

# El cambio climático y la gestión de los recursos hídricos de la Cuenca del Plata

Vicente Barros

**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:** cambio climático, gestión de los recursos hídricos, La Plata.

**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 change, water resources management, La Plata.

## INTRODUCCIÓN

La Cuenca del Plata con casi 3 millones km<sup>2</sup> es la segunda en tamaño en Sudamérica luego de la del Amazonas y la quinta en el mundo. Incluye parte del Sur de Brasil, Este de Bolivia, todo Paraguay, el Oeste de Uruguay y el Noreste de Argentina. Los ríos más importantes son el Paraná, el Uruguay y el Paraguay que corre hacia el sur, uniéndose con el Paraná aguas arriba de la ciudad argentina de Corrientes, Figura 1.

La Cuenca del Plata es la región más desarrollada de Sudamérica, produce la mayor parte del alimento y las exportaciones agrícolas de los países que la integran, la mayor parte del producto regional bruto y de la generación de su energía eléctrica, casi toda hidráulica. Esto es posible por la abundancia de sus recursos hídricos que le brindan sustentabilidad al desarrollo de esta región que incluye cinco países con más de 200 Millones de habitantes.

La mayor parte del caudal del Río de la Plata (alrededor de 26.000 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) se origina en la mitad norte de la cuenca, sobre Brasil y Paraguay donde el escurrimiento medio anual es apenas el 30 % del volumen de la precipitación media anual (Berbery y Barros, 2002). Así, los cambios porcentuales en los caudales magnifican los respectivos cambios, ya sea de la precipitación o de la evaporación (Berbery y Barros, 2002; Tucci, 2003). Como todos los escenarios del clima proyectan varios grados de calentamiento

sobre esta región durante el transcurso de este siglo, el consiguiente aumento de la evaporación puede llevar también a reducciones porcentuales considerables en los caudales. De esta forma, las características climáticas e hidrológicas de la cuenca de Plata, que han mostrado fuertes tendencias en su precipitación y mayores cambios porcentuales en los caudales, junto con los escenarios del clima que anticipan aumentos de temperatura y de la evaporación para el resto del siglo crean preocupación sobre la evolución de los recursos hídricos durante las próximas décadas. Por ello, la gestión integrada de los recursos hídricos no puede prescindir del análisis de cómo el cambio climático global afectará estos recursos en el futuro.

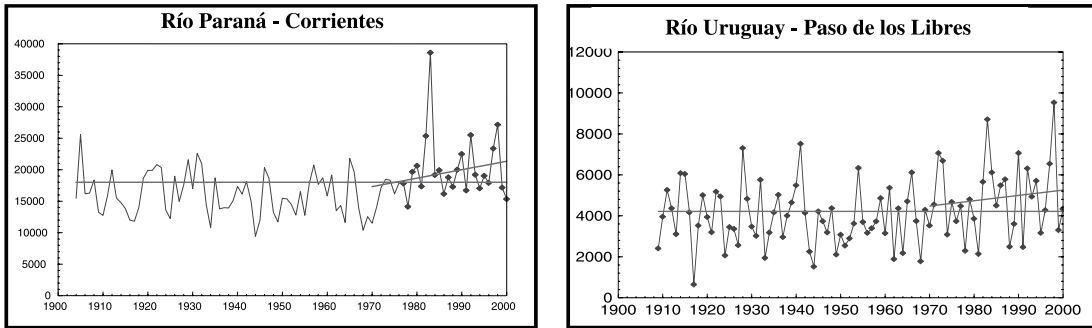
El objetivo de este artículo es revisar las principales implicancias de la variabilidad y el cambio climático en los recursos hídricos superficiales de la cuenca del Plata para identificar las principales acciones que en materia de gestión e investigación se deberían propiciar a nivel regional. La metodología es presentar de modo ordenado y coherente los resultados de la literatura científica y de informes técnicos existentes.

## LAS TENDENCIAS HIDROLÓGICAS OBSERVADAS

En los últimos 40 años, los cambios en la precipitación y en los caudales de la Cuenca del Plata fueron muy importantes (García y Vargas, 1998). La figura 2 ilustra la magnitud de este cambio en el caudal de los ríos más importantes de la Cuenca del Plata.



**FIGURA 1.** Las principales sub-cuencas de la Cuenca del Plata.



**FIGURA 2.** Caudal medio anual de los ríos Paraná, y Uruguay en  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ . La línea roja marca el promedio de largo plazo mientras que la verde representa el ajuste por regresión lineal desde 1970.

Cuando se compara el aumento de la precipitación en la zona donde se forma la mayor parte del caudal del sistema del Plata, es decir en las cuencas aguas arriba de Corrientes en el río Paraná y Paso de los Libres en el río Uruguay, y los aumentos en los caudales medios se aprecia un factor de amplificación en estos últimos de cerca de 2. Entre 1950/1969 y 1980/1999 la precipitación media integrada sobre esa parte de la cuenca aumentó de 72.000 a 83.500  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , es decir un 16 %; los respectivos caudales pasaron de 19.300 a 26.000  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , esto es se incrementaron un 35%.

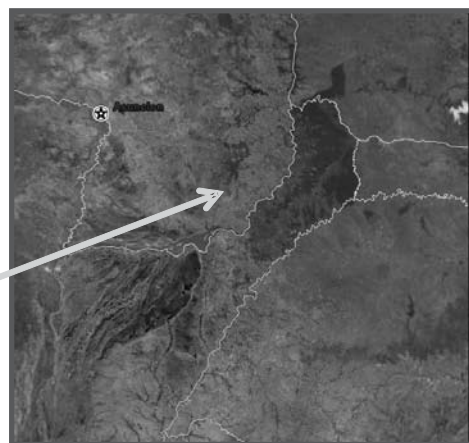
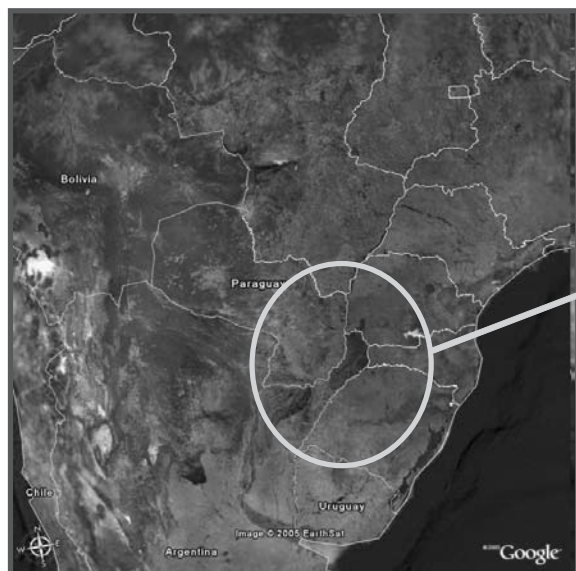
Hasta ahora, la generación de hidroeléctrica de energía fue muy favorecida por estas tendencias y las centrales sobre los ríos Paraná y Uruguay y sus afluentes han producido notablemente más energía que la que se esperaba al momento de su diseño y construcción.

### EL CAMBIO DE USO DE SUELO

Durante la segunda mitad del siglo pasado, al mismo tiempo que se producían importantes cambios en la precipitación media, se registró un enorme cambio en el uso del suelo, precisamente en la zona donde se generan la mayor parte de los caudales de la Cuenca del Plata (Tucci y Clarke, 1998). La figura 3 muestra la diferencia de coloración de una imagen satelital entre la provincia argentina de Misiones, donde se ha conservado gran parte del bosque (tono más oscuro) y el entorno donde este fue reemplazado por cultivos predominantemente de soja.

Lo masivo del cambio debió influir sin dudas en la escorrentía y por lo tanto puede haber contribuido al aumento de los caudales de los ríos. En que medida este aumento se ha debido al cambio del uso del suelo y cuanto al incremento de la precipitación es un tema que requiere aún investigación y es una de las razones por la que el Proyecto Marco de Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, tiene como uno de sus ejes el estudio detallado de la dinámica del uso y cambio de uso del suelo ([www.cicplata.org/marco](http://www.cicplata.org/marco)).

Existen indicios importantes que si bien el cambio de uso de suelo pudo haber tenido cierto impacto, la mayor parte de la amplificación del cambio en los caudales con respecto a la precipitación se originó en las características climáticas e hidrológicas de la cuenca. Por ejemplo, entre dos años sucesivos, 1998 y 1999 en los que los cambios de uso de suelo se pueden considerar mínimos, la precipitación media integrada sobre la mitad norte de la cuenca fue 107.000 y 81.600  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , es decir hubo una diferencia porcentual de 31 % con respecto a la menor precipitación; los respectivos caudales fueron 36.600 a 20.400  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , esto es tuvieron una correspondiente diferencia porcentual del 79 %. Básicamente, esta amplificación se debe a que por las altas temperaturas (propias de una región subtropical) y el lento escurrimiento de las aguas en una cuenca con relativamente bajo declive, la mayor parte del volumen de la precipitación se evapora y sólo una menor fracción del total se escurre hacia los ríos, alimentando sus caudales. En esta parte de la Cuenca del Plata, la evaporación



**FIGURA 3.** Ejemplo de la magnitud del cambio de uso de suelo

anual media más la infiltración varían entre un 66 y 75 % y los caudales anuales medios medidos varían entre un 34 y 25 % del volumen de la precipitación, dependiendo si el año es húmedo o seco, con un promedio de cerca de 70 % y 30 % respectivamente (Berbery y Barros, 2002). Esta es una característica intrínseca de la Cuenca de Plata que depende de sus condiciones fisiográficas y de su clima e implica que cambios relativamente moderados en la precipitación o en la evaporación estén asociados a grandes cambios porcentuales en los caudales, lo que hace que las actividades dependientes del agua tengan una potencial alta vulnerabilidad al cambio climático.

### **LAS TENDENCIAS OBSERVADAS EN LAS PRECIPITACIONES MEDIAS**

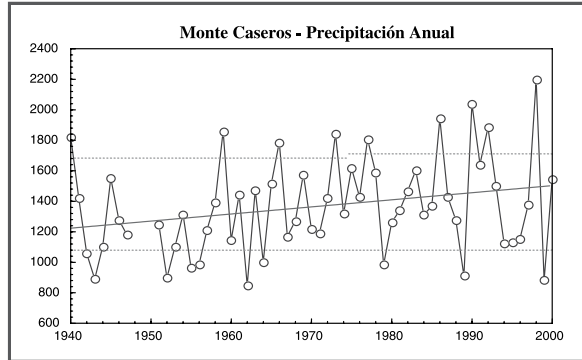
Durante los últimos 40 años, los aumentos en la precipitación fueron muy importantes (Barros et al, 2000). Aunque aún no se sabe si estos aumentos se relacionan o no con el cambio climático global, su ocurrencia en tiempos recientes indica que podrían presentarse cambios semejantes en el futuro cercano, con el mismo u opuesto sentido al recientemente observado. La figura 4 muestra la evolución de la precipitación media anual para una localidad ubicada cerca del centro geográfico de la Cuenca del Plata y que por su tendencia positiva puede considerarse representativa de muchas otras localidades. En la

figura 5 se aprecia que estas tendencias positivas se han observado sobre prácticamente toda la Cuenca del Plata

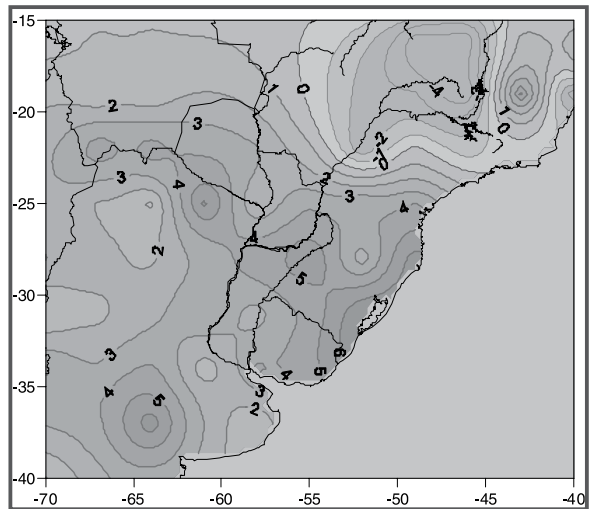
Este aumento generalizado, que en algunas regiones llegó al 40 %, tuvo considerables impactos, además del aumento de los caudales de los ríos. En las áreas más bajas de las llanuras han contribuido a la inundación prolongada y hasta permanente de ciertas zonas. Sin embargo, en la mayor parte de la cuenca, en general han contribuido a una mayor productividad agrícola. Ello se ha sentido mucho más en la frontera agropecuaria en el oeste de Argentina donde el corrimiento de las isoyetas ha permitido la expansión de la agricultura y la mejora de la producción ganadera, Figura 6.

La adaptación autónoma apareció rápidamente en el sector agrícola de Argentina y fue bastante efectiva en términos de beneficios económicos inmediatos. La superficie agrícola en la Argentina se incrementó en las dos últimas décadas en un 40 %; la mitad de esta expansión tuvo lugar hacia el oeste de lo que era conocido como la Pampa Húmeda. La expansión de la agricultura fue inducida por los precios internacionales y nuevos paquetes tecnológicos que incluyeron la siembra directa; no obstante, su extensión geográfica a regiones anteriormente semiáridas sólo fue posible por las tendencias positivas en la precipitación que se registraron entre la segunda parte

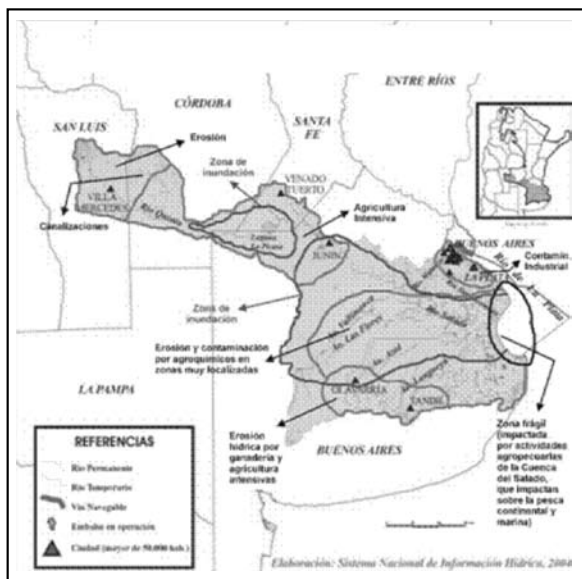
**FIGURA 4.** Precipitación media anual en Monte Caseros (mm).



**FIGURA 5.** Tendencia lineal durante 1960/2000 en mm/año.



**FIGURA 6.** Isoyetas en mm. Negro 1950/1969. Rojo 1980/1999.



de la década de 1970 y la década de 1990. Además de la extensión geográfica de la agricultura, en las zonas tradicionalmente agrícolas hubo mejoras en sus rendimientos, una parte de los cuales pueden ser atribuidos a las tendencias de la precipitación (Magrin et al., 2006).

Esta adaptación fue autónoma y no planificada por el gobierno o por cualquier otra organización. Resultó de muchas decisiones individuales que se tomaron aún antes que los círculos técnicos se dieran cuenta que las nuevas condiciones del clima permitían cosechas exitosas en tierras que se consideraban antes sin aptitud agrícola. Por supuesto, esta adaptación tuvo cierto atraso en el tiempo y siguió las tendencias del clima con una demora de una década o más, después que los productores rurales se dieron cuenta de que las nuevas condiciones del clima eran persistentes. Esta adaptación autónoma en una región que en general conserva o ha visto aumentada la variabilidad interanual de la precipitación requiere del apoyo tecnológico, como por ejemplo de un buen sistema de predicción climática.

### **LAS TENDENCIAS OBSERVADAS EN LAS PRECIPITACIONES EXTREMAS**

Desde la década de 1970, en el este de la Argentina, Uruguay y sur de Brasil también se registra una tendencia hacia precipitaciones extremas más frecuentes. Esta tendencia se agudizó en la década de 1990. Este fenómeno ha sido observado en otras regiones del mundo y se espera su intensificación durante el presente siglo (IPCC, 2003). En la Figura 7 se muestra el número de casos con precipitaciones mayores a 100 mm, registrados cada 4 años en 18 estaciones del este y centro de Argentina desde 1959 hasta 1992. Cuando se comparan los tres primeros períodos y los tres últimos de 4 años, se observa que el número de casos se ha triplicado (Re et al, 2006).

Eventos como los que se contabilizan en la Figura 7 son los que conducen a inundaciones, en especial si las condiciones del terreno no facilitan el escurrimiento o lo concentran en determinados lugares. La Figura 8 muestra el cociente entre la frecuencia anual de de precipitaciones por encima de 150 mm entre dos períodos de 12 años: al final de la serie 1991-2002 y al comienzo de las series 1959-1970. Existen dos regiones donde se aprecia un notable incremento de precipitaciones de características extremas. La primera abarca todo el noreste de Argentina, excepto el este de Formosa y se extiende por la mitad norte

de las provincias de Santa Fe, Córdoba y entre Ríos y el este de Santiago del Estero. La segunda región se ubica en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. En esas regiones, el aumento de la frecuencia de grandes precipitaciones ha sido de tal magnitud que ha incrementado la vulnerabilidad social y ha vuelto inadecuada la infraestructura hídrica y vial existente.

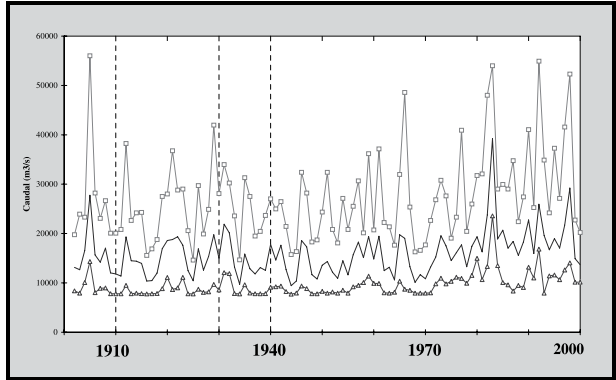
Este cambio impone la necesidad de adaptar la actual infraestructura a las nuevas condiciones y por otra parte incorporar a los sistemas de alerta temprana nuevas metodologías que permitan avisar sobre las precipitaciones intensas. Para ello es preciso mejorar el actual conocimiento que se tiene sobre los sistemas precipitantes que son responsables de las precipitaciones intensas, en particular de los sistemas convectivos de mesoescala que son los que originan la mayor parte de las precipitaciones intensas (Velasco y Fritsch, 1987). Los sistemas mesoconvectivos se observan en muchas regiones del mundo, pero la cuenca del Plata es una de las regiones que presenta la mayor frecuencia de estos sistemas.

### **INUNDACIONES DE LOS GRANDES RÍOS**

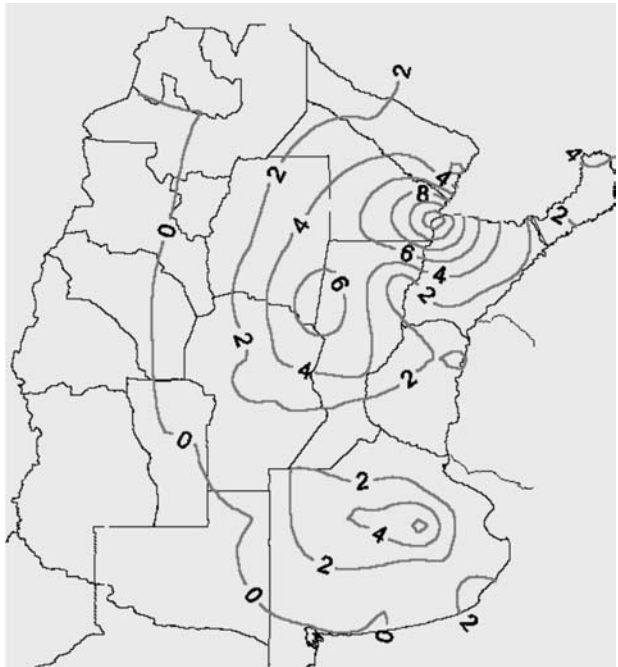
Las crecidas extraordinarias del Paraná constituyen fenómenos de gran envergadura que producen consecuencias significativas sobre las áreas circundantes a los cursos de agua. En la Figura. 9 se muestran los máximos, mínimos y medios anuales de los caudales diarios del río Paraná en la sección Paraná-Santa Fe para algo más de un siglo, el período 1902-2004 en base a los datos provistos por el Sistema de Información y Alerta Hidrológico del Instituto Nacional del Agua de Argentina

La Figura 9 indica que desde la década de 1960 y sobre todo de 1980, los máximos anuales se han incrementado respecto del período anterior. Además, ha aumentado la frecuencia de las crecidas extraordinarias: de las cuatro crecidas registradas con caudales pico mayores a  $50.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (1905, 1983, 1992, 1998), tres se produjeron en los últimos 20 años del siglo. Todas estas crecidas extraordinarias se registraron durante período Niño de la fase del fenómeno El Niño-Oscilación del SUR (ENSO) y en el otoño del año siguiente al comienzo del evento Niño. Su mayor frecuencia en años recientes, esta indicando una tendencia que obedece en parte a la mayor intensidad de los eventos Niños, pero probablemente también a otros cambios en el clima regional. El incremento de los caudales mínimos que se observa

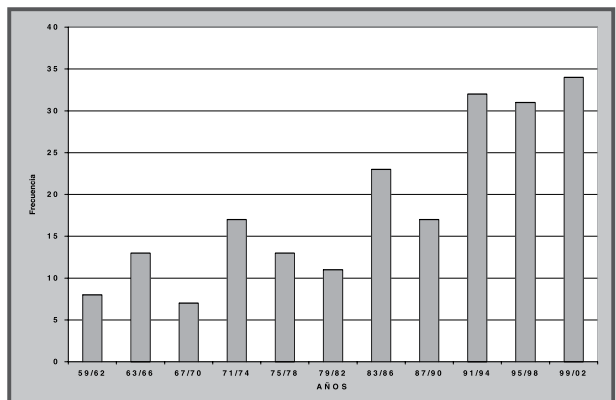
**FIGURA 7.** Número de precipitaciones mayores a 100 mm en no más de dos días de 16 estaciones de la región centro y este de la Argentina.



**FIGURA 8.** Cociente entre la frecuencia anual de casos entre el período 1991-2002 y el de 1959-1970. Precipitaciones con más de 150mm.



**FIGURA 9.** Valores anuales máximos medios y mínimos de los caudales diarios en el río Paraná en la sección Santa Fe-Paraná, 1902-2000. Sistema de Información y Alerta Hidrológico del Instituto Nacional del Agua (Argentina).



en la figura 9 está fuertemente ligado a la regulación impuesta por la cadena de embalses brasileños que se desarrolla a partir de la década del 60.

En el río Paraguay dos tercios de las 16 mayores crecidas del siglo veinte en Asunción se produjeron también durante el último cuarto del siglo. Este desvío hacia la ocurrencia en el último cuarto de siglo es más evidente cuanto más grandes fueron las crecidas consideradas, ya que de las 5 más intensas, 4 se dieron después de 1975 (Barros et al, 2004). En el río Uruguay, de los 16 mayores picos diarios desde 1950, ninguno se produjo antes de 1970 y sólo 2 antes de 1975 (Camilloni y Caffera, 2006). Todos esto ilustra el notable impacto que el cambio climático regional ha causado en la intensidad y frecuencia de las inundaciones en los valles de inundación de los grandes ríos de la cuenca del Plata

Un estudio del Banco Mundial (World Bank, 2001) indica que Argentina está entre los 14 países más afectados por inundaciones con pérdidas económicas que alcanzan algunos años más que el 1 % del PIB. La magnitud del área inundada por los grandes ríos y el número de personas dañadas ayudó a crear un conocimiento rápido del cambio y de la necesidad de enfrentarlo. Una política pública de la adaptación se aplicó después de la gran inundación del Paraná en 1983 y su reiteración en 1992. Después de la inundación de 1983, se creó un sistema de alerta hidrológico enfocado en las inundaciones de los grandes ríos de la cuenca del Plata. Este sistema se mejoró después de la inundación de 1992, junto con construcción de defensas.

### ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Los distintos modelos climáticos globales (MCGs) proyectan valores de la temperatura global con pequeñas diferencias, para cada uno de los escenarios socio-económicos. Todos dan la misma respuesta cualitativa, calentamientos apreciables a lo largo del siglo XXI para todos los escenarios socioeconómicos. Los MCGs son una metodología confiable para estimar cambios climáticos a escala global, pero aún tienen una capacidad limitada para simular el clima en la escala regional, entendiendo por tal la que va desde una localidad a un continente.

Los experimentos con varios MCGs realizados para el informe 2001 y 2007 del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2001 y 2007) indican que los mayores calentamientos se registrarían en las altas latitudes del Hemisferio

Norte. No obstante ello, en las regiones tropicales y subtropicales de los continentes, el calentamiento sería mayor a 3° C y en América del Sur algunos modelos con escenarios de emisiones sin mayor control proyectan casi 5° C de aumento. Buena parte de la Cuenca del Plata y sobretodo aquella donde se generan los caudales de los grandes ríos estaría afectada por tales calentamientos

Sobre la cuenca del Plata, el modelo del Hadley Centre, uno de los modelos que mejor simulan el clima de la región (Cavalcanti et al, 2006), proyecta en el centro de la cuenca del Plata, un aumento de temperatura respecto del presente de alrededor de 3° C a mitad de siglo y de 5° C al fin del mismo para el escenario socioeconómico A2 del IPCC, Fig.10. (Cavalcanti et al, 2006). El escenario A2 corresponde a un desarrollo con criterios que privilegian lo económico de corto plazo frente a lo ambiental y asume la continuidad de la heterogeneidad geográfica de las condiciones sociales y económicas en el planeta

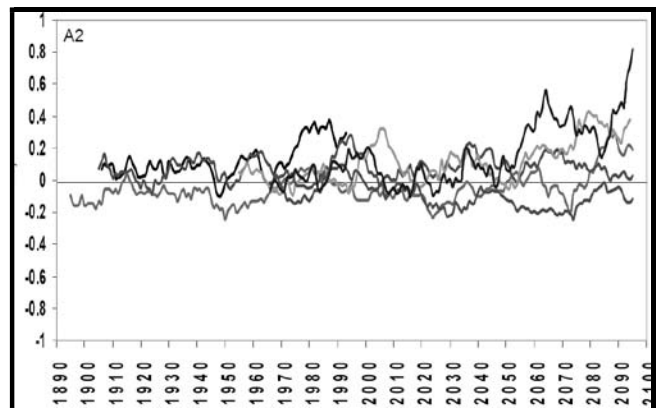
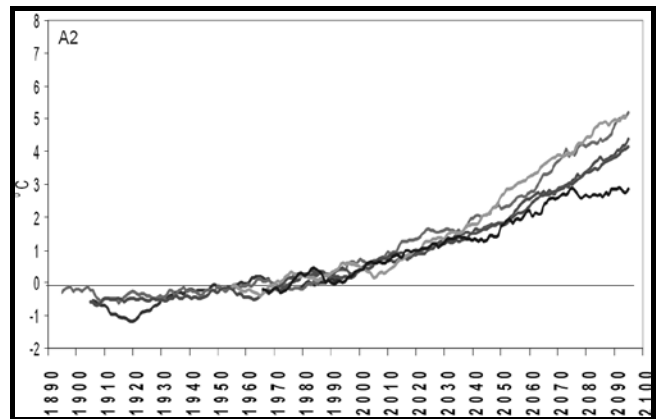
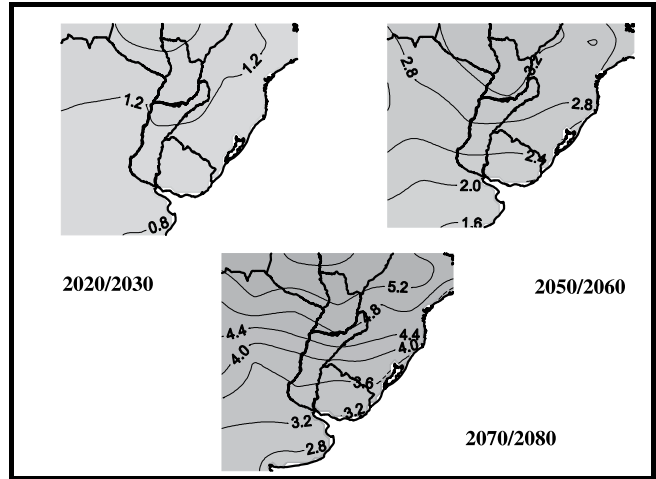
En cuanto a la precipitación, los modelos dan en la cuenca del Plata distintas tendencias, inclusive en algunos casos de signo opuesto, por lo que hay una gran incertidumbre en cuanto al signo de las tendencias de la precipitación, aunque se podría esperar de acuerdo con los resultados de todos los modelos, que los cambios no serían importantes ni uno u otro sentido, Figura 11

### CONSECUENCIAS HIDROLÓGICAS DE LAS PROYECCIONES CLIMÁTICAS

Los más recientes escenarios climáticos también proyectan cambios importantes de la temperatura sobre la mayor parte de la cuenca de Plata. Aunque estos cambios dependen de las emisiones de gases invernadero y del horizonte de tiempo, los aumentos de temperatura serían de 2 a 4° C en los próximos 50 años en la región donde se generan la mayor parte de los caudales de la Cuenca del Plata. Este aumento llevaría a una mayor tasa de evaporación. Si se considera que los cambios en la precipitación serían pequeños, no mayores a 100 mm anuales en promedio sobre la cuenca para fin del siglo y además inciertos, incluso en signo, los efectos de la mayor evaporación por el aumento de la temperatura producirían reducciones considerables en los caudales.

Un modelo hidrológico sencillo, ajustado con los valores de precipitación, temperatura y caudales de las principales subcuencas del Plata de las últimas 4

**FIGURA 10.** Escenarios de diferencias de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) según el modelo HADCM3 entre las décadas 2020, 2050 y 2080 y el presente (1961-90) para el escenario socioeconómico A2 (Cavalcanti et al 2006).



**FIGURA 11.** Temperatura (arribar) y precipitación (abajo) medias sobre la Cuenca del Plata según distintos modelos. Escenario socioeconómico A2. Cortesía de José Marengo.

décadas (Saurral et al, 2006) proyecta una vuelta a los caudales anteriores a la década de 1970 para un calentamiento de 2° C, Tabla 1. En un escenario de aumento de 5° C las consecuencias serían catastróficas con una reducción de los caudales de la cuenca del Plata del orden del 50 %.

La razón por la cual se produciría tan importante reducción de caudales subyace en la ya mencionada característica de la cuenca, en la que el 75 % de la precipitación se evapora o se infiltra y solo el 25 % de la misma llega a los ríos. De esta forma un cambio relativamente modesto en la evaporación, constituye un cambio porcentual muy grande en los caudales.

Estos cambios en la hidrología de la Cuenca de Plata tendrían impactos considerables en la economía y la vida de la región. En particular, se vería reducida la generación de energía hidroeléctrica, no sólo a nivel nacional sino regional, con el agravante de que esta es la principal fuente de electricidad de Brasil (90 %) y Uruguay y la única de Paraguay. Otros usos del agua y de los ríos, como la navegación y el suministro de agua potable de algunas localidades, se verían igualmente comprometidos.

#### **LIMITACIONES DE LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS EN LA CUENCA DEL PLATA**

En muchas regiones, los MCGs no son capaces de reproducir las condiciones regionales del clima actual. Las mayores dificultades están en la simulación de los campos de precipitación. En particular,

esto se produce hasta ahora en la Cuenca del Plata donde todos los MCGs subestiman la precipitación y por tratarse de una región subtropical, ello lleva a que esos modelos sobrestimen la temperatura. Ello es lo que surge de la verificación de los MCGs utilizados para los informes del IPCC 2001 y 2007 (IPCC 2001 y 2007). La figura 12 muestra el error en la precipitación media anual del experimento HADCM3 del modelo del Hadley Centre, uno de los que mejor reproduce el clima regional: Sobre la zona dentro de la elipse, el error varía entre 0 y 500 mm al año y en el promedio de la zona la precipitación simulada por el modelo es un 35 % menor que la observada.

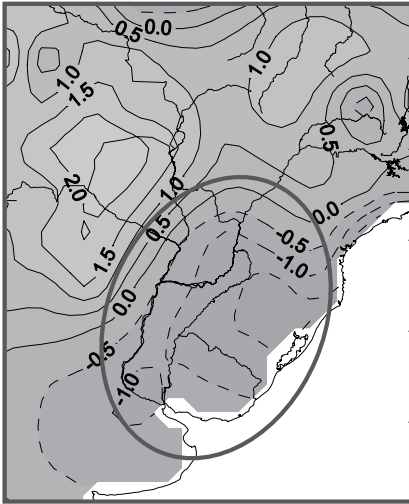
Si bien se trata de minimizar este tipo de errores asumiendo que las diferencias climáticas entre distintos periodos serían las mismas en los modelos que en la realidad, esto no deja de ser una hipótesis sin confirmación. Por ello es que los escenarios de precipitación y en menor medida los de temperatura sobre la Cuenca del Plata presentan una gran incertidumbre. Debido a ello, las proyecciones de los caudales como la presentada deberían considerarse, más que como escenarios futuros, como potenciales amenazas que requieren urgente y profunda investigación.

#### **CONCLUSIONES: LOS TEMAS PRIORITARIOS EN LA CUENCA DEL PLATA EN RELACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

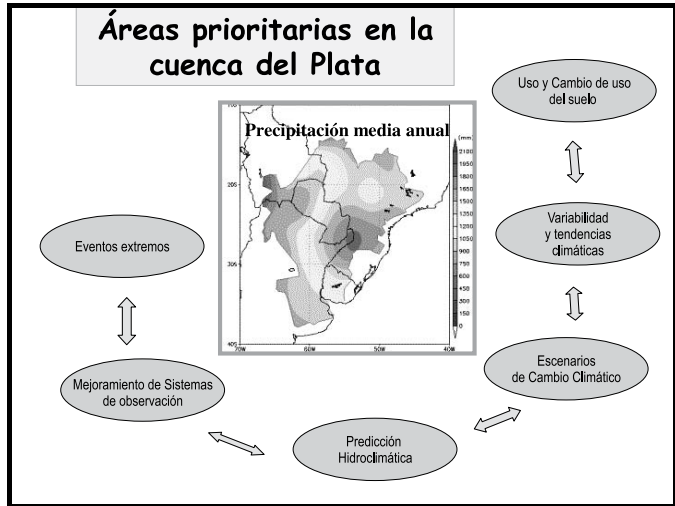
Las respuestas hidrológicas con respecto a la variabilidad climática, las tendencias de la precipitación

**TABLA 1**  
**Escenarios de caudales en la Cuenca del Plata de acuerdo a calentamientos posibles (Saurral et al, 2006)**

| <b>Cuencas</b>   | <b>Caudales actuales</b> | <b>Caudales en Escenario + 2° C</b> | <b>Diferencia porcentual en escenario + 2° C</b> | <b>Caudales en Escenario + 5° C</b> | <b>Diferencia porcentual en escenario + 5° C</b> |
|------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Pantanal         | 1.202                    | 760                                 | -37                                              | 329                                 | -73                                              |
| Paraguay         | 2.435                    | 1.512                               | -34                                              | 691                                 | -72                                              |
| Paraná Superior  | 6.614                    | 5.652                               | -15                                              | 4.230                               | -36                                              |
| Paraná Medio     | 10.435                   | 7.993                               | -23                                              | 4.541                               | -56                                              |
| Uruguay Superior | 5.329                    | 4.293                               | -19                                              | 2.836                               | -47                                              |
| Total            | 26.012                   | 20.311                              | -21                                              | 12.627                              | -51                                              |



**FIGURA 12.** Diferencia entre la precipitación anual observada y la simulada por el HADCM3 en mm/día (Camilloni, 2005).



**FIGURA 14.** Actividades centrales en relación al cambio climático y la variabilidad hidroclimática para la gestión de los recursos hídricos en la Cuenca del Plata.

y de los caudales durante las últimas décadas y los escenarios del clima para el resto del siglo crean dudas sobre la total disponibilidad de los recursos hídricos actuales de la Cuenca del Plata en las próximas décadas. No obstante, la amenaza del aumento de la evapotranspiración y de la consiguiente reducción de los caudales en la cuenca de Plata presenta incertidumbres todavía considerables.

La sociedad y los gobiernos regionales necesitan que se reduzca las actuales incertidumbres de los MCGs para poder diseñar sus planes de adaptación y para generar sus políticas nacionales sobre el cambio climático.

Las actuales técnicas de downscaling con modelos dinámicos regionales de alta resolución y/o estadísticos no son suficientes para remontar las fallas de los MCGs porque arrastran los errores de estos y en el caso de los modelos regionales dinámicos tienen las mismas falencias físicas. En vista de ello y sin desmedro de perfeccionar las técnicas de downscaling, es necesario que la cooperación internacional y de los investigadores de la región en el mejoramiento de al menos un MCGs.

El desarrollo y perfeccionamiento de un MCG y de modelos regionales de alta resolución permitirá

mejorar la representación del clima regional y que estas mejoras se apliquen a los modelos de predicción del clima y el tiempo, los que junto con el desarrollo de modelos hidrológicos distribuidos constituirían la base de un sistema regional de predicción hidroclimática. La figura 13 esquematiza las principales prioridades para incluir el cambio climático y la variabilidad climática en la gestión de los recursos hídricos de la Cuenca del Plata.

Ya se hizo mención a la necesidad e importancia de monitorear y modelar el uso y el cambio del uso del suelo. Igualmente se mostró que las precipitaciones intensas están aumentando su frecuencia y como esto es una característica del calentamiento global debemos esperar que ello continúe, o que al menos no se reviertan las actuales condiciones. Los sistemas mesoconvectivos que ocasionan la mayor parte de estas precipitaciones intensas tienen actualmente escasa predictabilidad y es poco lo que se sabe de los mismos en la Cuenca del Plata. Su estudio es esencial para mejorar el pronóstico del tiempo, el hidroclimático y los escenarios climáticos, así como para extender y mejorar los sistemas de alerta temprana de inundaciones y otros fenómenos derivados de las precipitaciones intensas (deslizamientos, vientos destructivos, etc.).

Para mejorar el conocimiento de los sistemas mesoconvectivos se requiere mejorar los sistemas de observación de superficie y el aprovechamiento más integral de los recursos que provee la observación satelital. Un esfuerzo observacional intenso en una región determinada por un breve periodo de tiempo

en la forma de un experimento de campo es una actividad que facilitaría el estudio de los sistemas mesoconvectivos y proveería valiosa información para el ajuste y perfeccionamiento de los modelos de predicción del tiempo y del clima y de desarrollo de escenarios climáticos.

## Referências

- BARROS, V., M. E. CASTAÑEDA, ; M. E. DOYLE, 2000. Recent precipitation trends in Southern South America east of the Andes: an indication of climatic variability. In: ***Southern Hemisphere paleo- and neoclimates***. New York : Springer-Verlag, p.187-206.
- BARROS, V.; et al. 2004. The major discharge events in the Paraguay River: magnitudes, source regions and climate forcings. ***J. Hydrometeorology***, v.5,p.1161-1170.
- BERBERY, E. H. ; V. R. BARROS, 2002. The hydrologic cycle of the La Plata basin in South America. ***J. Hydrometeorol.***, v.3, p.;630-645.
- CAMILLONI, I., 2005. Tendencias hidrológicas en la Argentina. In: **Proyecto Agenda Ambiental Regional-Mejora de la Gobernabilidad para el Desarrollo Sustentable**. PNUD ARG/03/001, Fundación T. Di Tella- SAYDS
- CAMILLONI, I. ; M. CAFFERA. 2006. The largest floods in the Uruguay River and their climate forcing. ***J. of Hydrometeorology*** (enviado).
- CAVALCANTI, I. CAMILLONI ; T. AMBRIZZI, 2006: Escenarios climáticos regionales. In: **EL CAMBIO climático en la Cuenca del Plata**. Buenos Aires : CIMA, 2006, p.175-190.
- GARCÍA, N. ; W. VARGAS, 1998. The temporal climatic variability in the Río de la Plata basin displayed by the river discharges. ***Climate Change***, v.38, p. 359-379.
- INTERGOVERNAMENTAL PANE ON CLIMATE CHANGE - IPCC. 2001.**Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press. Disponível em : [http://ipcc\\_wg1.uca.edu](http://ipcc_wg1.uca.edu)
- INTERGOVERNAMENTAL PANE ON CLIMATE CHANGE - IPCC . 2007. **4<sup>th</sup> Assessment Report**. Working Group. Report .The Physical Science Basis. Disponível em : [http://ipcc\\_wg1.uca.edu](http://ipcc_wg1.uca.edu)
- MAGRIN, G. O.; M.I. TRAVASSO ; G. R. RODRIGUEZ. 2006. Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. ***Climate Change***, v.72, p. 229-
- RE, M., R. SAURRAL ; V. BARROS 2006. Extreme Precipitations in Argentina. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY. 8<sup>th</sup>, 2006. Foz de Iguazú, **Proceedings...** São José dos Campos : INPE, 2182p.
- SAURRAL, R.; R. MEZHER, ; V. BARROS, 2006: Assessing long-term discharges of the Plata River. 8<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY. 8<sup>th</sup>, 2006, Foz de Iguazú.PR **Proceedings...** São José dos Campos : INPE, 2182p.
- TUCCI, C. E. M.;R. T. CLARKE, 1998. Environmental issues in the La Plata Basin. ***Water Resources Development***. v.14, p.157-174.
- TUCCI, C.E., 2003. Variabilidade climática e o uso do solo na bacia brasileira do Prata . In: ***Clima e Recursos Hídricos no Brasil***. Editores C. Tucci y B. Braga. Porto Alegre : ABRH, p.163-242
- VELASCO I. ; J. Fritsch 1987. Mesoscale convective complexes in the Americas. ***J. Geophys. Res.*** v. 92, p.9591-9613.
- WATSON, ROBERT T. **Climate change 2001: síntesis report**. Cambridg: Cambridg University Press, 2001. 397 p.
- WORLD BANK ,2001. **Report on Argentina: Gestión de los Recursos Hídricos: Elementos de Política para su Desarrollo Sustentable en el Siglo XXI**. Washington, D.C. : Banco Mundial, 78p.

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