

# Caracterización del clima de la cuenca del Plata

Vicente Barros  
Alice Grimm  
Andrew Robertson  
Mario Núñez

**RESUMEN:** El objetivo de este artículo es presentar de forma ordenada los aspectos de la variabilidad y el cambio climático que influyen en los recursos hídricos superficiales, en especial los caudales de los más grandes ríos de la cuenca. Para ello se han recopilado resultados dispersos en la literatura científica y en algunos informes técnicos que por otra parte han sido utilizados para la elaboración del *Programa Marco para la Gestión Sostenible de los recursos hídricos de la cuenca del Plata, en relación con los efectos hidrológicos de la variabilidad y el cambio climático*.

Las tendencias de los caudales de los principales ríos, así como las de la precipitación sobre la cuenca en las últimas décadas fueron en general positivas e importantes. Se muestra el fenómeno de la importante amplificación de la variabilidad y tendencias de los caudales respecto de los volúmenes de precipitación y se discute su causa principal así como su relación con el cambio de uso de suelo, concluyendo que es necesaria una profundización del conocimiento de estos aspectos: También, se presentan evidencias de un cambio hacia una mayor frecuencia de las grandes crecidas del río Paraguay y en los cursos inferiores del Paraná y Uruguay. Igualmente, han aumentado las precipitaciones intensas y sus consecuencias con el aumento de las inundaciones de carácter local. Surge por lo tanto la necesidad de adaptar la actual infraestructura y los sistemas de alerta temprana a estas nuevas condiciones, en particular mejorando el conocimiento sobre los sistemas sinópticos responsables de las precipitaciones intensas.

Finalmente, se discuten las proyecciones climáticas y sus implicancias hidrológicas para este siglo. Se identificó una potencial amenaza sobre las actividades basadas en los recursos hídricos de la cuenca, por la reducción de los caudales debido a la mayor evaporación resultante del aumento de la temperatura.

**PALABRAS-CLAVE:** clima, cuenca del Plata, caudales.

**ABSTRACT:** The objective of this article is to present a review of the variability and climatic change features that influence the surface water resources, especially the discharges of the largest rivers of the basin. In doing that, results dispersed in the scientific literature and in some technical reports were connected and organized. These results have also provided input for the elaboration of the *Framework Program for the sustainable management of the water resources of the Plata basin, in relation to the hydrologic effects of the variability and climate change*.

The trends of the main river discharges, as well as those of precipitation over the basin during the last decades were, in general, positive and significant. There are a large amplification of the variability and trends of the river discharges with respect to the precipitation volumes. The causes of this behaviour as well as its relation with the land use change is discussed, concluding that is necessary to increase the knowledge of these aspects: Evidences of a change toward a greater frequency of extreme discharges of the river Paraguay and in the lower courses of the Paraná and Uruguay are presented. Likewise, there is an important increase in the frequency of intense rainfalls and of its impacts, like local floods. As a result, there is a need to adapt the existing infrastructure and the early warning systems to these new conditions, particularly improving the knowledge of the synoptic systems responsible for the intense rainfalls.

Finally, the climate projections for this century and their hydrologic implications were discussed. It was identified a potential threat on activities depending on water resources due to a possible reduction of river discharges as a result of increased temperature and consequently of more evaporation.

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

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo es una apretada síntesis del informe denominado “*Sistema de Predicción Hidroclimática de la Cuenca del Plata y adaptación a los efectos hidrológicos de la variabilidad y el cambio climático*”, preparado por un grupo de expertos en el año 2004 y primera mitad del año 2005 dentro de la preparación del Programa Marco para la Gestión Sostenible de los recursos hídricos de la cuenca del Plata, en relación con los efectos hidrológicos de la variabilidad y el cambio climático. Del mismo, se resume aquí sólo la parte climática.

Se trata de una puesta al día del conocimiento del clima medio de la región y de su variabilidad en escalas que van de la ínter estacional hasta la interdecadal. No se incluye en este trabajo las importantes tendencias climáticas e hidrológicas de la cuenca del Plata, que forman parte de otra contribución. Luego de hacer una rápida descripción del clima medio y de su variabilidad, se discute la predictabilidad en las distintas escalas y se hacen una serie de recomendaciones para mejorar el conocimiento de los flujos de humedad y de los principales sistemas precipitantes de la región, que pasan por la mejora del sistema observacional y el diseño de un experimento de campo. Dada la naturaleza impredecible de ciertos aspectos del clima regional se discute finalmente la conveniencia del uso de pronósticos por ensambles.

## EL CLIMA MEDIO

La temperatura media anual en la Cuenca del Plata varía desde aproximadamente 13° C en el sur hasta más de 25° C en el noroeste, siendo la amplitud media anual en la parte central de alrededor de 12° C. En invierno, el gradiente es marcadamente meridional con valores que en julio van desde más de 20° C en el extremo norte de la cuenca hasta unos 8° C en el sur. Durante el verano, el gradiente tiene una componente zonal respondiendo al contraste entre océano y continente con temperaturas que en enero superan los 28° C en el Chaco y oeste de Argentina, mientras que en las áreas costeras de Brasil, Uruguay sólo alcanzan 23° C. No hay simetría en las estaciones de transición, siendo la primavera más cálida que el otoño.

Los valores más altos de humedad sobre la cuenca alcanzan 24 g/Kg en enero, mientras que en julio sólo alcanzan a 14 g/Kg en el noroeste de la cuenca. Durante el mes de julio se registran los mínimos

anuales con 2g/Kg cerca de la Cordillera de Los Andes a aproximadamente 25° S.

En la troposfera media y alta predominan los vientos del oeste con las clásicas perturbaciones de este tipo de circulación de latitudes medias y subtropicales. En verano en la alta troposfera se encuentra la alta boliviana que afecta toda la región subtropical. La región de los Oestes intensos avanza hacia el norte en invierno y retrocede hacia el sur en verano. Al norte de 40 °S, la circulación próxima a la superficie es dominada por los centros de altas presiones casi estacionarios del Pacífico y el Atlántico Sur. La mayor parte del tiempo hay un centro de baja presión en el noroeste de Argentina y sur de Bolivia, originada en la interacción entre los Andes, vientos del oeste en altos niveles y el calentamiento de la superficie.

La Figura 1 muestra para los meses de enero y julio los campos del viento en el nivel de 850 hPa. El campo medio de viento aporta humedad a la cuenca desde el continente tropical por la circulación del noroeste durante todo el año, y del Atlántico en invierno. La circulación atmosférica en capa bajas se caracteriza por la continuación de los vientos que penetran a la región ecuatorial desde el Atlántico hasta los Andes siendo el flujo bloqueado por la pendiente orográfica y desviado hacia el Sur transportando vapor de agua desde el Amazonas hacia la mayor parte de la cuenca. Hay evidencias de que un jet de capas bajas está frecuentemente embebido en el flujo meridional de niveles bajos (Virji 1981; Marengo et al 2002). Simulaciones numéricas también muestran este jet en varias estaciones del año (Berbery y Collini 2000).

El régimen de precipitación de la cuenca del Plata se ilustra sintéticamente en la Figura 2. Los campos medios de precipitación no son explicados solamente por el flujo medio de humedad porque la contribución de las componentes transientes de la convergencia de humedad a la precipitación mensual es importante (Labraga et al, 2000), pero hay una concordancia cualitativa entre la precipitación y transporte medio de vapor de agua.

Al este de los Andes, hay solamente dos fuentes posibles de vapor de agua para el sudeste de América del Sur: el Océano Atlántico y la floresta tropical sudamericana. Esto tiene un efecto importante sobre el ciclo anual de la precipitación. En el invierno, cuando la alta presión del Atlántico Sur penetra sobre el continente, hay un transporte de humedad hacia el sur más intenso en torno de 60 °W, que se origina en el flujo del este proveniente del Océano Atlántico y

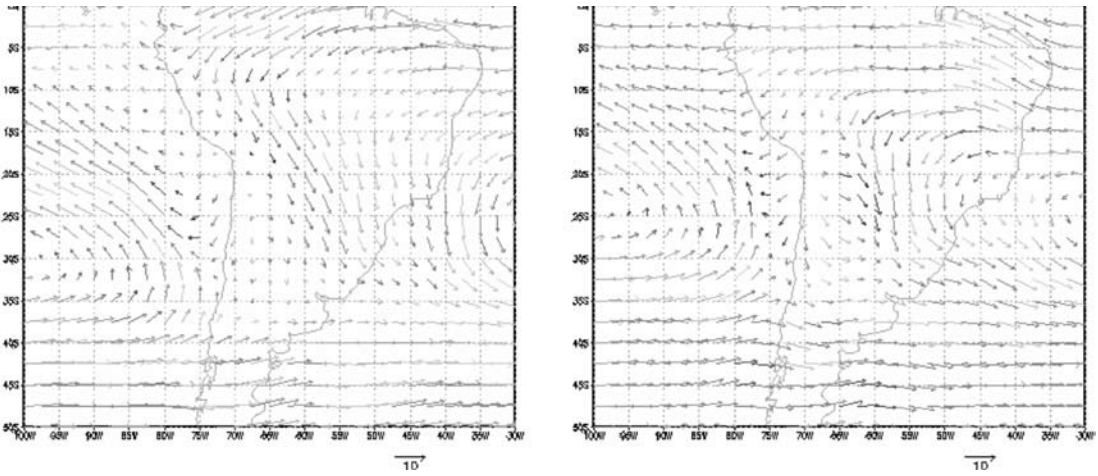


FIGURA 1. Viento medio (m/seg.) en el nivel de 850 hPa para los meses de enero (arriba) y julio (abajo). La flecha al pie de cada panel indica la unidad de la magnitud del viento y los colores indican el rotor del viento.



FIGURA 2. Ciclo anual de la precipitación en la cuenca del Plata. (Grimm et al 2000)

está asociado con una región de máxima precipitación en la parte sur y este de la Cuenca del Plata (Fig. 3 de Grimm et al 1998, Fig. 2 de Doyle y Barros 2002). Por otro lado, al oeste de 60 °W, la precipitación es escasa en la región que en el verano está ocupada por la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) en el norte de la cuenca.

En la parte estival del año, La ZCAS aparece como una extensión de la convección tropical del centro del Brasil hacia el sudeste y hasta el Océano Atlántico, en la dirección nordeste-sudeste. El flujo de humedad que proviene de la floresta tropical, se dirige hacia el sudeste en el subtrópico y converge en la ZCAS con el flujo marítimo de humedad acarreado por los vientos

alrededor de la Alta subtropical del Atlántico Sur. La convergencia de humedad favorece abundante precipitación en esta región. Desde los subtrópicos el flujo medio de humedad se dirige hacia el sudoeste, produciendo significativa precipitación también al sudoeste de la ZCAS, en la Argentina subtropical y en Paraguay. Por lo tanto, en esta parte oeste de la región subtropical también predomina un ciclo anual pronunciado con un mínimo en el invierno y un máximo en el verano, cuando tanto el calentamiento de la superficie como la advección de vapor de agua del norte favorecen la convección.

La parte norte de la Cuenca del Plata (cuencas del alto Paraná y alto Paraguay), al norte de 20°S, presenta un típico régimen monsonico, con una estación lluviosa que se inicia en la primavera y termina en el otoño (principalmente abril) (Gan et al 2004). El mismo régimen prevalece también en oeste de la región subtropical (al sur de 20°S), en el oeste de Argentina y en la región del Chaco. En el este de la región subtropical (al sur de 25°S), el vapor de agua está disponible todo el año, pero las condiciones baroclínicas más intensas ocurren en el invierno debido a que el mayor gradiente latitudinal de temperatura en los subtrópicos que favorece este gradiente por la mayor penetración de los frentes fríos. La actividad sinóptica es responsable por la mayor parte de la precipitación en esta estación en el sudeste de América del Sur (Vera et al 2002). Durante la estación estival, de octubre a abril, los complejos convectivos son frecuentes y responsables de gran parte de la precipitación total, especialmente en las estaciones de transición (Velasco y Fritsch 1987; Laing y Fritsch 2000). Además del invierno, también en las estaciones de transición hay frecuentes ciclogénesis (proceso de formación e intensificación de centros de baja presión) en el este de la región subtropical (Gan y Rao 1991; Rao et al. 1996). El sur del Brasil, donde se encuentra parte de la cuenca del Plata (las cuencas del Uruguay e Iguazú), es una región de transición entre dos regímenes, el del monzón de verano y el de máximos de invierno. Este régimen, también es el del nordeste de Argentina y sudeste de Paraguay y está fuertemente influenciado por los sistemas convectivos de mesoescala (SCM) (Velasco y Fritsch, 1987, y Silva Días, 1987). Los SCMs son sistemas del orden de algunos centenares de kilómetros y tiempo de vida relativamente más largo que un sistema convectivo aislado, esto es de 6 horas, como mínimo.

Satyamurti et al. (1990), Gan y Rao (1991) y Vera y Vigliarolo (2000) hicieron estudios climatológicos sobre la ocurrencia de ciclogénesis en la América del Sur y mostraron que la costa sur de Brasil/Uruguay presenta una alta frecuencia de formación de ciclones, sobretudo en el invierno y primavera. Sin embargo, un número significativo de ciclones también se forma más al norte, en el Chaco, Paraguay y oeste de Río Grande do Sul (cerca de 40%, de acuerdo con Vera et al 2002). El gradiente de temperatura de la superficie del mar (TSM) a lo largo de la costa sur del Brasil en el invierno puede influir en la intensificación y trayectoria de los ciclones (Saravia y Silva Días, 1996 y Vera et al., 2001). Líneas de inestabilidad pueden también causar significativa precipitación en el sur del Brasil, Uruguay y noreste de Argentina (Silva Días, 1987).

## FORZANTES DEL CLIMA

Gran parte de la actual habilidad para la predicción de las medias estacionales o mensuales de la precipitación y la temperatura proviene de la influencia que las condiciones de la superficie (temperatura y humedad) ejercen sobre los patrones de circulación atmosférica. Esta predicción es posible cuando las condiciones de la superficie cambian muy lentamente o son predecibles en las mencionadas escalas. Este es el caso de la temperatura del mar en muchas regiones y de la cubierta de nieve y la humedad del suelo en ciertas áreas continentales. El sur de América del Sur, es una estrecha cuña continental rodeada por inmensos océanos que la rodean, y por lo tanto la mayor parte del trabajo hecho para entender la variabilidad interanual del clima ha girado en torno a las condiciones de la TSM.

La influencia de la TSM en la atmósfera se puede propagar a grandes distancias a través de ondas que dan lugar a patrones de teleconexiones entre anomalías remotas. De esta forma, es como pueden manifestarse forzamientos remotos desde el Pacífico o el Atlántico sobre la cuenca del Plata y por ello, buena parte de la variabilidad climática en las escalas que van desde la ínter estacional a la decádica puede ser entendida a través de tales teleconexiones.

### La Zona de Convergencia del Atlántico Sur

Como ya se mencionó, la ZCAS es una de las características más importantes de la circulación atmosférica de América del Sur durante la mitad cálida del año (Kodama 1992; Figueroa et al. 1995). La

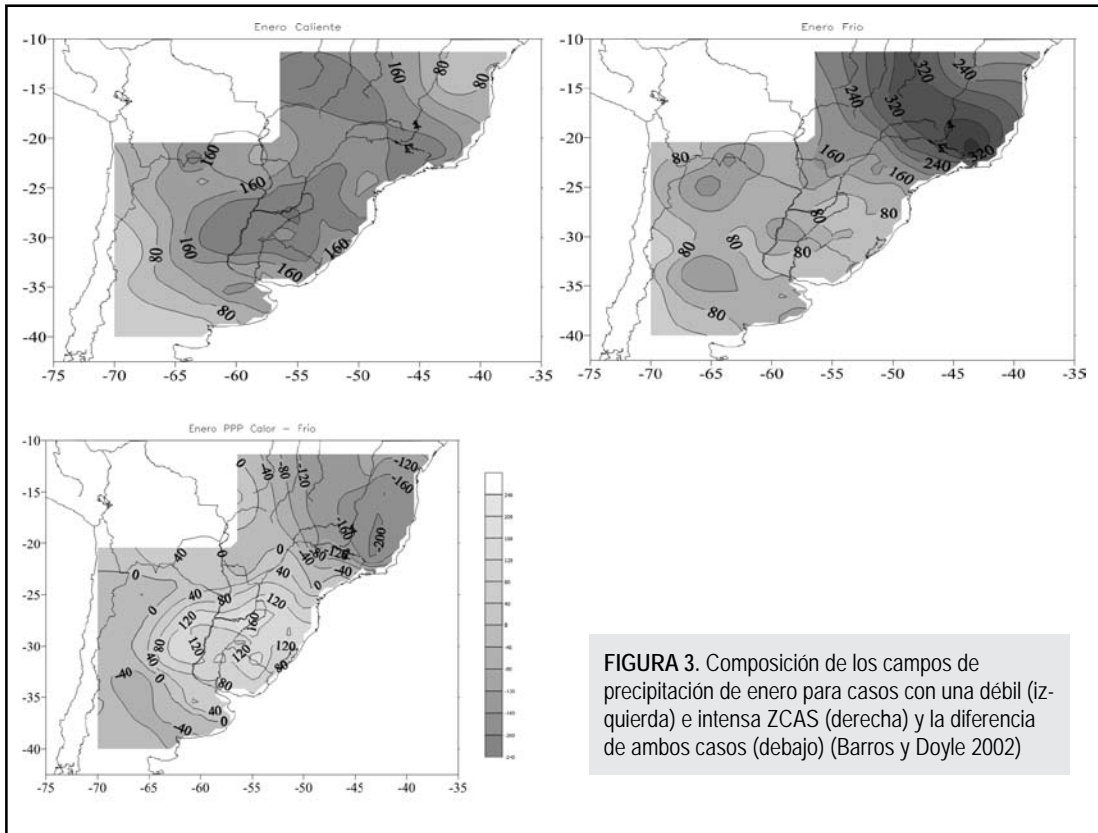
ZCAS presenta fuertes variaciones en su intensidad en varias escalas de tiempo, de la sinóptica hasta la interdecadal, con una similar estructura espacial. Esta última es caracterizada por un dipolo en las anomalías de la lluvia, de forma que cuando la ZCAS es intensa (débil) sobre Brasil en alrededor de  $20^{\circ}$  S y por lo tanto hay fuertes lluvias, hay escasas o nulas (abundantes) precipitaciones hacia el sur, sobre Uruguay y el noreste de Argentina. (Nogués-Paegle y Mo 1997; Doyle y Barros 2002) (Figura 3).

Barros et al (2000) encontraron que, tanto la intensidad como la posición de la ZCAS están relacionadas con la TSM al sur de la misma, desplazándose hacia el norte (sur) y siendo más intensa (débil) cuando esta es más fría (cálida) que lo normal. Esto no implica que la variabilidad de la TSM gobierne la de la ZCAS ya que hay evidencias de un posible mecanismo de feedback entre ambas (Robertson et al

2003). Además, hay evidencias de que las fases de la ZCAS responden al forzamiento de ondas sinópticas desde las latitudes medias, e inclusive con trenes de ondas que se originan en el Pacífico cerca de Australia (Liebmann et al 1999; Robertson y Mechoso 2000 entre otros). Igualmente, tiene influencia de una oscilación de escala ínter-estacional conocida como MJO (Carvalho et al 2004).

### La Influencia del Pacífico

La atmósfera sobre la cuenca del Plata es a veces influida por un patrón de circulación con trenes de ondas conocidos como PSA cuya intrínseca escala de tiempo es del orden de días pero que generan teleconexiones en escalas mayores, (intra-estacional, a interanual, y decadal). La descripción de estos patrones será hecha al tratar la escala interanual en la sección 4.



**FIGURA 3.** Composición de los campos de precipitación de enero para casos con una débil (izquierda) e intensa ZCAS (derecha) y la diferencia de ambos casos (debajo) (Barros y Doyle 2002)

### La Influencia del Atlántico sur

La TSM del Atlántico sur puede afectar la temperatura y la circulación sobre el sudeste de América del Sur. Sin embargo, la TSM del sudoeste del Atlántico Sur presenta gran variabilidad tanto por la confluencia de la corriente fría de Malvinas con la corriente cálida de Brasil, como por la escasa profundidad de la termoclina que hace que la TSM sea rápidamente modificada por la actividad de grandes tormentas que son frecuentes en la región. Esto hace que la relación entre las anomalías de la TSM y la circulación atmosférica sea compleja, ya que esta puede gobernar a la TSM, más que ser simplemente influida por ella.

### VARIABILIDAD CLIMÁTICA INTERANUAL

#### El Niño-Oscilación del Sur

La principal fuente de variabilidad climática en la escala interanual en la Cuenca del Plata es El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), cuyas fases extremas son conocidas como eventos El Niño (EN) y La Niña (LN), que son el principal modo de variabilidad interanual de la TSM en escala global. En efecto, el modo principal de la variabilidad interanual de la precipitación sobre la Cuenca del Plata está relacionado con el ENSO (Barros y Doyle 1997; Zhou y Lau 2001). Por ello, la mayor parte de la presente habili-

dad para predecir el clima del sur de América del Sur está basada en su respuesta media al ENSO.

#### *Anomalías de circulación*

Las teleconexiones sobre la cuenca del Plata son bastante complejas y se propagan por dos rutas distintas (la extratropical y la tropical) mediante una cadena de procesos que influyen en forma distinta a las diferentes partes de la cuenca. Además, ambos tipos de teleconexiones son dependientes de la estación del año. Por eso, el impacto del ENSO sobre la cuenca varía de una región a otra y estacionalmente. Como la propagación de la influencia de la TSM del Pacífico tropical, en su camino hacia América del Sur, es muy dependiente de las condiciones de la circulación de la atmósfera, la precipitación en la cuenca del Plata varía también de un evento a otro, tanto en el caso de EN como de LN.

La teleconexión a través de la región tropical se origina en la alteración de la circulación zonal llamada de Walter. En condiciones neutras (Ni Niño ni Niña), esta celda está conformada por vientos del este en capas bajas y del oeste en la alta troposfera y con movimientos ascendentes sobre la región de Indonesia y norte de Australia, mientras que la rama descendente de la circulación se extiende sobre el

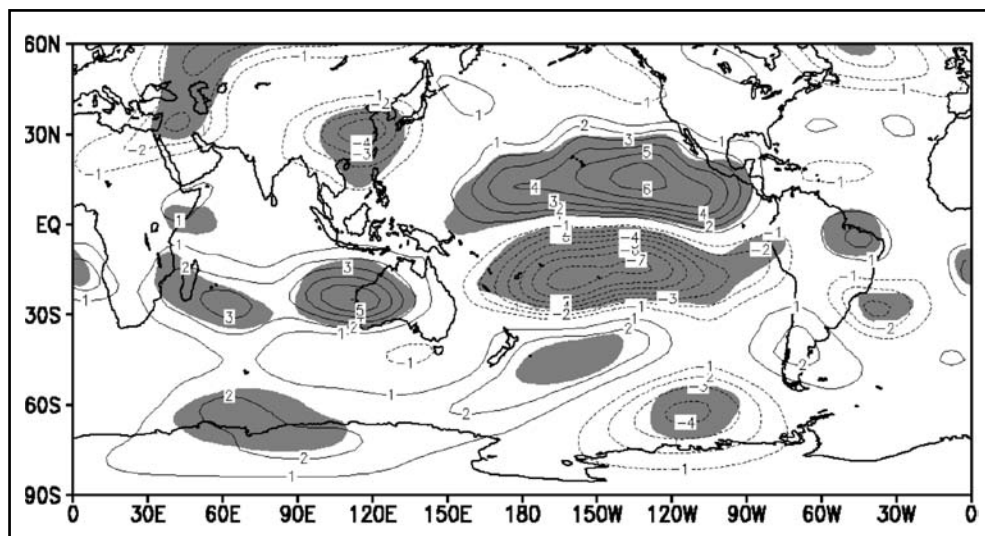


FIGURA 4. Ejemplo de patrón PSA1: anomalías de la función corriente en 200 hPa de OND durante períodos El Niño



Pacífico oriental. En los eventos Niño la rama ascendente se desplaza hacia el centro del Pacífico y la descendente se extiende sobre gran parte de la América del Sur. De este modo, durante El Niño, en la región tropical se inhiben las condiciones favorables para la precipitación.

Además, durante el Niño y la Niña se producen anomalías de circulación en la tropósfera en la forma de un tren de ondas estacionarias barotrópicas que se extienden desde el Pacífico central tropical hasta el mar de Billingshausen, doblando luego hacia el noreste hasta alcanzar América del Sur y el Atlántico Sur. Este patrón de anomalías en la circulación se denomina PSA y aparece en el segundo y tercer modo de variación de la circulación troposférica del Hemisferio Sur (Mo 2000). La región fuente del segundo modo (PSA1) está al este de la línea de la fecha y la del tercero (PSA2) está sobre el este de Australia (Fig. 6).

Aunque con fases diferentes sobre el Pacífico central, ambos patrones PSA, tienden a configurar una circulación anómala, tipo dipolo sobre el sur de América del Sur y el océano Atlántico contiguo. Durante El Niño (La Niña), este patrón de anomalías presenta una circulación anticiclónica (cyclónica) sobre el subtropical y un centro ciclónico (anticiclónico) en latitudes medias. Aunque este patrón varía a lo largo de cada una de las fases del ENSO, con cambios en la posición e intensidad de sus centros, en general su efecto es el incremento (reducción) de la circulación subtropical de los oestes en la alta tropósfera y de la advección de verticidad ciclónica sobre gran parte de la cuenca del Plata, lo cual es consistente con el patrón general de precipitación durante EN y LN (Grimm et al 2000). A través de los patrones PSA se establece una teleconexión entre el ENSO y la ZCAS, que es especialmente intensa durante la primavera austral, cuando las anomalías de la TSM asociadas al ENSO generalmente alcanzan su máximo valor. En esa época del año, el jet subtropical es todavía intenso por lo que su intensificación (disminución) por la circulación asociada al Niño (La Niña) contribuye a favorecer una fuerte señal en la precipitación.

### *Precipitación*

Los coeficientes de correlación entre la precipitación mensual o estacional y los índices del ENSO, aunque significativamente diferentes de cero, son con pocas excepciones no tan grandes como para explicar mas el 30 % de la varianza (Montecinos et

al 2000) y por lo tanto de poca ayuda para el pronóstico mensual y estacional. Otro método seguido por varios autores es el de analizar las anomalías mensuales durante EN y LN con respecto al valor medio climático (Kiladis y Díaz 1989; Ropelewski y Halpert 1987). Ropelewski y Halpert (1996) estudiaron los cambios en la distribución de la precipitación en lugar de los cambios en su valor medio. Esta técnica es más apropiada para tratar extremos esporádicos en la lluvia que puede alterar el valor medio. Además, es más apropiada para la emisión de pronósticos probabilísticos basados en la estadística. Sin embargo, en estos trabajos los autores usaron un muy limitado número de series, por lo que sólo describieron las más gruesas características de gran escala y de la variación estacional. Por ello omitieron el hecho que en esta región hay una ruptura de la relación entre la precipitación y el ENSO durante la parte central del verano (Pisciottano et al 1994; Grimm et al 2000).

Grimm et al (2000), usando también distribuciones de la precipitación, mostraron que sobre la mitad sur de la cuenca del Plata la más significativa señal del Niño es en la primavera (0). En esa estación sobre la mayor parte del este de Argentina, sur de Brasil y Uruguay, hay un corrimiento de la mediana hacia valores mayores durante los eventos EN.

Cuando sólo se consideran los casos del Niño que persisten hasta mayo del año siguiente a la iniciación del evento (mayo (+)), el promedio del campo de precipitación en el otoño (+) presenta también una considerable anomalía significativa que llega a más de 300 mm sobre el área de la triple frontera entre Brasil, Argentina y Paraguay. Esto está relacionado con las mayores inundaciones del río Paraná aguas abajo en el territorio argentino (Camilloni y Barros 2003). Como en el caso de la primavera, hay un dipolo ciclónico-anticiclónico sobre el sur de América del Sur, pero desplazado hacia el noreste con relación a la posición de la primavera (0). En los niveles bajos, la componente norte-sur del viento es aun más fuerte, favoreciendo el flujo de humedad hacia la cuenca del Plata.

Desde la primavera (0) hasta el verano, hay una significativa variación intraestacional de la señal del Niño en la cuenca del Plata (Grimm 2003) y por lo tanto las medias estacionales amortiguan las anomalías que son más fuertes y consistentes durante períodos menores a los de esta estación. En enero (+), debido al calentamiento anómalo de la superficie por las condiciones secas durante la primavera (0),

aparece una anomalía de circulación ciclónica al norte de la cuenca del Plata que desvía el flujo de humedad hacia el centro-este de Brasil y a la región de la ZCAS afectando la cuenca superior del Alto Paraná. En este mes, en el sur de la cuenca las lluvias retornan a los valores normales y hasta hay una tendencia a menores precipitaciones que lo normal en algunas regiones del Paraná Medio. La interrupción del impacto de los eventos EN durante el verano se debe a procesos regionales (Grimm 2003).

En el caso de LN, la señal más significativa está otra vez en la primavera (0) con una más pronunciada anomalías que en el caso del Niño. En este caso, la mayor señal está algo más al sudoeste que la del Niño abarcando las cuencas del Paraná Medio y Bajo, la cuenca del Iguazú y la del Uruguay pero también el centro de Argentina (Fig. 6 de Grimm et al. 2000). En la parte norte de la cuenca del Plata, especialmente en la parte superior del Alto Paraná, hay una tendencia a lluvias por arriba de lo normal. Como en los eventos EN, en enero (+) hay también una inversión de las anomalías, de modo que en la parte superior del Alto Paraná hay fuertes y consistentes anomalías negativas, mientras que en el sur, las anomalías de precipitación son positivas hasta que al final del verano las anomalías tienden a volver a un patrón parecido al de la primavera, pero no tan intenso. Las anomalías de precipitación durante el verano sufren modificaciones aproximadamente opuestas a las de los eventos EN, evidenciando el carácter cuasi-lineal de estas respuestas. (Grimm 2004).

La precedente descripción sugiere que habría cierta capacidad de predicción estadística de la precipitación en la cuenca del Plata, ya que la evolución media del ENSO sigue un patrón bastante definido. Montecinos et al (2000) usando como predictor la TSM del Pacífico tropical con la anticipación de una estación, pudieron pronosticar con éxito el tercil de la precipitación (seco, normal o húmedo) en más de 45 % de los casos, pero sólo en algunas localidades y en ciertas estaciones del año. Sin embargo, en la mayoría de las estaciones del año, la distribución espacial de la destreza de predicción muestra que las localidades para las que se computó tal destreza están rodeadas por otras para las que no hubo ninguna habilidad de predicción. Esto indica que estos resultados pueden haber sido obtenidos por azar. La excepción es la primavera, para la que hay un patrón reconocible de acierto por encima del 45 % en Uruguay y la zona limítrofe de Argentina que parece tener significancia espacial.

La conclusión de esta sucinta revisión es que la señal del ENSO en la precipitación en la cuenca del Plata puede proveer alguna información estadística sólo en ciertas regiones y en algunas estaciones. Pero aún esta modesta habilidad en la predicción de la precipitación esta comprometida por la gran variabilidad entre eventos del mismo tipo.

### *Temperatura*

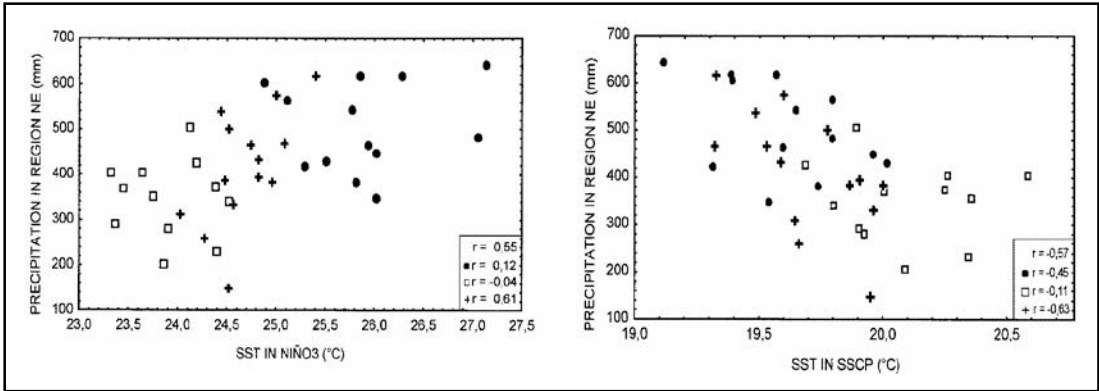
Para la cuenca del Plata, hay considerablemente menos publicaciones sobre la relación del ENSO con la temperatura de superficie que con la precipitación. Kiladis y Díaz (1989) calcularon las diferencias entre las anomalías promedio de temperatura de los eventos EN y LN, encontrando diferencias positivas en el subtropical de América del Sur durante el invierno (0) que se debilitan considerablemente durante la primavera (0). Durante el verano estas diferencias tienen poca significancia y congruencia geográfica, pero las diferencias positivas aparecen otra vez en el otoño (+).

Cuando se consideran las anomalías de EN y LN con respecto al promedio climatológico por separado, sólo durante el invierno (0) hay anomalías significativamente positivas (negativas) durante EN (LN) sobre Paraguay Uruguay y el norte y centro de Argentina. Esto se debe al aumento (disminución) de la advección de temperatura en las capas bajas de la atmósfera desde el continente tropical (Barros et al 2002). Las anomalías son más intensas en el caso de LN, llegando hasta 2°C en algunos lugares.

### *Variabilidad entre Eventos*

Aunque hay una respuesta estadísticamente significativa de la precipitación en algunos meses del ciclo del ENSO y en ciertas regiones de la cuenca, hay, sin embargo, una gran diferencia entre eventos de la misma fase. Dado que la presente habilidad para la predicción del clima en la cuenca en la escala estacional está basada en su respuesta al ENSO, esta cuestión requiere ser considerada para poder mejorar las predicciones climáticas y estimar sus limitaciones. Como vimos, la primavera (0) es la estación que presenta la más robusta respuesta de la precipitación a la TSM del Pacífico tropical durante los eventos EN y LN. Sin embargo, la Figura 5a muestra que la precipitación de la primavera en la parte central de la cuenca durante los eventos EN es independiente de la TSM del Pacífico tropical. Por otra parte la TSM en el centro del Pacífico subtropical sur (CPSS)





**Figura 5.** Diagrama de dispersión de la precipitación en el nordeste de Argentina y sur de Brasil y TSM para OND (a) Región El Niño 3 y (b) en el en el centro del Pacífico subtropical sur. El Niño (círculos llenos), La Niña (cuadrados) y casos neutros (cruces). Correlaciones para todos los casos, solo eventos Niño (círculos llenos), solo eventos La Niña (cuadrados) y casos neutros (cruces) indicados en el rincón inferior izquierdo. (Barros y Silvestre 2002)

modula esta precipitación de primavera en el caso de los eventos Niño, Figura 5b.

Estas diferencia en la precipitación entre eventos EN se debe tanto a la distinta característica de la TSM en la zona tropical como a los diferentes patrones PSA que generan. Los casos con TSM fría en la región CPSS tienen una mayor convección no sólo en la zona de Convergencia intertropical (ITCZ) sobre el Pacífico ecuatorial, sino también en la Zona de Convergencia del Pacífico Sur (SPCZ) que se extiende sobre el sudeste del océano Pacífico. La anomalía de circulación en la alta troposfera sobre el Pacífico sur central presenta un muy bien definido patrón PSA1, mientras que este patrón no se observa en los eventos EN asociados con TSM cálidas en la región CPSS (Vera et al 2004).

La correlación desfasada entre el índice mensual de la actividad en la SPCZ y la TSM sobre la región CPSS durante los eventos EN es grande y significativa cuando el índice la actividad en la SPCZ se adelanta a la TSM. Esto indica que la diferente característica de los Niños en el Hemisferio Sur podría ser generada por diferencias en la circulación atmosféricas, que a su vez inducen anomalías en la TSM subtropical. Pero, cualquiera sea el proceso que genere las anomalías de primavera en la TSM del CPSS, el signo de estas y las características de la circulación en la alta troposfera sobre el Pacífico asociadas a las mismas mantienen el signo desde el invierno hasta la primavera (Silvestri

et al 2003). Así, la TSM de la región CPSS es una fuente adicional de información para la predicción de la precipitación de primavera durante los eventos EN. También Cazes et al (2003) señalan como otra posible fuente de variabilidad interanual de la precipitación en Uruguay, a la variabilidad intraestacional de la circulación troposférica sobre el Pacífico sur.

### La Temperatura del Atlántico Sur

La conexión entre las TSM del Atlántico Sur y las anomalías de precipitación sobre la cuenca del Plata ha merecido menos atención que la conexión con el ENSO. Díaz et al (1998) encontraron una relación estadística entre las anomalías de lluvia en el Uruguay y Río Grande do Sul y la TSM de la región de la SACZ en el periodo Noviembre-Febrero con una asociación entre anomalías positivas (negativas) de lluvia y anomalías cálidas (frías) en la TSM. Hay otras evidencias de que el clima de la cuenca del Plata está influenciado por anomalías de TSM en el sudoeste del Océano Atlántico. A partir de correlaciones simples entre la TSM de ambos océanos y los caudales del Río Uruguay, Cardoso et al (2001) observaron relaciones estadísticamente significativas en cada estación del año. Para el verano (DJF) toda la región costera del sur y sudeste del Brasil extendiéndose a la parte central del océano presenta coeficientes de correlación significativos. En otros trabajos ya había sido observada una relación estadística entre la TSM

en esa región del océano Atlántico y la precipitación de la temperatura en la región sudeste del Brasil (Cardoso y Silva Días, 2000).

Hay varias conjeturas con respecto de los mecanismos responsables de tales conexiones con la TSM del Océano Atlántico. Primero, las anomalías de lluvia en la región y las anomalías de TSM en el Atlántico sudoeste pueden ser perturbaciones de alguna forma asociadas con EN/LN. Segundo, los eventos en el Pacífico podrían producir una respuesta desfasada en el Atlántico, que podrían ser consecuencia de las anomalías de precipitación sobre la zona marítima de la ZCAS. Tercero, puede haber anomalías de la TSM en el Océano Atlántico que son independientes de EN/LN y que contribuyen por sí mismas a las anomalías de precipitación. Algunos estudios parecen indicar a la primera hipótesis como la más probable para la primavera (Enfield y Mayer 1997).

La conexión entre la ZCAS, la TSM del sudoeste del Atlántico y la lluvia en la región subtropical de Argentina y en Uruguay podría ser el mecanismo que relaciona la variabilidad interanual de estas dos últimas variables en esos dos países. Barros et al (2000) encontraron que durante el verano, la lluvia en esa región esta relacionada tanto con la intensidad como con la posición de la ZCAS, pero además, independientemente de la ZCAS, con la TSM del sudoeste del océano Atlántico.

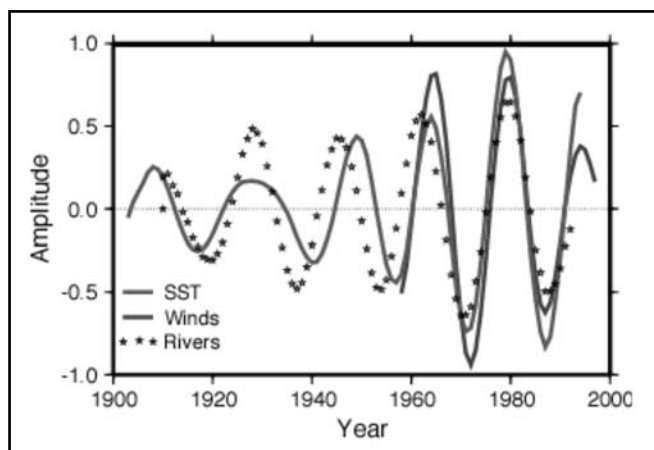
Los estudios mencionados revelan la potencial importancia del Atlántico Sur in la variabilidad del clima en la Cuenca del Plata. Sin embargo, dado que

la TSM de este océano también responde a los forzantes atmosféricos locales y remotos, la predictabilidad del clima regional basada en la TSM del Atlántico Sur es aún una cuestión que requiere mayor estudio.

## VARIABILIDAD INTERDECADAL

Las variaciones interdecadales de la TSM del Pacífico (Zhang et al 1999, Garreaud y Battisti 1999) son de gran importancia en la precipitación de la cuenca del Plata (Barros y Silvestre 2002) y pueden ser una fuente de predictabilidad en esa escala. El clima del verano sobre la cuenca del Plata presenta una fuerte variabilidad interdecadal. Como ejemplo, la Figura 6 muestra la evolución interdecadal de tres diferentes índices: (i) Un índice del caudal diferencial norte-sur calculado con la diferencia entre las descargas del verano en los ríos Paraná y Paraguay menos la respectiva descarga de los ríos Uruguay y Negro; (ii) Un índice del modo dominante del verano de la actividad de la ZCAS; y (iii) la TSM sobre el sudoeste del Atlántico. Cada curva fue calculada de análisis espectral independiente de cada uno de estos índices. Los tres muestran una remarcable periodicidad común de alrededor de 15-18 años. Los tres también concuerdan en fase.

Los ciclos mostrados en la Figura 6 proveen una base para una predicción estadística de los caudales como la hecha en el año 2000 para el río Paraná en Corrientes (Robertson et al. 2001). Las componentes oscilatorias de 8 y 17 años fueron aisladas y un modelo predictivo autoregresivo fue construido



**FIGURA 6.** Verano. Índice del caudal diferencial norte-sur (cruces); Índice del modo dominante de la actividad de la ZCAS (azul) y TSM sobre el oeste del Atlántico (rojo). (De Robertson y Mechoso 2000)

para cada componente. La predicción basada en la componente oscilatoria de 8 y 17 años, con datos hasta 1999, sugiere una probabilidad incrementada de caudales debajo del promedio hasta el año 2006 que fue lo observado.

## VARIABILIDAD CLIMÁTICA INTRAESTACIONAL

La variabilidad intraestacional, esto es en períodos menores que 90 días y mayores que la escala sinóptica (hasta 1 semana) pueden tener significativo impacto en la cuenca del Plata. Los espectros de la precipitación muestran varios picos significativos en esa escala temporal (Liebmann et al. 1999). En la cuenca del Plata predominan, en su parte sur, oscilaciones con períodos entre 7 y 20 días, pero también hay oscilaciones de períodos entre 21 y 35 días y 35 y 70 días. Las oscilaciones en la primera escala de tiempo citada está probablemente asociada con la variabilidad interna de la atmósfera extratropical, así como la asociada con los bloqueos en el Pacífico Sudeste que duran más de 7 días (Kayano, 1999).

En todas las escalas de tiempo intraestacionales aparece el patrón del dipolo ZCAS / región subtropical ya mencionado anteriormente, con un centro en la ZCAS y otro con anomalías opuestas sobre el sur del Brasil, Uruguay y nordeste de Argentina. (Ferraz y Grimm 2000). El patrón del dipolo ZCAS y región subtropical varía frecuentemente en forma asociada con la convección anómala en el Pacífico tropical (Nogués-Paegle y Mo, 1997; Nogués-Paegle et al 2000) apareciendo como ya fue mencionado en otras escalas de tiempo. En la banda entre 21 a 35 días puede estar asociado a forzamientos remotos del Pacífico y en la banda entre 35 a 70 días puede estar asociado (Ferraz y Grimm 2000) con la oscilación de Madden-Julian. Esta oscilación consiste en la propagación de anomalías de convección en los trópicos de los océanos Índico y Pacífico, que producen anomalías de circulación atmosférica en los trópicos y extratropicales, (Nogués-Paegle y Berbery 2000) Estos patrones presentan un comportamiento oscilatorio con un pico espectral cerca de 40 días y una banda más ancha entre 15–30-días (Robertson y Mechoso 2003) y están predominantemente asociados con ondas estacionarias (Cazes et al. 2003). La regularidad en la propagación de estas ondas puede llevar a un aumento de la habilidad en la previsión de la lluvia en la escala intraestacional.

Robertson y Mechoso (2003) encontraron que la variabilidad de baja frecuencia en el Pacífico Sur esta

bien descrita por la ocurrencia de 3 o 4 regímenes de circulación geográficamente anclados oscilando con un periodo cercano a los 40 días que son predominantemente estacionarios en el espacio. Estos patrones muestran cierta correlación con El Niño solo en la primavera. Estos patrones presentan un potencial para la predictabilidad inter estacional.

## PREDICTABILIDAD

La cuenca del Plata presenta algunas características que favorecen la predictabilidad en escalas mayores a la sinóptica, pero que están relativizadas por otros factores. Entre las características favorables se destaca que la región presenta una marcada señal interanual del ENSO. La señal de la TSM del Atlántico es aún poco entendida como para ser utilizada con éxito en pronósticos estadísticos más allá de ciertas regiones limitadas. También parece haber alguna predictabilidad en la escala interdecadal en verano y es probable que esta predictabilidad exista en otras épocas del año. La escala inter estacional presenta alguna relación con fenómenos casi-periódicos como la oscilación de Madden-Julian por lo que también es posible que se pueda avanzar con la predicción en esa escala.

Entre los factores que complican la predictabilidad de la precipitación, se encuentra el hecho que la misma es mayormente causada por actividad convectiva, la que en general presenta menos predictabilidad que la de gran escala asociada con nubosidad estratiforme. El porcentaje de precipitación convectiva estimado con información satelital sobre la cuenca del Plata es muy alto a lo largo de todo el año, incluso en el invierno. Desde el punto de vista de la predictabilidad, no ayuda que la convección se organice en sistemas convectivos de mesoescala (SCM) y la cuenca del Plata, es una de las regiones del mundo con mayor frecuencia de estos SCMs. A diferencia de lo que ocurre en otras regiones subtropicales, su ocurrencia se extiende desde la primavera temprana hasta el otoño.

La frecuencia anual de los SMCs, al sur de 20° S, varía entre 20 a más de 50 casos por año, siendo más frecuentes durante los periodos de El Niño (Velasco y Fritsch 1987). Sin embargo, la zona de máxima precipitación varía de un evento Niño a otro, y la precipitación causada por ellos es determinante de los totales mensuales de cada año. De esta forma los promedios mensuales de cada evento resultan muy distintos, lo que hace que el pronóstico basado en

las propiedades estadísticas de este evento resulte incierto. Esta característica se ilustra en la figura 7 que muestra las anomalías de lluvia para 4 abril, todos correspondientes a eventos El Niño del año (+). Aunque hay una consistente señal positiva en una gran región, hay una importante variabilidad espacial en la ubicación de los máximos de las anomalías positivas, que por otra parte reflejan por su magnitud y dimensión espacial la ocurrencia de uno o dos SMCs.

La importancia de los SMCs en la precipitación mensual y aun estacional de cada año es probable-

mente una de las razones de los aún poco exitosos pronósticos climáticos en la región. Queda aún por aprender si esta es una limitación intrínseca a estos sistemas, o puede ser superada con un mejor conocimiento de la dinámica de los mismos en la región. Otro aspecto que conspira contra una mayor predictabilidad, es que si bien la señal del ENSO en la cuenca del Plata es importante, esta limitada a sólo algunos meses y regiones. Además, aún en esas regiones y meses hay una notable variabilidad en la precipitación entre eventos del mismo tipo, en particular de El Niño. Esta se puede apreciar en la figura

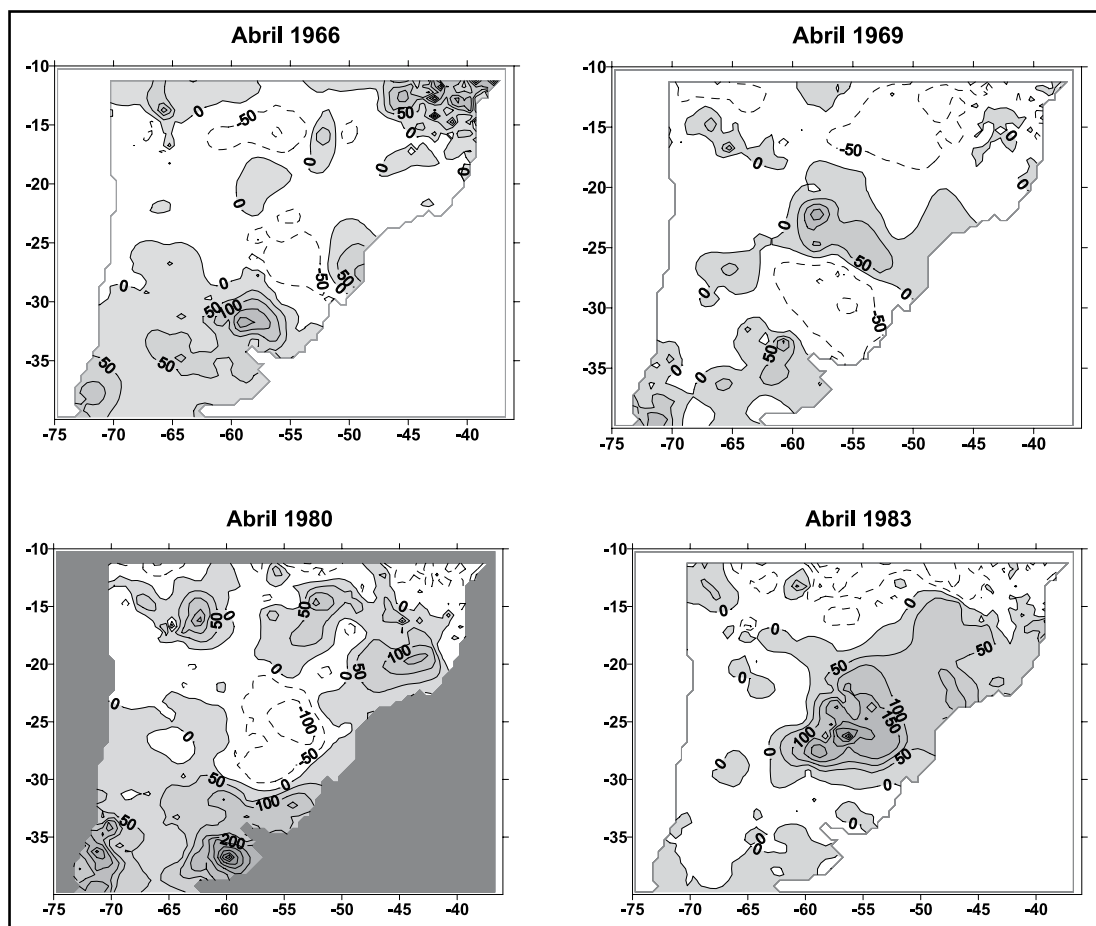


FIGURA 7. Anomalías de precipitación en mm durante distintos meses de abril, todos correspondientes años Niños (+) y promedio de dichas anomalías. (De Barros 2003)

5, ya que en algunos casos las precipitaciones de La Niña son mayores a las del Niño, aunque en promedio ocurra lo contrario. Si bien esto puede deberse al forzamiento de la TSM en otras zonas distintas a las regiones del Niño, también podría originarse en que la propagación de la teleconexión desde el Pacífico tropical hasta América del Sur no sólo depende de las condiciones de la TSM en la región de origen, sino también de las condiciones de la atmósfera en latitudes medias y altas, siendo estas probablemente no predictibles en algunos casos.

Las variaciones de la ZCAS condicionan la precipitación en la cuenca del Plata en buena parte del año, no solo en su área de influencia directa sino también más al sur a través del dipolo del que forma parte. Ya se ha mencionado que este sistema está influido por trenes de ondas que se propagan desde el Pacífico a través de la circulación de latitudes medias. No es improbable que esta influencia aporte al dipolo de la ZCAS, parte de las características caóticas e impredecibles de esta circulación.

Finalmente, Silvestri y Vera 2003 han mostrado que en la primavera la precipitación en el centro de la cuenca del Plata está muy correlacionada con el índice de Oscilación Antártica. Como esta oscilación está sospechada de tener componentes impredecibles en ciertas frecuencias, esta propiedad se propagaría también a la precipitación asociada a la misma.

Una forma de manejar la impredecibilidad del sistema climático es mediante el pronóstico por ensambles que permite, en vez de asignar valores medios al comportamiento futuro, estimar las funciones de distribución o al menos algunos parámetros de las mismas. Esta técnica sería altamente recomendable en la cuenca del Plata en vista de los varios elementos que concurren a dificultar la predictibilidad del clima en escalas mayores a la sinóptica. Actualmente esta metodología está siendo utilizada por varios centros operativos, entre ellos el IRI (Godard et al 2003) y el CPTEC y probablemente se deba ampliar en el futuro el número de productos a los que se aplica. Este enfoque sería además de utilidad para el input a los modelos hidrológicos de los que se espera resultados para la toma de decisiones mediante la minimización de los riesgos.

## CONCLUSIONES

El régimen de lluvia en la cuenca del Plata está muy influenciado por el flujo meridional de humedad de niveles bajos. Este transporte se hace en las

capas bajas de la atmósfera (primeros 3000 m) y es predominantemente del norte trayendo la humedad a la cuenca del Plata desde el continente tropical por la circulación del noroeste durante todo el año, y del Atlántico en invierno. Hay evidencia de que un jet de capas bajas está frecuentemente embebido en el flujo meridional de niveles bajos. En presencia de este jet, el transporte de humedad puede ser mucho mayor que lo revelado por los análisis que no tienen la resolución suficiente para caracterizarlo adecuadamente. En vista de la importancia hidrológica que tiene esta circulación de capas bajas, es conveniente desarrollar un programa de mejoramiento de las observaciones meteorológicas convencionales en algunas zonas de la cuenca del Plata, y planificar un experimento de campo sobre los flujos horizontales y verticales de agua en una zona piloto.

Durante la estación estival, de octubre a abril, los sistemas convectivos de mesoescala (SCM) son frecuentes y responsables de gran parte de la precipitación total. Como estos SCMs son además frecuentemente la causa de inundaciones locales, es necesario elaborar una guía de recomendaciones para los centros operativos, para que haciendo uso del conocimiento que se tiene de los mismos, de la información satelital y de radares disponibles, se puedan mejorar los pronósticos vinculados a los alertas meteorológicos e hidrológicos. El experimento mencionado en el párrafo anterior debería contener componentes que permitan mejorar el conocimiento y predicción de estos sistemas.

El clima de la cuenca del Plata presenta algunas características que favorecen su predictibilidad. Entre estas se destaca la marcada señal interanual del ENSO y parece haber alguna predictibilidad en la escala interdecadal durante el verano. La escala inter estacional presenta alguna relación con fenómenos casi periódicos, por lo que sería posible avanzar con la predicción en esa escala. Entre los factores que complican la predictibilidad de la precipitación, se encuentra que la misma es mayormente de origen convectivo y por lo tanto de mayor aleatoriedad espacial y temporal. En especial, la cuenca del Plata, es una de las regiones del mundo con mayor incidencia de SCMs, y aunque son más frecuentes durante los periodos de El Niño, las zonas donde ocurren cambian de un evento Niño a otro. Por otra parte, si bien la señal del ENSO en la cuenca del Plata es importante está limitada a sólo algunos meses y regiones. Además, aún en esas regiones y meses hay una notable variabilidad en la respuesta

en la precipitación entre eventos del mismo tipo, en particular del Niño. Por todas estas razones, los promedios mensuales de cada evento ENSO resultan muy distintos, lo que hace que el pronóstico basado en las propiedades estadísticas de este evento resulte incierto. En consecuencia, se debe contemplar un programa de fortalecimiento de los pronósticos mediante modelos dinámicos de la atmósfera. Como algunos de los principales condicionantes

del clima (Por ejemplo, los SMCs y la variabilidad entre Niños, entre otros) parecen contener componentes impredecibles, este programa debe incluir el pronóstico por ensambles de modo de pronosticar no solo valores esperados sino funciones de distribución con las cuales se puedan tomar decisiones mediante técnicas cuantitativas. Estos ensambles podrían ser utilizados como ingresos a los modelos hidrológicos.

## Referências

- BARROS, V. 2003. Cambio Climático. In: *El Cambio Climático y sus consecuencias sobre el territorio. Cámara Argentina de la Construcción. v.2, p.3-24.*
- BARROS, V. ; DOYLE, M. 1997. Interannual variability of Precipitation in Southern South America. INTERNATIONAL CONFERENCE ON S. H. MET. AND OCEAN., 5., 1977, Pretoria, South Africa. *Anais...* Pretoria, South Africa : AMS, p. 228-229.
- BARROS, V. et al. 2000. Influence of the SACZ and S. Atlantic SST on interannual summer rainfall variability in Southeastern South America. *Theor. and Appl. Meteor.* v.67, p. 123-133.
- BARROS, V. ; SILVESTRI, G. 2002. The relation between sea surface temperature at the subtropical south-central Pacific and precipitation in southeastern South America. *J. Climate*, v.15, p. 251-267.
- BARROS, V. ; GRIMM, A. ; DOYLE, M. 2002. Relationship between temperature and circulation in southeastern South America and its influence from El Niño and La Niña events. *J. Met. Soc. of Japan*, v. 88, p.21-32.
- BERBERY, E. H. ; COLLINI, E. A. 2000. Springtime precipitation and water vapor flux convergence over Southeastern South America. *Mon. Wea. Rev.* v.128, p.1328-1346.
- CAMILLONI, I. ; BARROS, V. 2003. Extreme discharge events in the Paraná River and their climate forcings. *J. of Hydrology*, v. 278: p.94-106.
- CARVALHO, L. M. V. ; 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: p.88-118.
- CARDOSO, A. O. ; SILVA DIAS, P. L. 2000. A Influência da temperatura da superfície do mar em el clima de inverno na cidade de São Paulo. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, LOCAL. *Anais...* Rio de Janeiro : SBMET, 2000 . 1 CD-ROM
- CARDOSO, A. et al. 2001. O papel dos Oceanos Atlântico y Pacífico no Regime Sazonal de Vazão de Rios na Cuenca do Uruguai. DIÁLOGO INTERAMERICANO DAS AGUAS, 4., 2001, Foz do Iguaçu, PR. *Anais...*, Curitiba, PR.: ABAS. 1 CD-ROM.
- CAZES, G. ; ROBERTSON, A. W. ; MECHOSO, C. R. 2003. Seasonal Dependence of Teleconnections Over South America. *J. Climate*, v.16, p.1159-1176.
- DOYLE, M. ; BARROS, V. 2002. Midsummer low-level circulation and precipitation in subtropical South America and related sea surface temperatures anomalies in the South Atlantic. *J. Climate*, v.15: p.3394-3410.
- ENFIELD, D. B. ; MAYER, D. A. 1997. Tropical Atlantic SST variability and its relation to El Niño-Southern Oscillation. *J. Geophysical Research*, v.102, p.929-945.
- FERRAZ, S. E. T. ; GRIMM, A. M. 2000. Modos de variabilidade intrasazonal no sur y sudeste do Brasil y sur da América do Sur durante o verão. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, LOCAL. *Anais...* Rio de Janeiro : SBMET, 2000 . 1 CD-ROM.
- FIGUEROA, S.N. ; SATYAMURTY P. ; SILVA DIAS, P. L. 1995. Simulations of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model. *J. Atmos. Sci.* , v.52: p.1573-1584.
- GARREAUD, R., D. ; BATTISTI, D., S. 1999. Interannual (ENSO) and inter-decadal (ENSO-like) variability in the Southern hemisphere. *J. Climate*, v.12 , p.2113-2123.
- GAN, M. A. ; RAO V. B. 1998. Surface cyclogenesis over South America. *Monthly Weather Review*, v.19 , p.1293-1302.
- GAN, M. A. ; V. E. KOUSKY. ; ROPELEWSKI, C. F. 2004. The South America monsoon circulation and its relationships to rainfall over west-central Brazil. *J. Climate*, v.17, p.47-66.
- GRIMM, A. M. 2003. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. *J. Climate*, v.16, p.263-280.
- GRIMM, A. M. ; FERRAZ, S. E. T. ; GOMES, J. 1998. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate* , v.11, p.2863-2880



- GRIMM, A. M.; BARROS, V.; DOYLE, M. 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. Et al. 2001. Contribuição de anomalias de temperatura da superfície do mar à ocorrência de anomalias de precipitação no Brasil em novembro de eventos El Niño y La Niña. DIÁLOGO INTERAMERICANO DAS AGUAS, 4., 2001, Foz do Iguaçu, PR. *Anais...*, Curitiba, PR.: ABAS. 1 CD-ROM.
- JONES, C.; WALISER, D. E.; SCHEMM, J. K. E. 2000. Prediction skill of the Madden and Julian Oscillation in dynamical extended range forecasts. *Climate Dynamics*, v.16, p.273-289.
- JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. 2002. Active and break phases in the South America monsoon system. *J. Climate*, v.15, p.905-914
- KAYANO, M. T. 1999. Southeastern Pacific blocking episodes and their effects on the South American weather. *Meteorol. Atmos. Phys.*, v.69, p.145-155.
- KILADIS, G.N.; DIAZ, H. F. 1989. Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern oscillation. *J. Climate*, v.2, p.1069-1090.
- KODAMA, Y.M. 1992 Large scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ and the SACZ). Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *J. Meteor. Soc. Japan*, v.70, p.813-836.
- LABRAGA, J.; FRUMENTO, O.; LÓPEZ, M. 2000. The atmospheric water vapor cycle in South America and the tropospheric circulation. *J. Climate*, v.13 p.1899-1915.
- LAING, A. G.; FRITSCH, J. M. 2000. The large-scale environments of the global populations of mesoscale convective complexes. *Mon. Wea. Rev.*, v.128, p.2756-2776.
- LIEBMANN, B., 1999. Submonthly convective variability over South America and South Atlantic Convergence Zone. *J. Climate*, v.12, p.1877-1891.
- MARENGO, J.; DOUGLAS, M.; S. DIAS, P. L. 2002. Towards an identification of the South American low-level jet east of the Andes during the LBA-TRMM and LBA\_WET AMC campaign of the summer of 1999. *J. Geophys. Research*.
- MO, K. C. 2000: Relationship between low-frequency variability in the Southern Hemisphere and sea surface temperature anomalies. *J. Climate*, v.13, p.3599-3610.
- MONTECINOS, A.; DÍAZ, A.; ACEITUNO, P. 2000. Seasonal diagnostic and predictability of rainfall in Subtropical South America based on Tropical Pacific SST. *J. Climate*, v.13, p.746-758.
- NOGUÉS-PAEGLE, J. Y MO, K. C. 1997: Alternating wet and dry conditions over South America during summer. *Mon. Wea. Rev.*, v.125: p.279-291.
- PISCIOTTANO, G. et al. 1994. El Niño-Southern oscillation impact on rainfall in Uruguay. *J. Climate*, v.7, p.1286-1302.
- RAO, V. B.; CAVALCANTI, I.; HADA, K. 1996. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. *J. Geophys. Res.*, v.101, p.2539-2551.
- ROBERTSON, A. W.; MECHOSO C. R. 1998. Interannual and decadal cycles in river flows of southeastern South America. *J. of Climate*, v.11, p.2570-2581.
- ROBERTSON, A. W.; MECHOSO, C. R. 2000. Interannual and interdecadal variability of the South Atlantic convergence zone. *Mon. Wea. Rev.*, v.128, p.2947-2957.
- ROBERTSON, A. W.; MECHOSO, C. R.; Garcia, N. O. 2001. Interannual prediction of the Paraná River. *Geophys. Res. Lett.*, v.28, p.4235-4238.
- ROBERTSON, A.; FERRARA, J.; MECHOSO, C. 2003. Simulations of the atmospheric response to South Atlantic sea surface temperature anomalies. *J. Climate*, v.16, p.2540-2551.
- ROPELEWSKI, C. H.; HALPERT, S. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, v.115, p.1600-1626.
- ROPELEWSKI, C. H.; HALPERT, S. 1996. Quantifying Southern oscillation-precipitation relationships. *J. Climate*, v.9, p.1043-1059.
- SARAVIA, J. B.; SILVA DIAS, P. L. 1996. Ciclogênese no litoral sur do Brasil: Estudo de Caso. Congresso Brasileiro de Met., 11., 1996, Campos do Jordão. *Anais...* Campos do Jordão, SP.: EDITOR, p. 779-782.
- SATYAMURTI P.; FERREIRA, C.; GAN M. A. 1990: Cyclonic Vortices over South America. *Tellus*, v. 42A, p.194-201.
- SILVA DÍAS, M. A. F. 1987: Sistemas de mesoescala y previsão de tempo a curto prazo. *Rev. Bras. Meteorologia*, v.2, p.133-150.
- SILVESTRI, G. E.; BARROS, V.; VERA, C. 2003. Inter El Niño variability of southern hemisphere circulation. Part I: Observational Data. Inter. Conf on S H. Met. and Ocean., 7<sup>th</sup>, 2003, Wellington. *Proceedings* Wellington : AMS, p.10-11.
- SILVESTRI, G. E.; VERA, C. 2003. Antarctic oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. *Geophys. Res. Lett.* v.30, n.21
- VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. 1987. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. *J. Geophys. Res.* v.92 (D8), p. 9591-9613.

- VERA, C. ; VIGLIAROLO, P. 2000. a diagnostic study of cold-air outbreaks over South America. *Mon. Wea. Rev.*, v.128, p.3-24.
- VERA, C. S.; VIGLIAROLO, P. K.; BERBERY, E. H. 2002. Cold season synoptic scale waves over subtropical South America. *Mon. Wea. Rev.* v.30, p.684-699.
- VERA, C., SILVESTRI, G., BARROS, V. Y CARRIL, A. 2004: Differences in El Niño response over the Southern Hemisphere. *J. Climate*, v.17, p.1741-1753.
- VIRJI, H. 1981. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. *Mon. Wea. Rev.*, v.109, p.167-178.
- ZHANG, Y.; WALLACE J. M. ; BATTISTI, D. 1997. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. *J. Climate* , v.10, p.1004-1020.
- ZHOU, J. ; LAU, W. K. 2001. Principal modes of interannual and decadal variability of summer rainfall over South America. *Int. J. of Climatol.* , v.21, p.1623-1644

**Vicente Barros** Centro de Investigaciones del Mar y la Atmosfera (CIMA).  
Email: barros@cima.fcen.uba.ar

**Alice Grimm** Universidade Federal do Paraná . Departamento de Física.  
Email: grimm@fisica.ufpr.br

**Andrew Robertson** The Internacional Research Institute for Climate and Society. Email: awr@iri.columbia.edu

**Mario Núñez** Centro de Investigaciones del Mar y la Atmosfera (CIMA).  
Email: mnunez@cima.fcen.uba.ar