeorológicos extremos (EHE). Estos no significan necesariamente lo mismo para un meteorólogo o para un hidrólogo, y esto motiva que prácticamente no existe una definición común de EHE en los países de la cuenca, ni mucho menos estadísticas regionales confiables y lo suficientemente largas para estudiar tendencias e identificar variabilidades de largo plazo o cambios. Se observa que muchos de los estudios hechos en cada país usan metodologías y valores límites de definición de extremos de lluvia/hidrológicos, que hacen muy difícil una integración regional. En este informe se hace un relevamiento sobre el estado actual de las actividades de predicción, detección, monitoreo de EHE en los diferentes países de la cuenca, así como de los criterios para decisiones de alertas hidrológicas que puedan afectar los diferentes sectores de la sociedad. Se detectó también que una de las debilidades de los sistemas regionales y nacionales de alertas es la falta de personal y recursos humanos, computacionales y financieros para operar con la misma eficiencia que en Europa o Norte América. En tanto que Argentina tiene un sistema de alerta hidrológico que operan bien en su parte de la Cuenca del Plata, Brasil tiene este sistema solo en la ciudad de São Paulo.

**PALABRAS-CLAVE:** extremos, clima, Cuenca del Plata.

**ABSTRACT:** In this article a review is made of extreme rainfall and hydrological events in the La Plata Basin. One of the main problems in the basin is the definition of an “extreme” for rainfall and extreme hydrometeorological events (EHE). These terms may have different meaning for a meteorologist or a hydrologist, and implies that there are not a reliable and long term statistics of EHE or intense rainfall events in each country that could help in identifying long term variability and changes in extremes. It has been observed that many studies performed in the basin at the level country use definitions and thresholds for the definition of rainfall extremes and EHE that make almost impossible a regional integration. In this report we make an analysis of the current state of activities linked to prediction, detection and monitoring of EHE in the different countries of the basin, as well as a review of the criteria used for identification and implementation of hydrologic alert of EHE that could affect society. There are discussions of the weaknesses of the regional and national alert systems, being the most important the lack of funding, personnel and computer resources, that determines that the systems can not operate with the same efficiency as in alter systems in the US or Europe. While in Argentina there is an alert system that operates quite well in their side of the La Plata Basin, in Brazil similar system operates only in the city of São Paulo.

**KEYWORDS:** extremes, climate, La Plata River.

## INTRODUCCIÓN

La Cuenca del Plata (CP) es particularmente vulnerable a los extremos de temperatura y precipitación. En este artículo se hace una evaluación de eventos hidrometeorológicos extremos (EHE) en la CP desde el punto de vista meteorológico e hidrológico. Esta revisión incluye también las causas meteorológicas y variabilidad temporal importantes para entender los aspectos operacionales de monitoreo y previsibilidad desarrollados por los centros meteorológicos e hidrológicos en la región. Es difícil definir lo que son extremos hidrometeorológicos, pues diferentes definiciones puede considerar ya sea las características físicas o los impactos. Los impactos incluyen pérdidas económicas, pérdidas de vidas, etc., y las causas físicas pueden incluir los sistemas meteorológicos responsables por las lluvias intensas, que pueden ser cuantificadas considerando límites estadísticos expresados como lluvias por encima de algún valor durante un corto periodo, y que pueden generar descargas de ríos mayores que un valor crítico, o también inundaciones en áreas urbanas.

Tanto las inundaciones como las sequías producen importantes impactos socioeconómicos, y es importante desarrollar sistemas de predicción y alertas que permitan minimizar sus impactos. La ocurrencia de estos fenómenos naturales no encuentra en la sociedad una planificación adecuada para enfrentarlos en situaciones de emergencia, y muchas veces ni existen mecanismos confiables de predicción de estas situaciones. El desafío asociado para enfrentar estos fenómenos involucra el desarrollo de sistemas de predicción de eventos extremos, de acciones de planificación necesarias para mitigar los impactos, y de un buen manejo de los posibles conflictos resultantes de la ocurrencia de estos eventos.

También se hace un relevamiento sobre el estado actual de las actividades de detección, monitoreo y predicción de EHE en los diferentes países de la CP, así como de los criterios para decisiones de alertas hidrológicas que puedan afectar los diferentes sectores de la sociedad. Se da cierto énfasis a las inundaciones como ejemplos de EHE y en la parte operacional a las tareas de operación de embalses y reservorios para generar energía hidroeléctrica en toda la cuenca. Se discute también el papel de las instituciones que producen predicciones operacionales en corto, medio y largo plazo, así como de las instituciones que colectan las predicciones meteorológicas y de EHE

y que determinar los diversos grados de alerta para el gobierno y la sociedad.

Una de las debilidades en la CP es en lo que respecta a la ausencia de una climatología de la totalidad de los fenómenos atmosféricos severos considerados que generan extremos de lluvia, o de criterios comunes para definir extremos de lluvia desde el punto de vista meteorológico que puedan ser usados por investigadores que trabajan en impactos y vulnerabilidad a lluvias intensas e inundaciones.

Es común la existencia de no relevamientos de eventos extremos de lluvia, y fundamentalmente la falta de un criterio común para definir lo que sería un evento extremos de lluvia, o la definición de un valor límite de descarga o nivel de ríos que pueden dar lugar a inundaciones intensas que constituyen un EHE. Para los tomadores de decisiones a nivel de gobiernos local y federal y operadores de sistema hidroeléctrico, la definición de EHE que pueden general inundaciones varía, y también varía de país en país, haciendo difícil comparaciones e integraciones a nivel de toda la cuenca.

Muchos de los fenómenos meteorológicos adversos y EHE que provocan daños no tienen registros continuos por periodos largos de tiempo para definir climatologías y tendencias. Tampoco existen estadísticas de una evaluación económica de pérdidas asociadas a estos extremos, y por eso aún carecen de la debida atención de la sociedad y de las instituciones responsables. Las inundaciones son los eventos de mayor impacto social y que a la vez se presentan como un problema común en toda la cuenca. Casos importantes fueron las inundaciones de Blumenau en 1983 y Santa Fe en 2003.

En relación a la predicción meteorológica y de EHE, se observa una cierta ventaja de Brasil en términos de predicción meteorológica, usando técnicas como "ensemble forecasting" o predicción por conjuntos para predecir eventos meteorológicos y que pueden ser usadas para aplicaciones de los diferentes usuarios. Así se determinan las alertas hidrológicas, con criterios que pueden variar de estado a estado. En el caso de la ciudad de São Paulo, existe un sistema avanzado de alerta hidrológico comparable a los sistemas sofisticados de Europa y Norte América. Cuenta con personal entrenado, modelos avanzados y observaciones de lluvia por radar y de la red hidrometeorológica telemétrica, y a partir de análisis de modelos y monitoreo de condiciones es que se emiten las alertas por medio de Internet, radio y televisión. Este sistema tan sofisticado no existe en

otras capitales de Brasil. En Argentina, la ventaja en relación a Brasil está en el Alerta Hidrológico, que funciona para la parte argentina de la CP.

Una combinación de estos dos esfuerzos o programas y de instituciones de los dos países podría ayudar a determinar sistemas de alerta meteorológico e hidrológico común para toda la CP. Finalmente, con fines comparativos, se analizan experiencias de sistemas de predicción de EHE en el Reino Unido. Para una revisión de programas y de predicción de EHE en otros continentes sugerimos al lector a referirse el trabajo de Marengo et al. (2004), donde se analizan las experiencias en Francia, Estados Unidos y Australia.

## ANTECEDENTES

A continuación se describen algunos detalles generales sobre EHE, desde el punto de vista meteorológico e hidrológico. Se identifica las situaciones meteorológicas que pueden conducir a la presencia de lluvias extremas, así como la presencia de fenómenos meteorológicos que puedan ser responsables por la dinámica de estos eventos extremos así como su variabilidad espacial y temporal. Para una revisión sobre eventos extremos de lluvia y sus tendencias en América del Sur así como los mecanismos meteorológicos de extremos de lluvia, sugerimos al lector de revisar los trabajos de Marengo et al. 2004, Haylock et al. 2006, Alexander et al 2006 y Marengo 2006.

### Sistemas meteorológicos productores de extremos de lluvia

En general, los eventos extremos de precipitación son causados por una gran variedad de sistemas meteorológicos y casi en todas las escalas de tiempo. Según algunos estudios de eventos extremos de lluvia en el sur y sudeste de Brasil (Severo 1994, Carvalho et al. 2004, Espírito Santo y Satyamurti 2002, Teixeira 2004), la ocurrencia de un evento de lluvia intensa en estas regiones es precedida por los siguientes patrones meteorológicos, en orden de importancia:

1. Fuerte circulación del norte (Amazonia) que llega por Paraguay y Noreste de Argentina en los niveles bajos de la atmósfera al este de los Andes, especialmente en el verano (llamado Jet de niveles bajos de la América del Sur o SALLJ)
2. Vaguada en la troposfera media que advecta vorticidad negativa y que conduce a una baja

de la presión en superficie a lo largo de todo el año

3. Convergencia de flujo de humedad en la troposfera baja sobre la región sur de Brasil y el noreste de Argentina, en todas las estaciones del año, pero más frecuentemente en el verano
4. Formación o identificación de un centro de baja presión o vaguada en superficie sobre el norte de Argentina y Paraguay, en todas las estaciones del año
5. Intensificación del jet de altos niveles a lo largo de la región sur, especialmente en invierno

Estas configuraciones de patrones meteorológicos así como la cuantificación de la influencia de estos campos en las lluvias intensas pueden servir a los meteorólogos operacionales como predictores en el diagnóstico de situaciones favorables a la ocurrencia de lluvias extremas en el sur de Brasil y en la CP en general.

Carvalho et al. (2004) estudiaron eventos de precipitación intensa en el estado de São Paulo, asociados a los patrones convectivos de grande escala en la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS). Un patrón alterno de anomalías de lluvia entre el Sur y el Sudeste de Brasil se debe al desplazamiento de la ZCAS. Se observó que cuando la actividad convectiva de la ZCAS es intensificada, se espera una disminución de la lluvia en la parte alta de la CP en el oeste de Argentina, Uruguay y el sur de Brasil. Espírito Santo y Satyamurti (2002) identificaron eventos extremos de precipitación en la región Sudeste de Brasil durante 1997 a 2001, y encontraron que la mayoría de los casos ocurrieron entre la primavera y verano. Algunos de estos extremos estuvieron asociados a temperaturas de superficie del mar más altas en el litoral sur y sudeste de Brasil, bloqueos en el Atlántico Sur y la presencia de la ZCAS.

Liebmann et al (2004) analizaron relaciones entre los eventos extremos de lluvia en la región y la parte alta y media de la cuenca con la presencia del SALLJ (Marengo et al. 2004). Eventos extremos de precipitación fueron definidos durante el periodo 1976-97 cuando la precipitación en cada estación pluviométrica es igual o mayor que el 10% de la media climatológica de verano (Diciembre-Febrero). Ellos identificaron que los casos de intensos eventos y SALLJ corresponden a los eventos lluvia intensa en el sudeste de Brasil.

Otro de los sistemas que producen lluvia en la CP son los llamados Sistemas Convectivos de Mesoscala

(SCMs), y entre ellos lo Complejos Convectivos de Mesoescala (CCMs) que fueron definidos por Maddox (1980) como un sistema meteorológico que poseen una espesa capa de nubes frías constituida por los topes de los cúmulos nimbus, con una forma aproximadamente circular (diámetro del orden de algunas centenas de kilómetros) y tiempo de vida relativamente más largo que el de un sistema convectivo aislado (mínimo de 6 horas). Velasco y Fritsch (1987) adaptaron la técnica objetiva de clasificación introducida por Maddox (1980) y mapearon las regiones de ocurrencia de CCMs en la América del Sur. Los CCMs son los responsables por una parte de la precipitación que ocurre en el sudeste de América del Sur y por la formación de tempestades severas en esta región. Según Velasco y Fritsch (1987), el ciclo de vida de los CCMs sugiere que el horario de máxima intensidad ocurre de madrugada (en Paraguay o Argentina) en la mayoría de los casos observados, aunque estudios más recientes muestran que los SCMs son más intensos en los horarios próximos a la puesta del sol, y a lo largo del año son más intensos entre la primavera y otoño con los máximos. Entre los sistemas meteorológicos que exceden a la escala sinóptica y que tienen gran influencia sobre las precipitaciones, se destacan los bloqueos atmosféricos, relativamente frecuentes sobre América del Sur tanto sobre el continente como en las proximidades de la costa de los Océanos Pacífico y Atlántico (Berbery y Nuñez 1989). Todos estos mecanismos y fenómenos meteorológicos causantes de extremos de lluvia y temperatura son revisados en detalle en Marengo (2006).

#### Variabilidad intra-estacional y eventos extremos de lluvia

Marton (2000) muestra que los episodios más intensos de lluvia están asociados a la coincidencia entre las fases favorables de intensificación de la convección en ciclos intraestacionales de 7-13, 15-30 y 30-60 días. Considerando que existe una relación entre bajos valores de radiación de onda larga (OLR) en el sudeste de Brasil (asociada a mayor precipitación), y subsidencia en el sur (asociada a menor precipitación), es posible que exista alguna relación entre episodios de precipitación organizada por la ZCAS y sequía en el subtropical de América del Sur. Para el sur de Brasil y otros tramos en la parte superior de la cuenca del Río Uruguay no hay aún estudios detallados sobre la relación entre variaciones intraestacionales y eventos extremos de lluvia. Ferraz

y Grimm (2001) realizaron un estudio de este tipo para el estado de São Paulo, y observaron modos de variabilidad intraestacional en verano (noviembre a marzo) para una región que comprende el sur y suroeste de Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina. Ellas hicieron un análisis de componentes principales de los totales diarios de precipitación en el período de 1965 a 1990, filtrados en la banda de 10-100 días. El modo más importante de en esta banda tiene fuertes componentes sobre la ZCAS (modo ZCAS), con importantes contribuciones para la lluvia en el estado de São Paulo. Para verificar si este modo ZCAS realmente causa impactos en esta región, fue hecho un estudio complementario basado en datos de deslizamiento de tierra en este estado, que normalmente están asociados a eventos extremos de lluvia. Comparando las fechas de los eventos de lluvia extrema con las de ocurrencia de deslizamientos de tierra durante el verano, se observó que 66% de los deslizamientos estaban asociados a las fases extremas de este modo ZCAS.

#### Variación anual de los eventos de extremos de lluvia en la cuenca del Plata

Eventos extremos de lluvia aparecen más frecuentes e intensos en las estaciones de transición. Teixeira (2004) identifica 178 eventos entre 1991 a 2001 y hay indicaciones de que los eventos ocurren principalmente en primavera con el mes de octubre presentando el mayor número de casos seguido de abril. Marengo et al. (2004) muestran mayor frecuencia de días con eventos de SALLJ en los meses de verano (noviembre-febrero), y que aparecen asociados al SALLJ que transporta humedad desde la Amazonía hasta el sudeste de Brasil y Sur de Brasil-Norte de Argentina. Si se considera al SALLJ como fuente de humedad, la mejor asociación entre SALLJ más frecuentes y frecuencia de lluvias extremas se presenta en la primavera, y con menor frecuencia en los meses de verano, pero que representa un porcentaje significativo para producir eventos extremos en el sudeste de Brasil en verano.

#### Variabilidad interanual de eventos extremos de lluvia en la cuenca del Plata

Es un hecho conocido que durante los episodios del El Niño existe una alta probabilidad de ocurrencia de inundaciones en amplios sectores del Sur de Brasil, Paraguay, Este de Argentina y Uruguay, como ocurrió por ejemplo durante los eventos del

1982-83 y 1997-98. Teixeira (2004) observa para el sur de Brasil mayor número de eventos extremos de lluvia valores más altos entre 1993-94 y 1997-98. Este último fue un año de fenómeno El Niño muy intenso. En 1996 y 1999-2000 el número de eventos extremos de lluvia fue más bajo siendo que estos fueron años de La Niña. Sin embargo, la correlación entre el número de eventos extremos de lluvia y las anomalías de temperatura de superficie del mar (TSM) en el Pacífico Ecuatorial, indicativo de El Niño, es baja, similar a la correlación entre la frecuencia de eventos de SALLJ y estas anomalías de TSM en el Pacífico Ecuatorial.

La señal de El Niño en lluvia sobre el sur de Brasil es más débil en verano que en la primavera, y exhibe considerable variabilidad espacial (Piscottano et al. 1994, Grimm et al. 2000, Cazes et al. 2003). Aceituno (1988) encontró señales de aumento de lluvia en la región de Argentina subtropical durante años de El Niño especialmente en Noviembre-Diciembre, y aunque las asociaciones sean estadísticamente significativas, El Niño no explica más del 30% de la variancia de lluvia en estas regiones.

Las asociaciones entre El Niño, La Niña para la región de noreste de Argentina y Uruguay son diferentes en el verano y primavera. Ropelewski y Halpert (1987; 1989) muestran cambios en la distribución de precipitación además de cambios en la media lo que podría estar relacionado a cambios en la frecuencia de eventos extremos esporádicos de lluvia. Grimm y Pscheidt (2001) explican que en el Sur de Brasil durante años de El Niño (La Niña) se observa un gran aumento (disminución) de eventos severos o extremos de lluvia en noviembre comparado con años normales. En el período analizado por ellos (1963-92) ocurrieron 9 eventos El Niño y 6 de La Niña, y 15 fueron años normales. Se observaron 36 eventos extremos durante el mes de noviembre en años de El Niño, 3 durante años de La Niña y 23 en años normales. Ellos concluyen que hay un gran aumento en la frecuencia de eventos extremos durante años El Niño durante 1963-92. Eventos intensos de lluvia en el otoño pueden ser responsables por los valores muy altos de descargas en el Río Paraná en territorio Argentino (Camilloni and Barros, 2003).

Barros et al. (2004) verificaron en un análisis de las series del Paraná en 1900 a 1992 qué inundaciones ocurrieron con mayor frecuencia y fueron mayores en la década 1982-92 en comparación con el inicio del siglo, y que los cambios en la variación intra anual de descargas puede ser explicada en términos

de cambios de la distribución intra anual de precipitación asociada a la operación de los reservorios en el sistema Paraná que demoran en la propagación de las inundaciones. En el trabajo de Camilloni y Barros (2003) sobre el río Paraná se muestra que las dos terceras partes de los picos máximos (y de las mayores contribuciones desde la zona central de la alta cuenca del Paraná) ocurrieron durante eventos El Niño, y que ninguno ocurrió durante la fase La Niña. En el caso del río Uruguay, Camilloni (2005) explican que su cuenca es parte de una región que tiene una fuerte señal de precipitación durante El Niño, cuando se producen, en general, los mayores caudales mensuales, asociados la mayoría de las veces a picos diarios extremos. Ellos establecen que las anomalías más intensas de descargas mensuales ocurren mayormente durante el Niño, que parecen inducir grandes anomalías positivas de lluvias en la región.

La CP es una de las regiones con frecuentes CCMs, como identificado inicialmente por Velasco y Fritsch (1987). Estos sistemas son más frecuentes en el otoño y son responsables por grande parte del total de lluvias. Al sur de 20oS, la frecuencia de CCM varía entre 20 a 50%, aumentando durante los años de El Niño. Sin embargo, su localización y trayectoria varía de un El Niño para otro. El SALLJ suele contribuir a la formación de líneas de inestabilidad y de CCMS responsables por grandes extremos de precipitación, especialmente durante el final de la primavera e inicio del verano

### Variabilidad y tendencias a largo plazo de eventos extremos de lluvia en la CP

La agudización de los eventos de lluvias extremas y consecuentemente de EHE, tanto en intensidad y frecuencia, se asocian a variabilidad climática a escala interanual, interdecadal consecuencia de variabilidad natural de clima, y al cambio en el uso de la tierra asociadas a intervenciones antrópicas. Los trabajos recientes de Haylock et al (2006) y Alexander et al (2006) detectaron tendencias positivas en la frecuencia de días muy húmedos y de eventos intensos de lluvia que pueden producir inundaciones (definidas en Haylock et al. 2006) desde 1950 hasta 2003, y estos cambios son más intensos durante primavera, verano y otoño.

Previamente, en centro y este de Argentina se ha triplicado el número de casos registrados con precipitaciones mayores a los 100 mm en menos

de 48 horas, variando de 5-15 en el periodo de 1959-79 hasta 30-35 en el periodo de 1991-2002 (Barros 2004). En el sur de Brasil la frecuencia de lluvias fuertes se ha incrementado significativamente en el verano (Xavier et al 1992, 1994).

Sin embargo, las proyecciones de los modelos climáticos del Cuarto Informe del IPCC AR4 (Tebaldi et al 2006) para el periodo de 2071-2100 no muestran consistencia en alguna señal de aumento de extremos de lluvias en relación al clima presente. La incertidumbre es grande pues en tanto que algunos modelos muestran aumento en la tendencia de extremos de lluvia, otros muestran una tendencia a reducción.

En relación a extremos hidrológicos, la mayor parte de extremos ocurrieron a partir de mediados de la década del 60, llamando la atención no sólo la magnitud de sus picos (los mayores,  $60.200 \text{ m}^3/\text{s}$  en Julio de 1983 y  $54.000 \text{ m}^3/\text{s}$  en junio de 1992, en Corrientes) - comparable al de las crecidas del siglo XIX y comienzos de este siglo -, sino el aumento de su frecuencia, consecuencia probablemente de los cambios en la incidencia de los sistemas climáticos de gran escala que provocan inundaciones, con implicancias fundamentales en la estimación de los riesgos. En cuanto a la duración, es notable la permanencia del suceso de 1982/3, en el cual los caudales superaron los  $30.000 \text{ m}^3/\text{s}$  durante 273 días, en la estación mencionada. A largo plazo, los estudios de Milly et al (2005) identificaron tendencias positivas en las descargas en la CP en el siglo XX, lo que es también simulado por 16 modelos del IPCC AR4 para el clima del presente. Los escenarios futuros de clima los mismos modelos muestran con grande certeza que las descargas aumentarán en el futuro (2071-2100) en relación al clima actual, pero nada se menciona en relación a tendencias de EHE.

## RELACIONES ENTRE EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN Y LOS EHE

Camilloni y Barros (2003) estudiaron la relación entre las precipitaciones y las crecidas extremas del río Paraná. Ellos determinaron que los picos extremos en la estación Corrientes se originan usualmente en las zonas central y sur de la CP, especialmente en la zona central. Además, establecieron que la contribución de la zona norte de la cuenca alta del Paraná no sólo es generalmente pequeña, sino que, a veces, es negativa. Un estudio similar para el río Uruguay fue llevado a cabo por Camilloni (2005). De él surge que los

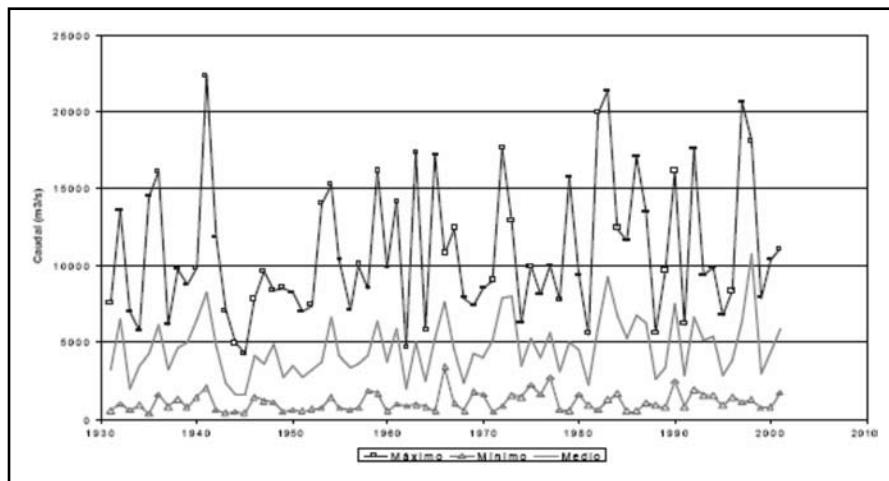
caudales extremos diarios durante la estación cálida están relacionados a lluvias intensas en la cuenca superior, particularmente en el período de 9 a 12 días antes de que se produzca el máximo de caudal en la estación Salto Grande. En cambio, los caudales extremos diarios durante la estación fría se deben mayormente a grandes lluvias sobre y aguas arriba de Salto Grande en dos períodos separados: de 9 a 12 y de 1 a 4 días antes de la fecha del pico de caudal en Salto Grande. A partir de estas observaciones surge que es posible el pronóstico hidrológico para la estación cálida, pero, en cambio, se necesitan pronósticos meteorológicos para la estación fría. Un resultado adicional interesante del estudio de Camilloni (2005) es que alrededor del 50% de las mayores crecidas del río Uruguay pueden ser el resultado del incremento de precipitación debido a la convergencia de flujos de humedad en la región del SALLJ. Además, ellos observan que la frecuencia de ocurrencia del SALLJ que provocan crecidas es algo mayor en la estación fría que en la cálida.

Para el río Paraguay, Barros et al. (2004) establecieron que el origen de los mayores picos de crecida son la cuenca alta y media del río Paraguay, y que su ocurrencia no depende del volumen de agua almacenado en el Pantanal. Adicionalmente, verificaron que el aporte del Pantanal no correlaciona apreciablemente con la contribución de las cuencas alta y media. Ellos explican que la situación es distinta para las crecidas anuales ordinarias, ya que el pico anual de junio se produce por el lento aporte del Pantanal, cargado con las precipitaciones del verano, más el aporte de la cuenca alta y media del propio río Paraguay por las precipitaciones de otoño. Además, la disminución de caudal de junio a febrero se debe, en invierno, a la poca precipitación y, en primavera y verano, a la gran evaporación.

## INTENSIDADES DE LOS EHE DEL PARANÁ Y EL URUGUAY

Para caracterizar la intensidad de los EHE de los ríos Paraná y Uruguay, Jaime y Menéndez (2002) establecieron como criterio tomar el caudal (medio mensual) de exceso (para crecidas) o defecto (para bajantes) respecto de sendos umbrales de aguas altas y aguas bajas, respectivamente. Para definir estos umbrales se efectuó un análisis de frecuencia de ocurrencia de eventos extremos y se eligieron los correspondientes a una recurrencia de 4 años, representativa de la periodicidad de El Niño. Pero en el

Máximos, mínimos y medios anuales de los caudales medios mensuales del río Uruguay en Concordia para el período 1931-2001



análisis se distinguieron los tres períodos hidrológicos identificados por García y Vargas (1998): medio (hasta 1943), seco (hasta 1970) y húmedo (hasta 2001), de modo que los valores umbrales resultan distintos para cada uno de ellos. En el río Paraná se observa que de 1970 en adelante no sólo se han producido las mayores crecidas sino también las bajantes relativamente más intensas, lo que está en relación con el aumento de la variabilidad apuntada en la sección anterior. Para este período, la intensidad de las mayores crecidas del Paraná se encuentra entre 15,000 y 20,000 m<sup>3</sup>/s mientras que la de las bajantes están entre 500 y 1000 m<sup>3</sup>/s, con un pico singular de 2000 m<sup>3</sup>/s en diciembre de 1971.

En el caso del río Uruguay, los registros en Concordia muestran que con excepción de los picos de 1941, 1983, y 1998 que superaron los 20000 m<sup>3</sup>/s, la intensidad de las mayores crecidas se encuentra en el rango de 10000 a 17000 m<sup>3</sup>/s, observándose incluso una leve disminución para el período posterior a 1970 respecto de lo registrado desde alrededor de 1990 hasta la actualidad.

En relación a las crecidas más importantes, en la Tabla 1 se muestra los diez episodios más extremos, en cuanto a caudal pico, en cuatro sitios. De esta información, surge que sobre el río Paraná y el río Paraguay, la mayor parte de los eventos más importantes ocurrieron a partir de 1965 y en cuanto al río Uruguay, cuatro de los eventos más importantes desde 1898 ocurrieron a partir de 1972. Existen referencias sobre crecidas extraordinarias ocurridas en Corrientes en 1612 y 1748, mientras que la disponibilidad de

datos en cuanto a niveles fluviales del siglo XIX permite realizar estimaciones del caudal asociado a las crecidas notables del 1812, 1858 y 1878. Los eventos 1905/06, 1989/90 y 1991/2 representan episodios de inundación más típicos sobre el río Paraná y tienen mucho en común; en especial las inundaciones de 1905/6 y 1991/2. Una característica particular - y llamativa para una cuenca tan grande - es la rapidez con que el hidrograma crece en cada uno de estos eventos. En las dos semanas anteriores al arribo del pico a Corrientes, la tasa de crecimiento de los tres eventos es casi idéntica (1.400 m<sup>3</sup>/s por día). Los hidrogramas son notablemente simples en cuanto a la forma; solo el correspondiente al episodio de 1992 presenta aportes diferenciables de distintas subcuencas de aguas arriba.

## PREDICCIÓN Y PREVISIBILIDAD DE EXTREMOS DE LLUVIA

La predicción de tiempo y clima por ensembles o conjuntos es una técnica muy usada en los centros meteorológicos del mundo. Esfuerzos significativos en el CPTEC ([www.cptec.inpe.br](http://www cptec.inpe.br)) han sido dedicados al desarrollo de productos que sintetizan las informaciones del ensemble, de forma que ayuden a los meteorólogos operacionales a interpretar los productos. La forma más condensada de obtener información del ensemble consiste en obtener la media del mismo, asumiendo que todos los miembros son igualmente probables; de esta forma, no se le atribuye un peso mayor a alguna predicción específica. La

media del ensemble puede ser considerada como una aproximación determinística de la mejor estimación como de la atmósfera futura, especialmente en la predicción a medio plazo.

Una información muy importante que puede ser obtenida de la predicción por ensembles está relacionada a la capacidad de estimar la incertidumbre asociada a un determinado patrón atmosférico previsto. Esta incertidumbre se analiza en función de la dispersión entre miembros del ensemble, y se puede definir como la desviación estándar en relación a la media del ensemble. Esta dispersión puede ser calculada para cualquier variable deseada, y generalmente son graficados en el mismo gráfico de la predicción media del conjunto.

La predicción de probabilidades es uno de los productos de gran aplicabilidad y que puede ser generada a partir de la predicción de tiempo por ensembles. Si se considera un valor límite de lluvia pre establecido, por ejemplo una precipitación acumulada mayor de 1 mm en 24 horas (lo que representa prácticamente la posibilidad o no de tener lluvia), puede estimarse especialmente cuáles son las regiones donde es más probable la ocurrencia de lluvia en las últimas 24 horas de predicción del modelo. Para regiones que muestran probabilidades mayores a 65 %, para un valor límite de 1 mm, las condiciones atmosféricas indican posibilidad de ocurrencia de precipitación, aunque no se pueda afirmar nada sobre la intensidad, apenas que debe haber precipitación. Por otro lado, regiones que presentan probabilidades menores a 35 %, para el valor límite de 1 mm, las condiciones atmosféricas indican que existen pocas chances de ocurrencia de algún tipo de precipitación. Para tratar de determinar cuál es la categoría de precipitación prevista para una determinada región, la cantidad de precipitación puede ser clasificada en categorías conforme a la información en la Tabla 2, y entonces calcular las probabilidades para los demás valores límite graficando todas las curvas en una misma figura.

El sistema actual de predicción por ensembles del CPTEC es utilizado con el modelo global con una resolución horizontal de aproximadamente 100x100 Km, y así es prudente considerar que las probabilidades previstas tienen como origen la precipitación resultante de los patrones sinópticos de la atmósfera, por eso no se descarta la posibilidad de la influencia de fenómenos localizados, que pueden determinar la condición de tiempo local.

## SISTEMAS Y EXPERIENCIAS OPERACIONALES DE DETECCIÓN DE EXTREMOS DE LLUVIA Y PREDICCIÓN DE EHE EN PAÍSES DE LA CUENCA DEL PLATA

En la parte Brasileña de la cuenca de la CP aun no existe ningún programa sistemático de observación y control de inundaciones. En algunos trechos del río Paraná se observa que las alertas de inundaciones son hechas basadas en la información de niveles de ríos o en la predicción meteorológica de corto plazo, como son los casos del tramo inferior del río Paraná, en el Pantanal y en los ríos Paraguay e Iguazú. Los alertas son emitidos por los municipios, basados en informaciones de los centros meteorológicos de los estados que comprenden la cuenca, que juntamente con las agencias federales de meteorología (CPTEC, INMET) informa a la Defensa Civil, quien toma las acciones de alertas, evacuaciones, etc.

### Experiencias en alerta hidrológica en Brasil: SAISP y CGE en el estado de São Paulo y el SIMEPAR en el estado de Paraná

En el estado de São Paulo, existe un sistema de alertas de inundaciones con base en radar meteorológico. Este sistema es el Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP), que trabaja juntamente con el Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE) para alertas en la ciudad de São Paulo. SAISP es operado por la FCTH-Fundación Centro Tecnológico de Hidráulica, y genera boletines sobre lluvias y sus consecuencias en la ciudad de São Paulo cada 5 minutos. El monitoreo hidrológico de la SAISP es hecho por la red telemétrica del Departamento de Águas y Energía Eléctrica del estado de São Paulo (DAEE) y por un radar meteorológico del FCTH en Salesópolis, en São Paulo. Los principales productos de SAISP son mapas de lluvia observada por el radar de Ponte Nova, lecturas de los puestos de la red telemétrica del Alto Tieté, Cubatão, Registro e Piracicaba, así como mapas con predicciones de inundaciones en la ciudad de São Paulo. Mayor información sobre SAISP puede ser encontrada en el web site [www.saisp.br](http://www.saisp.br).

El Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE, [www.cgesp.org.br](http://www.cgesp.org.br)) del estado de São Paulo tiene como objetivo minimizar los efectos dañinos de lluvias, especialmente durante el período en que estas se presentan mas intensas (noviembre a abril), a través del monitoreo de las condiciones atmosféricas. El CGE utiliza toda la infra-estructura de comunicación ya instalada, lo que permite una

visualización de los principales sistemas viarios con operadores que transmiten información por radio en varios puntos de la ciudad de São Paulo. Durante el período de lluvias intensas, el CGE actúa con un plantel permanente durante las 24 horas del día, y tiene condiciones de informar, con precisión y antecedencia, las condiciones meteorológicas en todos los puntos de la ciudad de São Paulo, que pueden causar problemas de anegación e inundaciones. Las imágenes de radar, actualizada cada 5 minutos, ayudan al equipo de la CGE en el monitoreo de lluvias, e indicando el potencial pluviométrico de sistemas meteorológicos. Es posible acompañar las descargas en los canales que alimentan la cuenca media del río Tieté, y así verificar el nivel de los mismos. Otras fuentes de información pueden ser utilizadas para el desarrollo de las tareas operacionales del CGE. Así, el centro puede declarar alertas y emergencias en los diferentes puntos de la ciudad.

El Instituto Tecnológico SIMEPAR, anteriormente llamado de Sistema Meteorológico del Paraná, es una entidad del sector privado y de interés público, que tiene como finalidad consolidar una infraestructura física y humana para proporcionar informaciones (datos y predicciones) meteorológicas, hidrológicas y ambientales. Los productos que ofrecen son del tipo meteorológico y climatológico (estudios climatológicos, diagnósticos y asociaciones entre El Niño, lluvias y descargas de ríos, así como impactos de cambio climático en el ciclo hidrológico. Otro tipo de información es de tipo hidrometeorológica, como predicciones para operación hidroenergética. Con la integración de la información de radar, rayos y satélites y las predicciones de los modelos, el SIMEPAR también hace predicciones de eventos extremos o severos, con énfasis en los impactos en el sector eléctrico. Mayor información puede ser encontrada en el web site ([www.simepar.br](http://www.simepar.br)).

#### **Experiencias en alerta hidrológica en Argentina: El Centro de Alerta Hidrológica del Instituto Nacional del Agua (INA)**

Las inundaciones son un problema mayor en la CP. La pérdida de vidas humanas y cuantiosos daños a la infraestructura y a la economía son desastres recurrentes debido a la severidad, periodicidad y permanencia en el tiempo de estos eventos, particularmente en las sub-cuenca de los ríos Paraná, Uruguay y en la cuenca baja del Río Paraguay. El Centro de Alerta Hidrológica de Argentina informa que la duración promedio de las inundaciones ocurridas

entre 1987 y 1998 ha sido entre los 7 y los 40 días. Sólo en Argentina los daños directos e intangibles de estas inundaciones se estimaron en 2,640 millones de dólares y 235,000 personas evacuadas. Las inundaciones del período 1991-92 significaron para este país una perdida de 513 millones de dólares, más de 3 millones de hectáreas inundadas y 122,000 personas evacuadas. Las inundaciones también causan graves daños en las ciudades costeras y a las actividades económicas en la cuenca del río Uruguay. Durante el evento de El Niño de 1982-83 en el Uruguay medio fueron afectadas más de 40,000 personas, en más de 70 ciudades; las pérdidas estimadas por este evento en toda la Cuenca del Plata se ha estimado en más de un billón de dólares. Mayor información sobre el Centro de Alerta Hidrológica puede ser encontrada en el web site [www.ina.gov.ar/alerta/mensaje.htm](http://www.ina.gov.ar/alerta/mensaje.htm).

Este Sistema de Alerta ha tenido sustanciales progresos en información y pronósticos, mejorando sus respuestas en las distintas inundaciones que sufrió la cuenca desde entonces (crecidas de 1987, 1989, 1992, 1995 y 1997/1998) y también en las bajantes pronunciadas (1985, 1988 y 1999/2000) que tiene singular interés para programar la actividad portuaria con relación a la navegación fluvial. Por ese motivo, en la actualidad el Sistema también efectúa pronósticos de estiaje. Los resultados prácticos de esta experiencia, que ya supera los quince años, demuestran que valió la pena el esfuerzo de desarrollar el proyecto. A modo de ejemplo, es interesante observar que durante la crecida producida en el comienzo del año 1998 se emitieron los avisos de alerta que daban cuenta de la llegada de una onda importante con antelación de cuarenta días y se brindaron pronósticos precisos de alturas de agua con una anticipación de siete días para la ciudad de Corrientes, doce días en Goya, veinte días en La Paz y 25 días en Santa Fe (Marengo et al. 2005).

#### **EXPERIENCIAS DE OTROS PAÍSES EN LA PREDICCIÓN DE INUNDACIONES Y EHE: REINO UNIDO**

La Agencia Ambiental (Environmental Agency, EA) del Reino Unido produce predicciones de inundaciones en todas las cuencas en las regiones de Inglaterra y Gales. La EA ha sido la principal autoridad con énfasis en un sistema de alertas de inundaciones centralizado desde que la agencia tomó esta responsabilidad de la Autoridad Nacional de Ríos en 1995. En 1996, el Primer Ministro dirigió

la agencia para “*analizar procedimientos de alertas a inundaciones, y en consulta con autoridades locales y los servicios de emergencia para mantener planos por escrito de los procedimientos de alertas*” (Haggett, 1998). La agencia tiene cerca de 8000 personas trabajando con presupuesto anual de £560 millones y ofrece predicciones de inundaciones en una grande variedad de cuencas, variando entre pequeñas cuencas urbanas de 50 km<sup>2</sup> a grandes cuencas como la del Río Támesis con más de 50 000 km<sup>2</sup> (Haggett, 1998). La EA ha estado mejorando las predicciones de ríos y los alertas continuamente desde 1996. Sin embargo, estas iniciativas recibieron nuevos ímpetus como consecuencia de las inundaciones de Pascua 1998. Inundaciones severas que ocurrieron en este año mostraron deficiencias en la habilidad de la EA para proveer predicciones mas acertadas y emitir alertas a tiempo. Mejoras en estas áreas han recibido prioridad, y la performance de la EA durante las inundaciones de otoño de 2002 fue evaluada como muy efectiva y acertada.

La organización actual de la EA (desde 2000) consiste de 8 Oficinas Regionales que colectan y procesan datos de predicciones y los transforman en productos de predicción: Región Noreste (Yorkshire), región Midlands, región de Anglia, región del Támesis, región del Sudoeste, Región de Gales y la región Noroeste (DEFRA, 2002). Las predicciones generadas en cada región son diseminadas a las 26 Oficinas Regionales las que son responsables por crear e implementar sistemas de alerta en sus regiones. La EA mantiene más de 1000 puestos telemétricos hidrológicos y más de 6000 puestos telemétricos de lluvia, que colectan datos cada 15 minutos, que proveen a la EA con datos. La EA también tiene una fuerte asociación con el Servicio Meteorológico Inglés (UK Met Office) para recibir datos de predicciones, incluyendo precipitación y temperatura, así como onda y viento. La EA también recibe una variedad de productos de radar de las redes del Reino Unido y de Europa.

Actualmente, cada región en el Reino Unido usa un modelo hidrológico que según los hidrólogos regionales y usuarios puede satisfacer sus necesidades. Estos modelos varían desde modelos empíricos simples (como son los API) hasta modelos tipo “blackbox” o modelos conceptuales de lluvia-descarga, como es el Modelo Conceptual del Río Támesis (DEFRA, 2002). Cada región usa su propia selección de esquemas de “routing models” o modelos de propagación que simulan la red hidrográfica en una cuenca.

En los últimos años, las varias regiones han iniciado una aproximación para alcanzar una consistencia nacional, y estudios están siendo desarrollados para evaluar y analizar los sistemas operacionales actuales en las 8 regiones con la esperanza de sintetizar los varios sistemas de predicción. Es reconocido dentro de la EA que existe un claro potencial para desarrollar más y mejores modelos de predicción de ríos. En un informe posterior a las inundaciones de Otoño de 2000 (DEFRA, 2002), la EA concluyó que en regiones donde modelos de predicción de descargas en tiempo real existían, ellos fueron usados como información cualitativa de apoyo a las decisiones de emitir alertas de inducciones, y no necesariamente como predicciones cuantitativas. Esto fue atribuido a la falta de confianza en las simulaciones del modelo, lo que también fue basado en una falta de confianza en la información de predicción de tiempo y la recalibración y actualización de los modelos (frecuentemente, debido a falta de recursos).

Varias regiones en la EA usan actualmente modelos conceptuales de lluvia-descarga. Un modelo conceptual, el Institute of Hydrology Conceptual Model (IHCM), en uso en la región Yorkshire está siendo expandido para uso en la región del Támesis. El modelo Thames Conceptual Model (TCM) se basa en el modelo de 2-capas de Penman. El modelo contiene una capa próxima a la superficie igual a la profundidad de las raíces de la vegetación. Esta capa de suelo drena (solamente cuando está saturado) hacia un nivel más profundo de suelo de profundidad indefinida. Evaporación ocurre en la capa más superficial al ritmo de evaporación potencial Penman e ( $E$ ), y con un ritmo menor ( $Ea$ ) en la capa más profunda del suelo cuando hay humedad almacenada en este nivel (Moore, 1999). Esta zona tiene una renovación por medio d precipitación, y después de un porcentaje inicial (generalmente del 15%) comienza la percolación a los niveles más bajos no saturados.

Predicciones de lluvia y datos de radar del UK Met Office son usados como variables de entrada en modelos de lluvia-descarga en Yorkshire. Predicciones de descargas de ríos generados por estos modelos están conectadas a modelos hidrodinámicos en tiempo real. RFFS fue desarrollado con un sistema de telemetría más antiguo que usa transferencia de información del sistema de telemetría como base para corregir o actualizar predicciones. Predicciones hidrológicas actualmente corren automáticamente cada dos horas, lo que no permite ajustes de los hidrólogos. Modelos

TABLA 1  
Ordenamiento de los caudales pico en tres sitios en la cuenca del Plata (Fuente: Marengo et al. 2004)

Río Paraná en Posadas 1901-1993			Río Paraguay en Puerto Bermejo 1910 - 1993			Río Paraná en Corrientes 1904 - 1993		
Año(1)	Mes	m³/s	Año(1)	Mes	m³/s	Año(1)	Mes	m³/s
1904/5	Ma	53.200	1982/3	Jun	10.600	1982/3	Jul	60.200
1982/3	Jul	50.900	1991/2	Jun	9.200	1991/2	Jun	54.000
1991/2	Jun	48.800	1987/8	Ago	8.600	1904/5	Jun	50.000
1989/90	Ene	42.800	1965/6	Mar	8.400	1989/90	Feb	43.800
1986/7	May	38.800	1992/3	Nov	8.400	1965/6	Mar	43.800
1935/6	Jun	38.800	1981/2	Ago	8.200	1928/9	Mar	39.100
1965/6	Feb	37.900	1988/9	Set	8.100	1911/12	Ene	39.000
1922/3	Jun	37.700	1939/40	Jun	8.000	1986/7	May	38.000
1928/9	Mar	36.000	1911/12	Ene	8.000	1981/2	Jul	38.000
1983/4	Set	32.700	1978/79	Jun	8.000	1922/3	Jun	38.100

TABLA 2  
Clasificación de las precipitaciones acumuladas en 24 horas en categorías y sus respectivos valores límite  
(Fuente: CPTEC/INPE)

Categorías	Valor límite (mm)
Lluvia o no lluvia	>1.0
Débil	>5.0
Moderada	>10.0
Fuerte	>20.0

como el Thames Catchment (TCM) y Probability Distributed Model (PDM) incluyen datos de radar y telemetría para permitir predicciones en varios puntos de la cuenca. En la región del Río Támesis, el sistema permite predicciones en 28 puntos en de la cuenca. Esto va a ser aumentado a 50 puntos en los próximos años (DEFRA, 2002). El en Támesis, las predicciones de tiempo del UK-Met Office de hasta 5 días son recibidos en el Centro de Predicción de Tiempo de Londres antes de las 09:00 horas diariamente, con actualizaciones a las 16:00 horas. Alertas de lluvias intensas también son recibidas. En la actualidad, todas las regiones reciben información de radar separadamente del UK-Met Office.

## SUGERENCIAS

Algo que nosotros creemos es altamente relevante a cualquier actividad futura de gerenciamiento en la CP sería la implementación de un sistema integrado de predicciones hidrológicas. Un sistema centralizado de predicciones hidrometeorológicas integrados funciona muy bien en Estados Unidos y Europa, y tal vez sea una solución factible para la cuenca. Este sistema debe involucrar instituciones y especialistas (científicos y operacionales) de todos los países de la cuenca que pueden trabajar en un solo centro, o en forma distribuida con oficinas regionales en cada país, similar a los Estados

Unidos. Esto también establece una necesidad de integración entre los servicios meteorológicos y las agencias responsables por predicciones hidrológicas y las que emiten alertas de los países da CP. Informaciones muestran que operadores de embalses para generación de hidroenergía usan predicciones hidrológicas ya sean sus propios modelos hidrológicos u otros generados por empresas privadas de consultaría. Estos modelos corren forzados por informaciones de redes meteorológicas, algunas de ellas operadas por telemetría, de los diversos servicios meteorológicos y centros de la región, y con las predicciones de tiempo emitidas por los servicios meteorológicos de Argentina y Uruguay, así como del CPTEC en Brasil y el NCEP en USA,

obtenidos por la internet o por medio de contactos directos con estos centros.

Debilidades de este sistema es que los usuarios usan un solo modelo hidrológico diseñado para sus necesidades, y que no permite una aplicación para otros operadores ni una comparación entre modelos o predicciones. Otras debilidades incluye la no existencia un intercambio de información (especialmente lluvia) entre los países de la cuenca, necesaria para correr modelos hidrológicos; la falta de monitoreo de los tributarios de los grandes ríos pues esto complica la predicción de ondas de crecidas que pueden afectar ciudades, como fue en el caso de la inundación de Santa Fé de 2003.

## Referências

- ACEITUNO, Patricio. 1988. On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate. *Mon. Wea. Rev.*, v.116, n.3, p.505-524.
- ALEXANDER, L., et al. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, v.111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290, 2006
- BARROS, V., et al. 2004. The major discharge events in the Paraguay River. *Journal of Hydrometeorology*, v.5, n.6, p.1161-1170.
- BARROS, V., 2004. Segundo informe del Proyecto de la Agenda Ambiental de Argentina, componente Cambio Climático. Buenos Aires : Fundación Torcuato Di Tella, 22 p.
- BERBERY, E. H. ; NÚÑEZ, M. N. 1989. An observational and numerical study of blocking episodes near South America. *J. Climate*, v.2 , n.11, p.1352-1361.
- CAMILLONI, I.A. ; BARROS, V.R. 2003. Extreme discharge events in the Paraná River and their climate forcing. *Journal of Hydrology*, v.278, p.94-106.
- CAMILLONI, I. 2005. Extreme flood events in the Uruguay River of South America. *VAMOS Newsletter*,n.2, p.23-25. Disponível em: <<http://www.clivar.org/organization/vamos>>
- CARVALHO, L.; JONES, C.; LIEBMANN, B., 2004. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. *J. Climate*, v.17, n.1, p.88-108.
- CAZES, G.; ROBERTSON, A.; MECHOSO, C. R. 2003. Seasonal Dependence of ENSO Teleconnections over South America and Relationships with Precipitation in Uruguay. *J. Climate*, v.16, n.8 p.1159-1176.
- ESPIRITU SANTO, C.; SATYAMURTY, P. 2002. Eventos extremos de precipitação na região Sudeste do Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro : SBM, 2000. 1 CD-ROM.
- FERRAZ, S. E. T. ; GRIMM, A. M., 2001. Relação entre variabilidade intrazonal no Sudeste do Brasil e deslizamentos de terra no Estado de São Paulo. DIALOGO INTERAMERICANO DE GERENCIAMENTO DAS AGUAS, 4., 2001, Foz do Iguaçu, PR. *Proceedings...* Curitiba: , 1 CD-ROM.
- GARCIA, N., ; VARGAS, W. 1998. The temporal climatic variability en the Río de la Plata basin displayed by the river discharges. *Climate Change*, v.38, p.359-379.
- GRIMM, A. M.; BARROS, V.. R ; DOYLE, M. R., 2000. Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. *J. Climate*, v.13, p.35-58.
- GRIMM, A. M. ; I. PSCHEIDT, I., 2001. Padrões atmosféricos associados a eventos severos de chuva na primavera durante El Niño, La Niña e anos neutros. In: CONGRESO ARGENTINO DE METEOROLOGIA, 8., CONGRESSO DA FEDERAÇÃO LATINO-AMERICANA E IBÉRICA DE SOCIEDADES DE METEOROLOGIA, 9., 2001, *Anais...*, Argentina : Centro Argentino de Meteorólogos e Federação Latino-Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia. 1CD-ROM
- HAGGET, C. 1998. An integrated approach to flood forecasting and warning in England and Wales. *J. CIWEM*, v.12, p.425-432.
- HAYLOCK, M. R. et al. 2006. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, v.19, p.1490-1512.

- JAIME, P.; MENENDEZ, A.N. 2002. Análisis del Régimen Hidrológico de los Ríos Paraná y Uruguay, Informe INA -LHA 05-216-02, Comitente: Proyecto Freplata.
- LIEBMANN, B. et al. 2004. Subseasonal Variations of Rainfall in South America in the Vicinity of the Low-Level Jet East of the Andes and Comparison to Those in the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, v.17, p.3829-3842.
- MADDOX, R. A. 1980. Mesoscale convective complexes. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, v.61, p.1374-1387.
- MARENGO, J. et al. 2004. Climatology of the LLJ east of the Andes as derived from the NCEP reanalyses. *Journal of Climate*, v.17, p.2261-2280.
- MARENGO, J. Et al. 2004. Caracterización y Evaluación de Métodos de Predicción de Eventos Extremos de Clima y de la Hidrología en la Cuenca del Plata. Predicción Hidroclimática. Componente 2a: Definición del Sistema de Predicción Hidroclimática, Subcomponente 2a4, Tema 3: Eventos Hidrometeorológicos Extremos. FMAM /PNUMA OEA /FONPLATA /OMM. Informe Final, Noviembre de 2004, 120 p.
- MARENGO, J. A. 2006. Identificação e descrição dos fenômenos meteorológicos que modulam a atividade convectiva e a variabilidade térmica da região. Relatório Parcial 1. Projeto Estudos sobre Determinação das Variáveis Explicativas e correlações entre fenômenos climáticos e Precipitação/Temperatura. São Paulo: CPFL-CPTEC-FBDS. , 43 p.
- MARTON, E. 2000. Oscilações Intrasazonais Associadas à Zona de Convergência do Atlântico Sul no Sudeste Brasileiro. Tese. (Doutorado), USP. Instituto Astronómico e Geofísico, São Paulo SP.
- MILLY, P. C. D.; DUNNE, K. A.; VECCHIA, A. V. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing. *Climate Nature*, v.438, doi:10.1038/nature04312.
- MOORE, R. J. 1999. Real-time flood forecasting systems: Perspectives and prospects. In: Casale, R. and Margottini, C. (eds.) *Floods and landslides: Integrated risk assessment*. G, Berlin, p.147-189.
- PISCIOTTANO, G. et al. 1994. El Niño-Southern Oscillation impact on rainfall in Uruguay. *J. Climate*, v.7, n.8, p.1286-1302.
- ROPELEWSKI, C.; HALPERT, M., 1987. Global and regional scale precipitation patterns and associated the El nino with the Southern Oscillation. *Mon Wea Rev*, v.115,n.8 p.1606-1626
- ROPELEWSKI, C.; HALPERT, M., 1989. Precipitation patterns associated with the High index phase of the Southern Oscillation. *J. Climate*, v.2, n.3, p.268-284.
- SEVERO, D. L. 1994. Estudo de casos de chuvas intensas no estado de Santa Catarina. Dissertação (Mestrado em meteorologia), INPE, São Jose dos Campos, SP. 121p.
- TEBALDI, C. et al. 2006. Going to the extremes An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. *Climatic Change*. v.79, n. 3, p.185-211.
- TEIXEIRAM. S. 2004. Atividade de ondas sinópticas relacionada a episódios de chuvas intensas na região Sul do Brasil. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). INPE, São Jose dos Campos. 94 p
- TILFORD, K.A. et al. , 2002. Flood Forecasting – Real Time Modelling. R&D Technical , Department for Environment, Food & Rural Affairs, Environment Agency. Report W5C -013/5/TR.
- VELAZCO, I.; FRISTCH, J., 1987, Mesoscale convective complex in the Americas. *J. Geophys. Res.*, v.92, p.9591-9613.
- XAVIER, T.M.B.S., Silva Dias, M. A. F., XAVIER, A. F. S. 1992, Tendências da Pluviometria na Grande São Paulo e influencia dos processos de urbanização e industrialização. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7., 1992, Campos do Jordão . Anais... São Paulo : SBM, p.220-224,
- XAVIER, T.M.B.S.; XAVIER, A. F. S.; Silva Dias, M. A. F. 1994. Evolução da precipitação diária num Ambiente Urbano: O caso da cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.9, p.44-53.

**José A. Marengo** CPTEC/INPE, Rodovia Presidente Dutra, km. 40, 12630-000. Cachoeira Paulista, São Paulo, Brasil

**Angel Menéndez** Instituto Nacional del Agua (INA) Osaka 1232, C1405DAB. Buenos Aires, Argentina

**Alexandre Guetter** Universidade Federal do Paraná Departamento de Hidráulica e Saneamento Curitiba, PR, Brasil

**Terri Hogue** University of California, Los Angeles Civil and Environmental Engineering Dept. Los Angeles, California, USA

**Carlos R. Mechoso** University of California, Los Angeles. Department of Atmospheric Sciences. Los Angeles, California, USA