

### Capítulo 3

## El Cambio Climático en Argentina

*Vicente R. Barros*

### 1. Condicionantes geográficas

La Argentina continental está dentro de la región de climas subtropicales y de latitudes medias. Junto con Chile, se extiende como una cuña entre dos inmensos océanos, lo que junto con la acción de los vientos que transportan masas de aire desde los océanos, favorece un clima poco continental, excepto en el norte. En consecuencia, las amplitudes térmicas tanto diarias como anuales no son muy pronunciadas en comparación con las regiones continentales de similares latitudes del Hemisferio Norte.

La Cordillera de los Andes es otro importante condicionante del clima regional; desde 40° S hacia el norte su altura media de alrededor de 4000 metros bloquea el intercambio de aire en los niveles bajos de la atmósfera entre un lado y otro de la misma. Como en estos niveles se encuentra la casi totalidad del vapor de agua, la Cordillera impide el pasaje de humedad del Pacífico hacia la Argentina. De esta forma, el noroeste de Argentina y el Chaco tanto argentino como paraguayo quedan aislados de las fuentes de vapor de agua desde el Pacífico y su lejanía del Atlántico, determina que su clima adquiera características secas y continentales. Esta falta de aporte de aire marítimo lleva a temperaturas más elevadas que en las regiones circundantes al este, oeste y sur, contribuyendo así a la formación de un sistema de baja presión de capas bajas de característica casi permanente. Este sistema, conocido como la Baja del Chaco, induce vientos cálidos y húmedos desde el norte sobre el este y centro de Argentina. Al sur de 40° S, la cordillera es mucho más baja, y el ascenso forzado de los vientos del oeste sobre la misma favorece la condensación y la precipitación en Chile y sobre una angosta faja del lado argentino. Las masas de aire transportadas por los vientos del oeste son de esta forma despojadas de su humedad, por lo que el resto de la Patagonia argentina recibe muy poca precipitación.

#### La Circulación Atmosférica.

Al norte de 40° S, la circulación predominante cerca de la superficie está regida por el borde occidental del anticiclón del Atlántico Sur y por lo tanto los vientos más

frecuentes son del nordeste y en menor medida del este. De aquí en adelante, esta región será llamada Argentina subtropical. Como la Cordillera de los Andes bloquea el acceso de los vientos del Pacífico en las capas bajas de la atmósfera, las fuentes de vapor de agua de las precipitaciones en la Argentina subtropical son el océano Atlántico y el continente húmedo tropical. Este último es la principal fuente durante el verano y en parte de las estaciones intermedias (Wang y Paegle 1996). El anticiclón del Atlántico Sur también aporta aire húmedo desde el mar, pero en el este del país esta contribución sólo se traduce en precipitaciones importantes en el invierno.

Al sur de los 40° S, abarcando toda la Patagonia, predominan los vientos del oeste con una alternancia continua entre los sistemas sinópticos de las latitudes medias, esto es frentes, ciclones extratropicales y anticiclones migratorios. Esto produce rápidas sucesiones de tiempo lluvioso y despejado sobre la región cordillerana y de cielos nublados y claros en el resto de la Patagonia. La circulación del oeste irrumpe con frecuencia al norte de los 40° S en la forma de frentes fríos que avanzan hacia el norte y rotan los vientos a componentes del sudoeste o sudeste sobre el este de Argentina.

## **Temperatura**

*Campos medios de temperatura.* En el mes típicamente invernal de julio, la temperatura media de superficie varía de 18° C en la frontera con Paraguay a menos de 2° C en buena parte de Santa Cruz y Tierra del Fuego. En el este y centro de la región subtropical la temperatura desciende hacia el sur pero también hacia el oeste, reflejando la mayor altura y también la continentalidad, ya que en esta época del año hay condiciones más frías en el continente que en el océano. La costa Patagónica tiene poca variación latitudinal por la corriente de Malvinas que por su dirección sur-norte tiende a morigerar los gradientes meridionales de temperatura. En la meseta y la región andina patagónica, la temperatura desciende hacia el oeste, influida por los mismos condicionantes que en la región subtropical, pero en forma más marcada. En enero, la temperatura media varía desde 9° C en el sur de Tierra del Fuego a 29° C en la frontera con Paraguay. En la Patagonia sigue persistiendo el gradiente hacia el oeste, acentuado con respecto al invierno por la mayor temperatura de la zona central y costera.

En la mayor parte de las zonas alejadas del mar, el ciclo anual de la temperatura sigue con muy poco desfase al de la radiación solar, con un máximo que en la mayor parte de la región subtropical se produce en la primera o segunda semana de enero.

*Variabilidad interanual.* En la Argentina subtropical, las situaciones con viento norte persistente durante varios días son las que producen los periodos con las mayores temperaturas. En la parte cálida del año, ello se refuerza cuando estas situaciones están acompañadas de cielos despejados que posibilitan la llegada de mayor radiación solar a la superficie. Sin embargo, en esta parte del año, el viento norte trae también considerable vapor de agua y por lo tanto estas situaciones suelen terminar rápidamente con abundante nubosidad primero y precipitación después. En las regiones subtropicales, la nubosidad y la precipitación tienden a reducir la temperatura ya que la primera intercepta la radiación solar y la segunda enfría la superficie por la evaporación. De este modo, en la Argentina subtropical hay un efecto compensador entre la advección de mayor temperatura desde el norte y la nubosidad y precipitación que la acompañan. Por esa razón la variabilidad interanual de las temperaturas medias mensuales es relativamente pequeña en el este de la Argentina, donde aún en invierno, aunque en menor medida que en verano, sigue actuando este mecanismo compensador. Por el contrario en el oeste de la Argentina durante el invierno, la escasa humedad y precipitación no interfieren con la advección de temperatura y por ello se registra una mayor variabilidad interanual (Barros et al 2002).

### **Precipitación**

*Características de la precipitación.* En la Patagonia, tanto en los Andes donde es más frecuente, como en el resto de la región donde es más esporádica, la precipitación se produce principalmente desde nubes de tipo estratiforme, llamadas nimbostratus. Estas tienen dimensiones horizontales de cientos o miles de kilómetros y verticales de no más de 5000 metros y dan lugar a lluvias regulares en tiempo y espacio. En cambio, en la región subtropical, la mayor parte de la lluvia se origina en nubes o sistemas convectivos. Ello es más cierto en el verano, cuando casi toda la precipitación tiene ese origen. Las nubes convectivas (cumulonimbus) producen precipitación intensa en forma de chaparrón y están asociadas generalmente con actividad eléctrica y vientos intensos en superficie. Su diámetro típico es del orden de 10 Km o menos y alcanzan alturas de hasta 15 Km. Estas

nubes pueden presentarse en forma aislada, pero es frecuente que se desarrollen en gran número dentro de los sistemas sinópticos de mayor escala como los frentes y ciclones extratropicales, o agrupados en un sistema convectivo de mesoescala (SCM).

En la Argentina subtropical, la mayor parte de la precipitación está asociada al pasaje de frentes fríos. Sin embargo, la precipitación no se produce sólo durante el pasaje de los mismos, sino más frecuentemente antes, originándose dentro de la masa de aire tropical. Otros sistemas sinópticos de gran importancia en la Argentina subtropical, que generalmente se producen antes del pasaje frontal frío, son los SCMs (Velasco y Fritch 1987). Los SCMs son de una dimensión menor que los ciclones extratropicales y los frentes, aunque pueden estar asociados a estos últimos. Su diámetro suele ser de 300 Km o menos y son de tal intensidad que pueden producir precipitaciones superiores a 100 o aún 200 mm en pocas horas. El sudeste de América del Sur y la zona sur del medio oeste de los Estados Unidos son las regiones del mundo donde estos fenómenos son más frecuentes (Nesbit y Zisper 2000). Estos sistemas son la principal causa de la enorme potencialidad destructiva de las lluvias intensas ya que pueden generar las mismas sobre áreas del orden de 50.000 y hasta 100.000 Km<sup>2</sup>.

*Campos medios de precipitación.* En la región subtropical, la precipitación media anual presenta un gradiente zonal con un máximo de más de 1200 mm en el Nordeste y valores del orden de 100 mm en los desiertos de Cuyo y Comahue. Este gradiente este-oeste en las precipitaciones responde a que los flujos de vapor de agua, sea desde el continente húmedo tropical o desde el Atlántico están más frecuentemente dirigidos hacia el este del país.

En el oeste de Argentina, sólo durante la parte estival del año llega suficiente humedad desde el Atlántico como para producir precipitaciones al oriente de las sierras de Orán, Tucumán, Córdoba, y San Luis donde consecuentemente se registra un máximo espacial relativo. Al oeste de estas sierras se encuentra la zona más árida, ya que el ingreso de vapor de agua está impedido por estos cordones desde el este, por los Andes desde el oeste y por la Puna y la altiplanicie boliviana desde el norte. En la Patagonia, donde los vientos son predominantemente del oeste, los Andes restringen el acceso de vapor de agua y excepto en algunas áreas cordilleranas, la precipitación anual no supera los 200 mm. Sólo muy al sur, en Santa Cruz y Tierra del Fuego donde la altura de la cordillera está ya

muy reducida, las precipitaciones superan los 300 mm anuales en algunas zonas.

El régimen anual de precipitación presenta considerables diferencias entre las distintas regiones del país. En el Noroeste y en Cuyo casi toda la precipitación se produce en la mitad estival del año mientras que en invierno es prácticamente nula. Hacia el este, la estación invernal seca tiende a desaparecer y en la costa atlántica de Uruguay y del sur de Brasil el máximo se registra en invierno. En el centro de Argentina y en la Pampa Húmeda hay dos máximos en el régimen anual medio de precipitación, uno en octubre-noviembre y el otro en marzo-abril. Aunque en esa región hay un mínimo relativo en el verano, los valores promedio de esta estación son mayores que los del invierno. De todos modos, es conveniente señalar que en el este de la Argentina subtropical las variaciones interanuales son tan grandes que en un año particular los valores máximos o mínimos pueden ocurrir en cualquier mes.

En la zona cordillerana de la Patagonia las precipitaciones más abundantes se producen en la mitad fría del año, excepto en el extremo sur de Santa Cruz y Tierra del Fuego. Este mismo régimen se observa también en la mayor parte de la costa y la meseta de Chubut y Santa Cruz. Este ciclo anual responde a la fluctuación estacional del borde oriental del anticiclón del Pacífico Sur. La nieve que precipita en los Andes en Cuyo y Comahue sigue esta misma variación estacional, y en la primavera y verano su derretimiento provee el agua de los ríos que permiten los oasis cultivados en el piedemonte andino y en la meseta árida del Comahue.

*Las precipitaciones extremas.* El origen predominantemente convectivo de las precipitaciones en la Argentina subtropical, y la existencia de frecuentes SMCs favorecen la ocurrencia de eventos severos de gran intensidad. Cuando estas precipitaciones caen sobre zonas donde las condiciones de escurrimiento no son propicias para la evacuación de las aguas superficiales dentro de los cauces normales, su secuela son inundaciones con efectos destructivos. La frecuencia anual de las precipitaciones en exceso de 100 mm registradas en el lapso de dos días consecutivos para el periodo 1959-2002 es en casi todo el noreste de alrededor de una por año. Esta frecuencia disminuye hacia el sur y hacia el oeste. En ese período, las 38 estaciones con registros diarios completos registraron 576 episodios de lluvias de esta magnitud, es decir, más de 12 casos por año o lo que es

equivalente, uno por mes, lo que es indicativo de la naturaleza torrencial de las precipitaciones de la región.

*La variabilidad interanual.* La precipitación está condicionada no sólo por los flujos de humedad sino por procesos atmosféricos que favorecen o inhiben los movimientos verticales que dan lugar a los mecanismos de la condensación del vapor de agua y posterior precipitación. Estos movimientos verticales son producto de procesos dinámicos de la atmósfera que en ciertos casos se originan en regiones remotas. Uno de estos procesos son las fluctuaciones en la temperatura del mar en el Pacífico ecuatorial que dan lugar a los eventos del Niño y La Niña. Estos cambios en la temperatura de la superficie del mar afectan la atmósfera de esa región ecuatorial y se propagan en la atmósfera en forma de ondas que favorecen o inhiben la precipitación en distintas zonas geográficas. En el caso de la Argentina subtropical, estas influencias remotas son tan importantes que la alternancia de condiciones del Niño, la Niña y neutras es la mayor fuente conocida de la variabilidad interanual de la precipitación (Ropelewski y Halpert 1987; Kiladis y Díaz, 1989, Grimm et al 2000). Aunque en promedio, el Niño y la Niña presentan determinadas asociaciones con las precipitaciones en Argentina subtropical, hay también una notable variabilidad de la precipitación entre eventos del mismo tipo, sean estos Niños o Niñas.

La variabilidad interanual de la precipitación tiene también otras causas, distintas a las fluctuaciones de la temperatura superficial del mar del Pacífico ecuatorial, que son menos conocidas. No obstante se sabe que las precipitaciones en el oeste y centro de la Argentina responden también a la temperatura superficial del mar en el Atlántico Sur y en otras regiones remotas (Castañeda y Barros 2001).

### **Los cambios climáticos observados en Argentina durante las últimas 4 décadas**

#### **Temperatura**

La temperatura media de superficie, no presenta tendencias significativas en la Argentina subtropical. Ello es el resultado de dos tendencias contrapuestas en la temperatura mínima (positiva) y la máxima (negativa), cada una de ellas con valores que varían espacialmente entre 1 y 3° C durante el siglo veinte. El aumento de las temperaturas mínimas es lo que debe esperarse como consecuencia del aumento en las concentraciones

de gases de efecto invernadero, mientras que el descenso en las máximas se debe a las mayores precipitaciones asociadas con mayor nubosidad y evaporación, procesos que tienden a reducir las temperaturas máximas.

El aumento de las temperaturas mínimas se ha notado más en el invierno donde es muy marcada la tendencia a largos periodos del mismo sin condiciones muy frías. Además, se ha estado observando la prolongación de las condiciones térmicas del verano en el otoño temprano y la reducción de la diferencia entre invierno y verano por las mayores temperaturas en el primero (Bejarán y Barros 1998). Asociado con esto, se ha observado un progresivo aumento de la circulación media de las capas bajas de la atmósfera típica del verano en detrimento de la propia del invierno en las estaciones intermedias. (Di Luca et al 2006).

En la Patagonia se aprecia un marcado tren positivo en las temperaturas medias que es más intenso hacia el sur donde se han registrado aumentos superiores a 1° C. Esta tendencia parece haberse detenido y en algunos casos revertido parcialmente en los últimos años.

## **Precipitación**

*Las precipitaciones medias anuales.* El cono sur de América al este de los Andes fue la región del planeta con el mayor aumento en la precipitación durante el siglo XX (Giorgi 2003). En contraste, al oeste de los Andes, las tendencias fueron intensamente negativas. Esta diferente tendencia en la precipitación entre las dos regiones de latitudes subtropicales, positiva al este y negativa al oeste de los continentes se ha registrado también en Australia por lo que parece ser una característica del Hemisferio Sur. La aparente causa de este comportamiento hemisférico es el desplazamiento de los anticiclones subtropicales hacia latitudes más altas que se ha registrado en las últimas décadas (Gillet et al 2003; Escobar et al 2003, Barros et al 2008), lo que es un comportamiento consistente con el calentamiento global

Las tendencias positivas de la precipitación se intensificaron a partir de la década de 1960 en la mayor parte del territorio argentino (Castañeda y Barros 1994) como puede apreciarse en dos ejemplos en la figura 3.2.

Las dos regiones donde se han producido los mayores aumentos son el oeste de la Provincia de Buenos Aires y La Pampa al sur y en Corrientes y sur de Misiones en el noreste (Fig. 3.3). En ambas, los incrementos en los últimos 30 años del siglo pasado fueron de más de 300 mm. En la primera de ellas, el incremento porcentual fue casi del 50 %, lo que explica que en esa zona se haya registrando cada vez más frecuentes inundaciones y que incluso, muchos campos se hayan transformado en lagunas permanentes. En el caso de Corrientes, los esteros y las lagunas del sistema Iberá han expandido su superficie notoriamente.

Este aumento de las precipitaciones no fue simultáneo sobre toda la región. En el sur y centro de la Argentina subtropical (provincias de Buenos Aires, Córdoba y La Pampa) la fuerte tendencia positiva se inició a fines de la década de 1960 (Fig. 3.1). Esto coincidió con un notable calentamiento de las costas e islas antárticas del hemisferio occidental, y fue muy probablemente causado por el desplazamiento hacia el sur del Anticiclón del Atlántico Sur (Barros et al 2008). En el sur de Brasil y noreste de Argentina, las tendencias positivas se iniciaron a partir de mediados de la década de 1970 estando aparentemente vinculadas con una mayor intensidad y frecuencia del fenómeno de El Niño (Barros et al 2008).

Dado que las isoyetas corren en dirección aproximadamente meridional, el aumento de las precipitaciones medias anuales sobre toda la región, implicó el desplazamiento de las isoyetas hacia el oeste. Como puede verse en la figura 3.3, la isoyeta de 600 mm, que aproximadamente delimita la frontera agrícola en el sur de la pampa húmeda argentina, se desplazó más de 100 Km al igual que la de 800 mm que en el norte es el límite de la agricultura de secano.

Las ciudades y la economía cuyana dependen del agua de los ríos que se originan en las nieves y glaciales cordilleranos ya que las precipitaciones en el piedemonte andino son sumamente escasas y no influyen en los caudales medios de los ríos que dan lugar a los oasis. Más hacia el sur, en el Comahue ocurre lo mismo, aunque ya las precipitaciones al este de los Andes tienen cierta influencia en los caudales medios de los ríos. Los sistemas meteorológicos que dan lugar a las nevadas en la cordillera son los mismos que producen las precipitaciones en las localidades chilenas al oeste de los Andes. A falta de datos que permitan visualizar las tendencias de las precipitaciones sólidas en la alta montaña, se

pueden considerar las tendencias de las precipitaciones del lado chileno que han sido decrecientes en la región chilena lindantes entre 30 y 42° S. Estas tendencias negativas son más pronunciadas desde la década de 1960, siendo similares a las de las muy pocas estaciones con largos registros en la zona oeste de la Patagonia argentina

*Tendencias estacionales y por fases del El Niño-Oscilación del Sur (ENSO)*. En líneas generales por encima de detalles regionales, en la Argentina subtropical las tendencias positivas de la precipitación de las últimas décadas del siglo veinte se produjeron en el verano y en las estaciones intermedias. En el invierno las tendencias tuvieron poca magnitud, excepto en el Litoral donde fueron negativas (Barros et al 2008).

La fase Niño del ENSO ha ganado en intensidad en las últimas décadas del siglo pasado. Ello explica gran parte de tendencia positiva al norte de una franja que va desde Jujuy hasta el centro de Uruguay, incluyendo por lo tanto, al Noreste de la Argentina. Por el contrario al sur de esta franja, la contribución de la fase Niño fue prácticamente nula. En esta última región, la tendencia positiva se produjo por la contribución de los períodos neutros que también influyeron además en el núcleo de tendencias positivas de Corrientes y Misiones. Por otra parte, el aporte de los períodos Niña a las tendencias de la precipitación en la región fue muy escaso o prácticamente nulo (Barros et al 2008). Estos resultados puede ser importante a la hora de la interpretación de los escenarios futuros pues sirven para poner de manifiesto los mecanismos responsables de las tendencias climáticas de las últimas décadas, pero sobretodo para estimar los escenarios de los próximos años dado que como todo parece indicar, el ENSO ha entrado en una fase con Niños menos intensos que puede durar entre 10 y 20 años.

*Las precipitaciones extremas.* Desde la década de 1970, en el este de la Argentina, es decir, en el Litoral y la Pampa Húmeda, también se registró una tendencia hacia precipitaciones extremas más frecuentes. Esta tendencia se agudizó en la década de 1990. El incremento de la frecuencia de precipitaciones intensas se muestra en la figura 3.4 que grafica el cociente entre la frecuencia anual de casos con precipitaciones por encima de 150 mm entre dos períodos de 20 años, 1983/2002 y 1959/1978. Eventos como los que se analizan en esa figura son los que conducen generalmente a inundaciones cuando las condiciones del terreno no facilitan el escurrimiento o lo

concentran en determinados lugares. Estas precipitaciones son producidas en muchos casos por SCMs.

Las tendencias calculadas hasta el 2002 resultaron ampliamente confirmadas por eventos posteriores entre los que se destaca la inundación de la ciudad de Santa Fe por la gran crecida del río Salado y numerosos eventos de precipitaciones intensas durante los años 2006 a lo largo de todo el país con las consiguientes secuelas de inundaciones. Varios episodios de lluvias intensas causaron torrentes y deslizamientos en Tartagal que afectaron la ciudad e inundaciones en las provincias del Chaco y Formosa. Durante el invierno, temperatura inusualmente altas para la época del año derritieron las superficies nevadas, lo que sumado a intensas lluvias produjo importantes riadas en Neuquén ocasionando severos daños, que la provincia estimó cercanos a los 100 millones de pesos. En el otoño del 2007, se produjo una secuencia de precipitaciones extremas que se extendieron desde el este de Córdoba hasta Uruguay, con un máximo sobre el centro de Santa Fe, donde en 3 o 4 días llovieron más de 500 mm afectando una gran superficie agrícola. Otros eventos de grandes precipitaciones se registraron durante los años 2006 y 2007 en Tucumán, Formosa, Reconquista y en varias oportunidades en Córdoba.

Hay razones físicas para que las precipitaciones más intensas aumenten su frecuencia con el calentamiento global. Entre otras razones de más compleja explicación, el contenido de vapor en la atmósfera usualmente aumenta con la temperatura y en consecuencia los sistemas meteorológicos precipitantes disponen de mayor agua. Como resultado del calentamiento global, hay grandes regiones del planeta donde el aumento de las precipitaciones intensas fue mayor que el esperado por el aumento de las precipitaciones medias anuales (Groisman et al. 2005).

## **El viento**

No existen mucha información sobre la evolución del campo de viento en superficie durante las últimas décadas. Ello en parte se debe a la poca calidad de los datos de esta variable debido a deficiencias del instrumental y a la influencia que un entorno variable en el tiempo puede ejercer en forma significativa sobre la tendencia de los vientos en superficie.

El campo de presión en superficie, variable asociada al viento a través de la relación geostrofica muestra claros indicios de que el anticiclón del Atlántico se ha estado desplazando hacia el sur (Camilloni 2006). Asociado a ello se debe esperar que el viento predominante sobre el Río de la Plata haya rotado desde el noreste hacia una componente más cercana al este. Ello se comprobó con escasos datos (Simionato et al 2004) y puede haber afectado el nivel medio del Río de la Plata en algunos centímetros (Barros et al 2005).

El desplazamiento de la circulación del anticiclón hacia el sur, muy probablemente haya incidido en la menor frecuencia de vientos del oeste y mayor del noreste sobre el sur de Buenos Aires y norte de la Patagonia. Igualmente es de esperar que el cinturón de vientos del oeste que tenía su máxima intensidad en Comodoro Rivadavia se haya desplazado hacia el norte y centro de Santa Cruz. Al respecto no hay publicaciones, pero los datos de C. Rivadavia y Puerto Deseado indican ese desplazamiento y los datos más recientes muestran el máximo en el centro de Santa Cruz (Barros et al 1997)

### **3. Consecuencias de los cambios climáticos observados**

#### **La expansión de la frontera agropecuaria**

Como consecuencia del aumento de las precipitaciones, así como por la incorporación de nuevas tecnologías, y una relación de precios favorable, la frontera agrícola se ha desplazado más de 100 Km hacia el oeste, dando lugar a una importante agriculturización en una franja que va desde La Pampa hasta Santiago del Estero y que hasta no hace mucho era considerada semiárida. Este tema se trata con mayor extensión en otros capítulos de este libro por lo que solo se lo menciona aquí a título de inventario.

#### **El ascenso de la napa de agua subterránea**

Las mayores precipitaciones, no acompañadas por mayores temperaturas han dado lugar a excesos hídricos que se manifestaron no solo por mayores escurrimientos hacia los ríos, sino que en las grandes llanuras donde el equilibrio hídrico se da fundamentalmente en la vertical aumentaron la infiltración provocando ascensos de la napa freática que a su vez se ven potenciados en las zonas más bajas por el escurrimiento sub-superficial. Cuando la

napa alcanza la superficie se generan inundaciones permanentes como ocurre en el sur de Santa Fe, oeste y centro de Buenos Aires y en Corrientes. Las inundaciones transitorias de este tipo en algunos casos salinizan el suelo, por lo que el daño es más duradero que la inundación (Capítulo 7).

De esta forma un aspecto negativo del cambio climático de las últimas década ha sido la depreciación de algunas zonas agrícolas por las continuas o repetidas inundaciones en muchas zonas de las provincias de la Pampa, Córdoba, Santa Fe, Buenos Aires y Corrientes. En algunos casos, el aumento de la napa freática, esta causando trastornos urbanos como en la ciudad de Reconquista con el afloramiento de aguas servidas y otros perjuicios. Recientemente en el este de San Luis en la zona de Villa Mercedes y Justo Daract se observa un proceso similar con perjuicios a la infraestructura, especialmente vial y a la actividad agrícola.

### **Afectaciones por más frecuentes inundaciones**

Otro aspecto negativo del cambio climático de las últimas décadas es la mayor frecuencia e intensidad de inundaciones de todo tipo que pasaron a ser las catástrofes de origen natural que mayores daños económicos y sociales causaron en las últimas décadas. Grandes áreas ribereñas del Paraná Medio y del Bajo Paraná han sido afectadas con creciente frecuencia, al punto que tres de las cuatro mayores inundaciones del siglo XX se produjeron en sus últimos veinte años, en 1983, 1992 y 1998.

El aumento de la frecuencia de precipitaciones extremas ha incrementado notablemente la vulnerabilidad social y puesto en crisis a gran parte de la infraestructura. Los perjuicios de las inundaciones en muchos casos se han potenciado por la inadecuación de la infraestructura a las nuevas condiciones climáticas y por la falta de conciencia sobre estas nuevas condiciones.

La Argentina tiene el 90% de la población concentrada en 800 centros urbanos. Un número importante de estos centros, y casi todos los más grandes, tienen una localización cercana algún curso importante de agua, por lo cual son vulnerables a posibles inundaciones causadas por desbordes de los mismos. Aunque generalmente la localización inicial de los centros urbanos se hizo en zonas altas, la posterior expansión ha llevado a la

ocupación de zonas más bajas. Por ello que se han detectado problemas por afectaciones hídricas negativas en al menos 32 ciudades donde algo mas de un millón de personas podría sufrir riegos de inundación debido a lluvias intensas (Kullock, 2007).

Desde el punto de vista económico, en algunos años, los daños directos de las inundaciones han superado los mil millones de pesos, reduciendo las exportaciones y afectando las economías regionales. Los daños mediatos han sido probablemente más importantes con la quiebra de empresas, el mayor desempleo y las consecuencias de largo plazo sobre la salud.

### **Los mayores caudales en los ríos del Litoral**

Como las mayores precipitaciones también se registran en Paraguay y Brasil, los caudales de los ríos del Litoral aumentaron considerablemente. En particular, los caudales de los grandes ríos Paraná, Paraguay y Uruguay aumentaron considerablemente desde mediados de la década del 70 (García y Vargas 1998; Genta et al 1998, Barros et al 2004). Los aumentos porcentuales de los caudales de estos ríos fueron más de dos veces mayores que los de la precipitación (Berbery y Barros 2002). Esta amplificación de la respuesta hidrológica indica que los caudales de estos ríos tienen una gran sensibilidad a los cambios climáticos y que por lo tanto las actividades humanas que dependen de estos caudales son potencialmente muy vulnerables a los cambios climáticos.

La Figura 3.5 muestra los caudales medios anuales de los tres grandes ríos, Paraná, Paraguay y Uruguay, que si bien tienen una alta variabilidad interanual, presentan claras tendencias positivas en sus caudales desde 1970. Ese aumento de los caudales produjo enormes beneficios a las represas hidroeléctricas, al superarse sus expectativas iniciales de producción, con aumentos que en general alcanzaron más de un 30%.

### **La menor oferta de agua en Cuyo y Comahue**

Las series de los caudales de los principales ríos de Cuyo y Comahue, presentan una moderada tendencia negativa cuando se considera la totalidad de la información, generalmente cerca de un siglo, y una marcada aceleración de esta tendencia negativa a partir de la década de 1980. Debido a ello, en el Comahue ya ha habido una reducción del

orden del 30 % en la generación de electricidad cuando se la comprara con la que se hubiera obtenido con las misma infraestructura hidráulica si se hubieran mantenido los caudales de la década de 1940 (G. Devoto, 2005). Sobre la importancia de este impacto negativo, cabe mencionar que la producción hidroeléctrica anual de esta región varía según el año entre el 20 y 25 % del total de la generación eléctrica del país.

En Cuyo, donde el riego es el uso consumptivo del agua predominante (80 % o más), este parece haber llegado ya al límite o estar muy próximo del mismo por lo que se hace un uso complementario de agua subterránea para riego que es del orden del 20%, razón por la cual en Mendoza se la denomina como el “quinto río”.

Los glaciares sufren desde principios de siglo un marcado retroceso, producto de balances de masa (cantidad de hielo acumulado en el invierno menos cantidad de hielo derretido en el verano) negativos. Hay mediciones desde el año 1979 en un glaciar representativo de la región, el del Cajón del Rubio (cuenca del Río Mendoza). Los resultados muestran que el balance de masa acumulado es altamente negativo (Leiva 1999). El uso de datos de fuentes documentales combinadas con otras técnicas de análisis paleoclimático han permitido establecer que el comportamiento de la mayoría de los glaciares de la Cordillera Central, tanto en la vertiente Argentina como en la Chilena es similar al observado en el mencionado glaciar con un retroceso que se manifiesta desde principios del Siglo XX (Boninsegna y Villalba 2006).

El aumento de la temperatura esta cambiando además el hidrograma anual de los ríos andinos ya que al comenzar más temprano el proceso de fusión de la nieve, se incrementa el caudal en los meses de primavera, y el pico de máximo ocurre más temprano, dando lugar en consecuencia a la disminución de los caudales de verano por agotamiento de la masa de nieve. A ello se suma que debido a la elevación de la isoterma de cero grado, una fracción cada vez mayor de la precipitación de invierno cae como agua líquida y escurre rápidamente. Como el agua es requerida en Cuyo principalmente para el riego en el verano, este desfasaje del hidrograma agrega una dificultad más a la notoria reducción de los caudales. Esto mismo está ocurriendo en los ríos de origen nival en California, una región que tiene condiciones climáticas similares a las de Chile central y Cuyo.

## **La isoterma de cero grado y los glaciares**

La altura de la isoterma de cero grado, representa en general la altura por encima de la cual la temperatura se encuentra debajo de 0° C cero (punto de congelación del agua). Ello implica que en las superficies sólidas que se encuentran por encima de la altura de esa isoterma, el agua permanecerá en estado sólido. Mientras que por debajo de esa altura, se escurrirá en forma líquida. La altitud a la que se ubica la isoterma de cero grado puede ser entonces usada para inferir el comportamiento de la altura mínima en que se puede hallar nieve y o hielo. Esta altura tiene un ciclo anual bien marcado, variando las alturas entre verano e invierno con diferencias de hasta 2.000 metros o más en la región Comahue.

En los últimos 50 años, la isoterma de cero grado ha estado aumentado su altitud (Fernández, 2006), como puede verse, por ejemplo, en la Figura 3.6. Esto explica que el retroceso generalizado de los glaciares de Argentina y Chile se debió principalmente a un aumento de la temperatura del aire que se refleja en el aumento de la altitud de esta isoterma. Sin embargo como en el caso de la temperatura de superficie, la tendencia al aumento de la altura de la isoterma parece haberse morigerado en los últimos años.

## **4. Los cambios climáticos proyectados para Argentina durante las próximas décadas**

### **La metodología de los escenarios climáticos, construcción y limitaciones**

Los escenarios climáticos son representaciones acerca del clima futuro posible, consistentes con suposiciones sobre las emisiones futuras de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles, y con el conocimiento científico actualizado sobre el clima. Describen cómo las futuras actividades humanas alterarían la composición de la atmósfera y, en consecuencia, el clima global. Con esta información se trata de estimar cómo serán afectados los sistemas naturales y las actividades humanas.

Los escenarios climáticos no son predicciones como los pronósticos del tiempo. Un escenario climático depende de la suposición que se hace sobre las futuras emisiones de GEI. Estas a su vez dependen de factores de difícil pronóstico como la intensidad y el tipo de crecimiento económico, la demanda de energía y el tipo de energía primaria para satisfacer dicha demanda, así como los desarrollos tecnológicos en el uso y generación de energía, los cambios en el uso del suelo y muchos otros aspectos. En general, la

incertidumbre que rodea estas suposiciones es bastante grande y se pueden asumir un gran número de escenarios posibles de emisiones de GEI. La utilidad del uso de escenarios de emisiones y vinculados a ellos de escenarios climáticos es que aunque no se sabe cual de ellos puede llegar a realizarse, dan un abanico de futuros posibles de forma que se puede entonces estimar las cotas mínimas y máximas de los valores climáticos para un determinado horizonte temporal. Con estas estimaciones que fluctúan dentro de un determinado rango se puede hacer la evaluación de los probables impactos climáticos en determinadas regiones y actividades humanas.

Para el Tercer Informe del año 2001, el IPCC elaboró una serie de escenarios que incluyen proyecciones hasta el año 2100 a partir de una amplia variedad de suposiciones socioeconómicas, cuya validez fue severamente cuestionada. Por ello, se ha terminado por considerarlos simplemente escenarios de emisiones. Las dos principales dimensiones en la construcción de estos escenarios socioeconómicos son una que varía entre el desarrollo mundial con prioridades en valores económicos (tipo A) o ambientales (tipo B) y otra que va desde un aumento en la homogenización global (tipo 1) al mantenimiento de condiciones heterogéneas entre regiones (tipo 2). A partir de estas combinaciones con aspectos demográficos y tecnológicos hay toda una variedad de escenarios socioeconómicos que dieron lugar a escenarios de emisiones de GEI.

El efecto de las concentraciones de GEI en el clima se estudia mediante modelos climáticos globales (MCGs) que permiten simular el sistema climático en casi toda su complejidad. Estos modelos representan los procesos físicos del mar, la atmósfera, el suelo y la criósfera, y simulan su evolución mediante el uso de grandes computadoras. Para la realización de los experimentos climáticos globales se requiere de enormes capacidades de cómputo en supercomputadoras. Los MCGs más sofisticados han sido capaces de reproducir, a partir de la evolución de las concentraciones de los GEI, los cambios climáticos globales observados durante el periodo industrial. Esto genera cierta confianza en su habilidad para simular los cambios globales del clima futuro.

Los distintos MCGs proyectan valores de la temperatura global con algunas diferencias, aún bajo los mismos escenarios de emisiones de GEI, aunque todos dan la misma respuesta cualitativa, esto es calentamientos apreciables a lo largo del siglo XXI.

Aunque los MCGs son una metodología confiable para estimar cambios climáticos a escala global, aún tienen una capacidad limitada para simular el clima en la escala regional. En efecto, aunque los distintos modelos son consistentes entre sí en sus predicciones en la escala global, presentan diferencias en la escala regional, particularmente en las simulaciones de la precipitación y en su predicción futura, lo que es una limitante de importancia a la hora de evaluar los impactos del cambio climático, ya que es de esperar que la mayor parte de los impactos ecológicos, económicos y sociales sean de escala regional o local.

Una de las razones por la que los MCGs no reproducen adecuadamente los aspectos regionales del clima es su baja resolución espacial. Como deben cubrir todo el planeta y el paso de tiempo en su fase atmosférica es del orden del minuto, ello hace que sus simulaciones del clima por 100 o 200 años requieran enorme tiempo de computación. Para no aumentar indebidamente estos tiempos, los modelos tienen una baja resolución espacial, de 200 a 300 Km. La mejora de las simulaciones del clima en una determinada región se puede hacer mediante el anidado de un Modelo Regional de Alta Resolución (MRAR) en las salidas de los MCGs. Los MRARs se circunscriben a la zona de interés y pueden alcanzar resoluciones espaciales de hasta 15 Km. Este proceso se denomina downscaling dinámico.

Finalmente es necesaria la definición de una línea de base para determinar el clima observado con respecto a la cual la información de cambio climático es referida para crear los diferentes escenarios climáticos. La elección de esta línea o período de referencia está con frecuencia determinada por la disponibilidad de información climática. La mayoría de los estudios de impacto tiene como objetivo determinar los efectos del cambio con respecto al "presente" y por lo tanto utilizan períodos de base recientes como por ejemplo 1961-1990.

### **Horizontes temporales**

Aunque parezca curioso, una vez supuesta ciertas emisiones de GEI, los MCGs pueden generar escenarios climáticos con menos incertidumbre en horizonte de tiempo de un siglo que en el caso de una o dos décadas. Ello es así porque por una parte, en un siglo

el efecto del aumento de las concentraciones de GEI será mucho mayor que en 10 o 20 años y de esta forma la señal que producen en el clima es más clara y sobresale por encima de la variabilidad interanual típica del clima. Por otra parte, el clima presenta a escala global y más aún a escala regional, variaciones en la escala de décadas que hasta hoy no se las sabe predecir y que por su magnitud pueden oscurecer las tendencias debidas al forzamiento del aumento de la concentración de GEI en esa escala de tiempo.

Sin embargo, el valor de un escenario climático a 10 o 20 años es de mayor interés para la toma de decisiones que uno tan alejado como 50 o 100 años, que no solo tiene poco interés para los tomadores de decisión y la sociedad en su conjunto, sino que debido a la rapidez con que están ocurriendo los cambios socioeconómicos y tecnológicos resulta de escaso valor para la adopción de adecuadas medidas de adaptación anticipatoria.

En consecuencia, se impone un compromiso y por ello los escenarios que se discuten en este capítulo son para un periodo de entre 20 y 40 años.

### **Composición de escenarios globales para Argentina**

*Precipitación media anual.* Los distintos MCGs muestran resultados dispares, pero en general, los cambios respecto de la década de 1990 son relativamente pequeños, sea en un sentido u en otro. Muestran mayoritariamente una tendencia al aumento de la precipitación en la mayor parte del Centro de Argentina, Uruguay y sur de Brasil. Otra característica mucho más común a todos los modelos es la tendencia a la disminución de la precipitación en la región central de Chile, Cuyo, Neuquén y el oeste de Río Negro y Chubut (Figura 3. 7).

Pese a la disparidad entre los modelos, cabe señalar que la mayoría de sus escenarios muestran que en el futuro continuarían las tendencias climáticas observadas en las últimas décadas en la región con incrementos al este de la Cordillera de los Andes y disminuciones sobre la misma y en Chile. Esto es también una indicación de que las tendencias actuales estarían relacionadas con el cambio climático global.

*Temperatura media anual.* Si bien los modelos muestran resultados dispares en cuanto a la magnitud de la variación de la temperatura y su distribución espacial, hay bastante

concordancia en la mayoría de ellos, Figura 3.8. Todos muestran un aumento de la temperatura en toda la región analizada. El mayor calentamiento aparece en la región norte (hasta casi 1° C) y el menor calentamiento se registra en la Patagonia (0,4° C) y sobre el norte de Buenos Aires y Entre Ríos (aun menos de 0.4° C).

Las zonas sombreadas son aquellas en que los distintos modelos concuerdan en más de un 95 % en el signo del cambio. Es decir que los modelos concuerdan entre si en que habrá un calentamiento, prácticamente en toda la región, excepto en Tierra del Fuego.

Los cambios estacionales serían muy similares en todas las estaciones para toda la región. Sin embargo, al este de los Andes, en el caso del verano y las estaciones intermedias además del gradiente norte-sur en el calentamiento, hay una componente oeste-este asociada al mayor calentamiento del continente con respecto a los océanos, característica global del cambio climático que se espera.

### **Escenarios de alta resolución desarrollados por el CIMA**

Para obtener estimaciones más localizadas del clima futuro se deben realizar experimentos con modelos numéricos de alta resolución sobre la región de interés usando las condiciones fronteras de MCGs. Este método permite tener en cuenta con más detalle los forzantes locales importantes del clima como el tipo de vegetación suelo y la elevación. Por otra tienen una mayor demanda computacional y aún así no soluciona todos los problemas de los escenarios provenientes de los MCGs. En parte, porque los MRARs conservan parametrizaciones físicas no perfectas y en parte porque trasladan algunos errores desde las condiciones de frontera provistas por los MCGs.

El Hadley Centre proveyó al CIMA los resultados de un modelo atmosférico de más resolución espacial forzado por las salidas del MCGs. La información de los modelos del Hadley Centre fue usada para las condiciones iniciales y de borde de los experimentos con el modelo regional de alta resolución MM5/CIMA con una resolución aproximada de 40 Km. Dadas las limitaciones computacionales, para el clima actual se usó el periodo 1981-1990 y el 2081-2090 para representar el cambio climático. Sobre la base de estas de las proyecciones al 2081/2090, mediante la técnica de “pattern scaling”, se obtuvieron los

escenarios climáticos para la década 2020/2030 para Patagonia y zona cordillerana (Nuñez y Solman 2006).

Los cambios proyectados, Fig. 3.9, son de condiciones levemente más áridas en la Patagonia, que pueden considerarse como de baja certidumbre, ya que se trata de un solo modelo y valores muy bajos. Al contrario, la reducción de la precipitación en la zona próxima a la Cordillera, sobre la misma y en Chile central y patagónico es muy importante, coincidiendo con las tendencias actuales y cualitativamente con las proyecciones de casi todos los MCGs en esa zona.

La proyección de la temperatura es más importante hacia el sur de la Patagonia. En esa zona, en los Andes se encuentra el campo de hielo más importante de América del Sur, y con esta proyección continuarían las tendencias actuales de retroceso generalizado de los glaciares.

### **Consecuencias ambientales y socioeconómicas de los escenarios climáticos en sus cambios menos inciertos**

Si los escenarios climáticos para este siglo resultaran ciertos serían muy preocupantes para la Argentina, donde el clima es uno de sus más importantes activos físicos. Según estos escenarios, el aumento de temperatura abarcará todo el territorio, pero será más intenso en el norte del país donde podría superar los 3° C hacia fines del siglo. Los aumentos serían menores hacia el sur, pero aún en la Patagonia, superarían ampliamente un grado, los que sumados al calentamiento ya producido durante el siglo XX continuarían impulsando el retroceso generalizado de los glaciares.

Las respuestas hidrológicas con respecto a la variabilidad climática, las tendencias de la precipitación y de los caudales durante las últimas décadas y los escenarios del clima para el resto del siglo crean dudas sobre la actual disponibilidad de los recursos hídricos de la Cuenca del Plata en las próximas décadas. Hay por lo menos tres razones para ello; la primera es que el porcentaje de cambio en los caudales se amplifica con respecto a los respectivos cambios en la precipitación o en la evaporación (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, no compensados entre sí, generan grandes cambios en los caudales, lo que hace que las actividades dependientes del agua tengan una alta vulnerabilidad potencial al Cambio Climático. La segunda razón es que en los últimos 30-40 años, los aumentos en la precipitación y en los caudales fueron muy importantes. Aunque aún no se sabe con certeza 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. Una tercera y mayor fuente de preocupación es que los más recientes escenarios climáticos 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 cerca de 2° 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 podría llevar a una mayor tasa de evaporación, produciendo reducciones considerables en los caudales de hasta el 30 % (Re et al 2005). 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.

En el Este y el Centro de la Argentina, hay evidencias de cambios en las frecuencias de las precipitaciones extremas durante las últimas décadas. En esa región, el número de casos con precipitaciones mayores a 150 y 200 mm durante el período 1983-2002 es aproximadamente tres veces mayor que en el período 1959-1978 (Re et al. 2005) Este es un fenómeno observado en muchos lugares de la Tierra, y además esperable en un contexto de calentamiento global. Esta mayor frecuencia de precipitaciones extremas, que muy probablemente continuarán, es la causa de inundaciones locales que causan pérdidas de vidas y estragos económicos y sociales.

Para Cuyo y Comahue, los diferentes escenarios climáticos muestran bastante concordancia entre si, indicando un descenso de las precipitaciones sobre la cordillera de

los Andes y la zona vecina de Chile para el resto del siglo. Estas tendencias decrecientes se vienen ya registrando desde comienzos del siglo XX. Además, los escenarios indican un calentamiento que hacia 2020/2040 mayor a 1° C en Cuyo y algo menos en Comahue, con el consiguiente aumento de la demanda debida a la mayor evapotranspiración de los cultivos. De acuerdo con estos escenarios climáticos y sin una política de adaptación, el actual sistema de producción agrícola de Cuyo, basado en el riego con el agua superficial o subterránea que proviene de la Cordillera, se tornará vulnerable y hasta probablemente cada vez más próximo a ser inviable en pocas décadas. En el caso de los valles del Comahue, los caudales de los ríos seguirían decreciendo y reduciendo la generación de energía eléctrica.

En el Norte y Centro del país, debido a las mayores temperaturas, aumentará considerablemente la evaporación y como no se prevén grandes cambios en la precipitación es probable que se vaya hacia mayor aridez, revirtiéndose la tendencia opuesta de las últimas décadas. Este aspecto es de particular relevancia ante el actual avance de la frontera agropecuaria en el norte del país con la consiguiente destrucción del monte y la pérdida de la cubierta vegetal del suelo que en un clima más árido conduciría a un proceso de desertificación.

A pesar de la probable reducción de los caudales, el uso consumptivo del agua en Comahue y el norte de la Patagonia para riego y uso urbano e industrial no se vería afectado en la primera mitad del siglo. En el caso de los valles del río Negro, este uso es menor a 80 m<sup>3</sup>/s y el caudal es del orden de 1000 m<sup>3</sup>/s. Por lo tanto, aún si se regara toda la superficie del valle con potencial agrícola (esto es triplicando el área actual), con una mayor evapotranspiración y con un caudal reducido en un 30 %, todavía se estaría lejos de una situación crítica. Estos mismos cambios pueden llegar al límite del uso del recurso en el caso de los ríos Colorado y Chubut, pero es poco probable que ello ocurra en la primera mitad de este siglo (Barros et al 2006).

No se esperan reducciones de los caudales en los ríos de Chubut y Santa Cruz que nacen en la cordillera de los Andes durante la primera mitad del presente siglo, porque si bien las precipitaciones sobre la cordillera seguirán reduciéndose, tal como parece haber estado ocurriendo durante la segunda mitad del siglo XX, ello se estaría compensando con la pérdida de masa de los glaciares, proceso que seguiría durante el resto del siglo XXI.

Excepto por la recesión de los glaciares, desde el punto de vista del desarrollo regional, este panorama es favorable. Al respecto cabe recordar que debido a la extrema aridez de la región, el agua, que sólo se puede obtener en cantidad y calidad adecuada a partir de los ríos, es el principal factor limitante del desarrollo (Barros et al., 2006).

Los cambios climáticos y sus impactos ocurridos en los últimos 50 años en la Argentina han sido importantes, especialmente en lo concerniente a la precipitación y los caudales de los ríos. Quedan aún aspectos de este cambio y adaptaciones por implementar a nivel nacional y local en muchos casos. De acuerdo a los escenarios climáticos más probables, los cambios climáticos y sus impactos para las próximas dos o tres décadas no serían tan graves que en general y con algunas excepciones, no se puedan manejar sin grandes costos, si se toman las acciones con suficiente antelación.

*\*La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

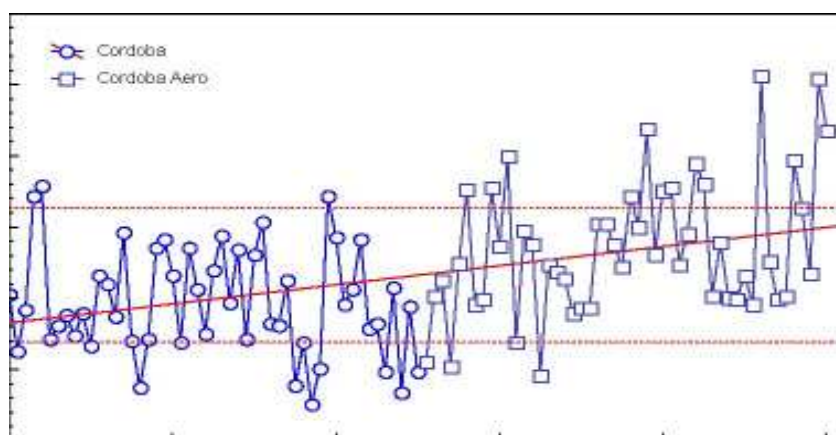
## Bibliografía

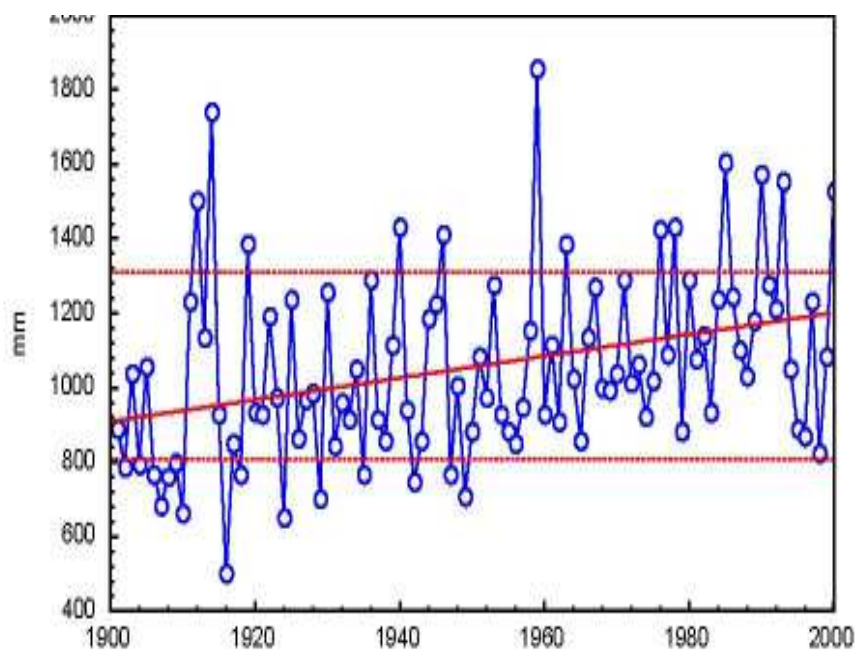
- Barros, V., 2006. Tendencias climáticas. En: *Proyecto de desarrollo de escenarios climáticos y estudios de vulnerabilidad*. Fundación T. Di Tella- Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable
- Barros, V., I. Camilloni, O. Frumento y M. Rivero, 1997. Estudio del potencial eólico en la República Argentina. En: *Programa de Abastecimiento Eléctrico a la Población Rural Dispersa*. Subsecretaría de Energía de la Nación.
- Barros, V, A. Grimm y M. Doyle, 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* 88: 21-32.
- Barros, V., L. Chamorro, G. Coronel y J. Báez, 2004. The major discharge events in the Paraguay River; Magnitudes, source regions and climate forcings. *J Hydrometeorology* 5: 1061-1070
- Barros, V. P. Svarka, C. Vera, R. Seoane, D. Brea, A. Fernández, I. Camilloni, F. Coronado, H. Del Valle y H. Mazza 2006. Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa. Actividad habilitante para la 2<sup>a</sup> Comunicación Nacional a la Convención del Clima. Fundación e Instituto Di Tella,
- Barros, V., M. Doyle y I. Camilloni, 2008: Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and the low-level circulation. *Theoretical and Appl. Climatology*. En prensa
- Bejarán, R y V. Barros, 1998. Sobre el aumento de la temperatura en los meses de otoño en Argentina Subtropical. *Meteorológica* 23: 15-25.
- Berbery E. y V. Barros, 2002. The Hydrological cycle of the La Plata basin in South America. 2002, *Journal of Hydrometeorology* 3: 630-645.
- Boninsegna, J. y R. Villalba, 2006: La oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan en escenarios de Cambio Climático. En: *Proyecto de desarrollo de escenarios climáticos y estudios de vulnerabilidad*. Fundación T. Di Tella- Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable
- Camiloni, I., 2006. Tendencias climáticas. En: *Cambio Climático en el Rio de la Plata*. (Eds, V. Barros, A. Menendez y G. Nagy) Buenos Aires, CIMA,
- Camilloni, I., 2006. Informe sobre el desarrollo de escenarios de Cambio Climático. En :

- Proyecto de desarrollo de escenarios climáticos y estudios de vulnerabilidad.*  
Fundación T. Di Tella y Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- Castañeda, E. y V. Barros, 1994: Las tendencias de la precipitación en el Cono Sur de América al este de los Andes. *Meteorológica* 19: 23-32.
- Castañeda, E. y V. Barros, 2001. Tendencias de la precipitación en el oeste de Argentina. *Meteorológica* 26: 5-23.
- Devoto, G. 2005: Comunicación personal.
- Di Luca, A., I. Camilloni y V. Barros, 2006. Sea-level pressure patterns in South America and the adjacent oceans in the IPCC AR4 models. En: *Proceedings del 8<sup>th</sup> International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*. Foz de Iguazú. AMS
- Escobar, G., V. Barros y I. Camilloni, 2003: Desplazamiento del anticiclón subtropical del Atlántico Sur y su relación con el cambio de vientos sobre el estuario del Río de la Plata. En : *Proceedings del X Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología*. La Habana
- Fernández, A., 2006. Variabilidad de la temperatura en la Patagonia. En: *Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las Provincias de La Pampa y Buenos Aires, actividad habilitante para la Segunda Comunicación Nacional a la Convención del Clima*. Fundación e Instituto Di Tella.
- García, N. y W. Vargas, 1998: The temporal climatic variability en the Río de la Plata basin displayed by the river discharges, *Climate Change* 38: 359-379.
- Genta, J., G. Pérez-Iribarren y C. R. Mechoso, 1998. A recent increasing trend in the streamflow of rivers in Southeastern South America. *J. Climate* 11: 2858-2862.
- Giorgi F., 2003. Variability and trends of sub-continental scale surface climate in the twentieth century. Part I: Observations. *Clim.Dyn.* 18: 675-691.
- Gillet, N., F. Zwiers, A. Weave y P. Scott, 2003. Detection of human influence on sea-level pressure. *Letters to Nature* 422: 292-294.
- Grimm, A., V. Barros y M. Doyle, 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña. *J. Climate* 13: 35-58.
- Groisman, P., R. Knight, D. Easterling, T. Karl, G. Hegerl, y V. Razuvaev, 2005. Trends in Intense Precipitation in the Climate Record. *J. Climate* 18: 1326–1350.

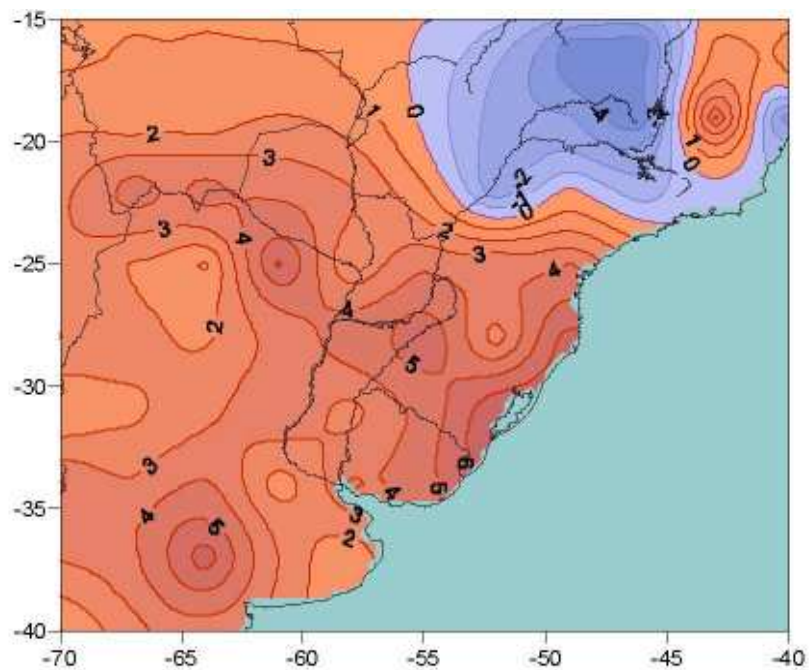
- Kiladis, G. y H. Díaz, 1989. Global climatic anomalies associated with extremes in Southern Oscillation. *J. Climate* 2: 1069-1090.
- Kullock, D., 2007. Sistema Urbano. En: *Programa Nacional de Adaptación y Planes Regionales de Adaptación. Actividad habilitante para la Segunda Comunicación Nacional*. Fundación e Instituto Di Tella.
- Leiva, J., 1999. Recent fluctuations of the Argentinian glaciers. *Global Planet.Change* 22: 169-177.
- Nesbitt, S. y E. Zisper 2000. Census of precipitation features in the tropics using TRMM: radar, ice scattering and lightening observations. *J. Climate* 13: 4087-4106.
- Nuñez, M, y S. Solman, 2006: Desarrollo de Escenarios Climáticos y Estudios de Vulnerabilidad. En : *Proyecto de desarrollo de escenarios climáticos y estudios de vulnerabilidad*. Fundación T. Di Tella y Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- Re, M., R, Saurral y V. Barros, 2005. Extreme Precipitation in Argentina: Trends and Climate Change. IV En: *Taller Internacional sobre Presas*. Salto Grande.
- Ropelewski, C. y M. Harper 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño-Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.* 115: 1600-1626.
- Simionato, C., C. Vera y F. Segiesmund 2004. Surface wind variability on seasonal and interannual scales over Río de la Plata. *Continental Shelf Research* 4: 770-783
- Velasco, I. y J. Fritsch 1987. Mesoscale convective complexes in the Americas. *J. Geophys. Res.* 92 (d8): 9591-9613.
- Wang, M. y J. Paegle 1996. Impact of analysis uncertainty upon regional atmospheric moisture flux. *J. Geophys. Res.* 101: 7291-7303.

1500  
Cordoba  
1300  
1100  
900  
700  
500  
300 1900 1920 1940 1960 1980 2000 2000 1800 1600  
1400 1200 1000 800 600 400 1900 1920 1940 1960  
1980 2000





**Figura 3.1: Precipitación media anual y tendencia lineal. Córdoba (arriba) y Buenos Aires (Abajo)**



**Figura 3.2: Tendencia de la precipitación anual en mm/año. Periodo 1960-2000**

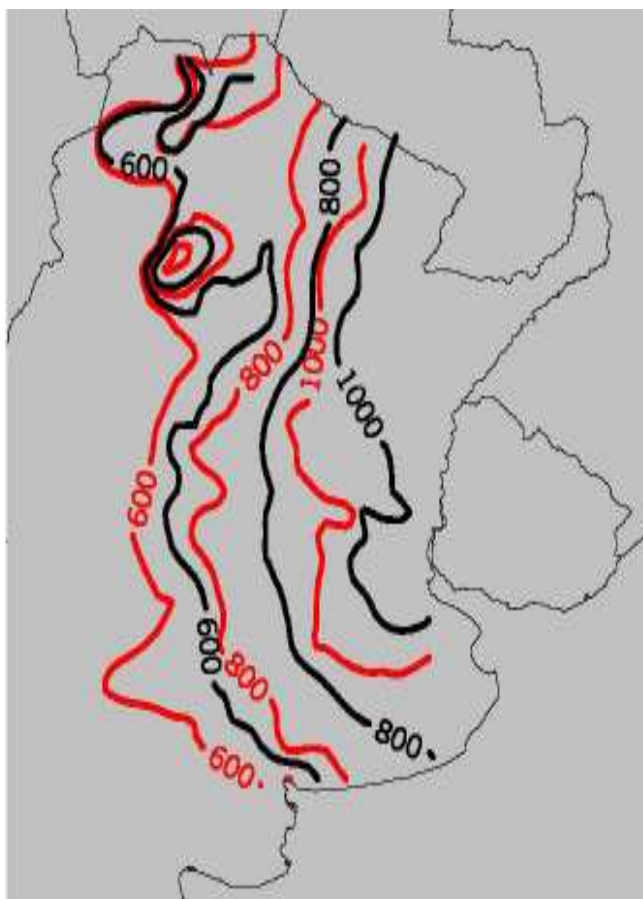
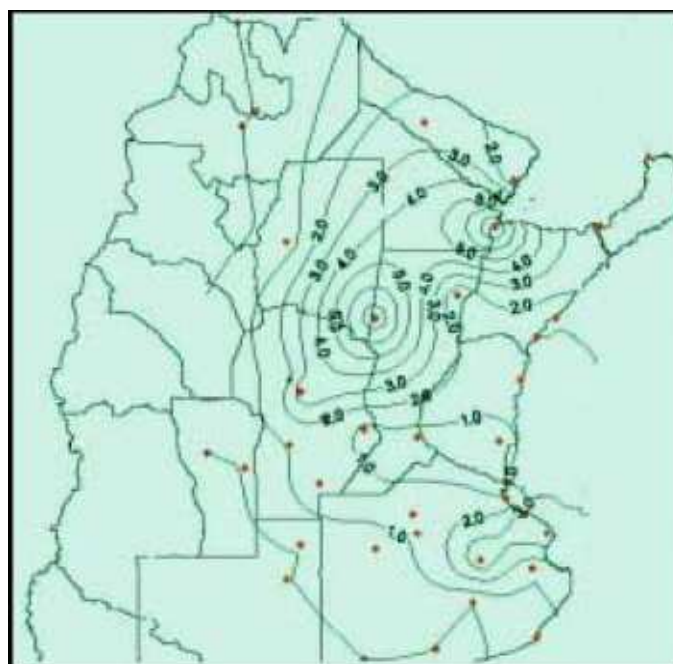
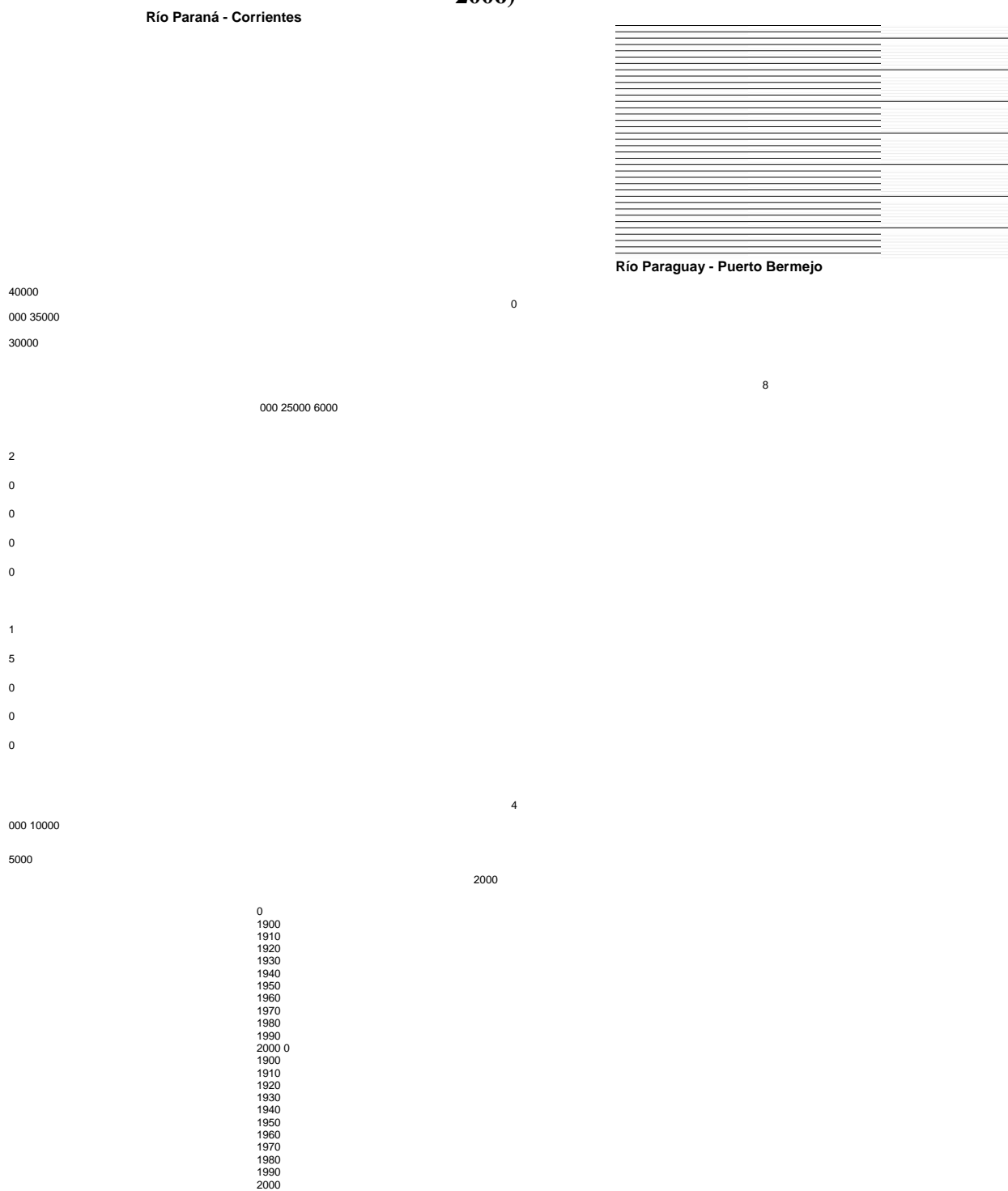
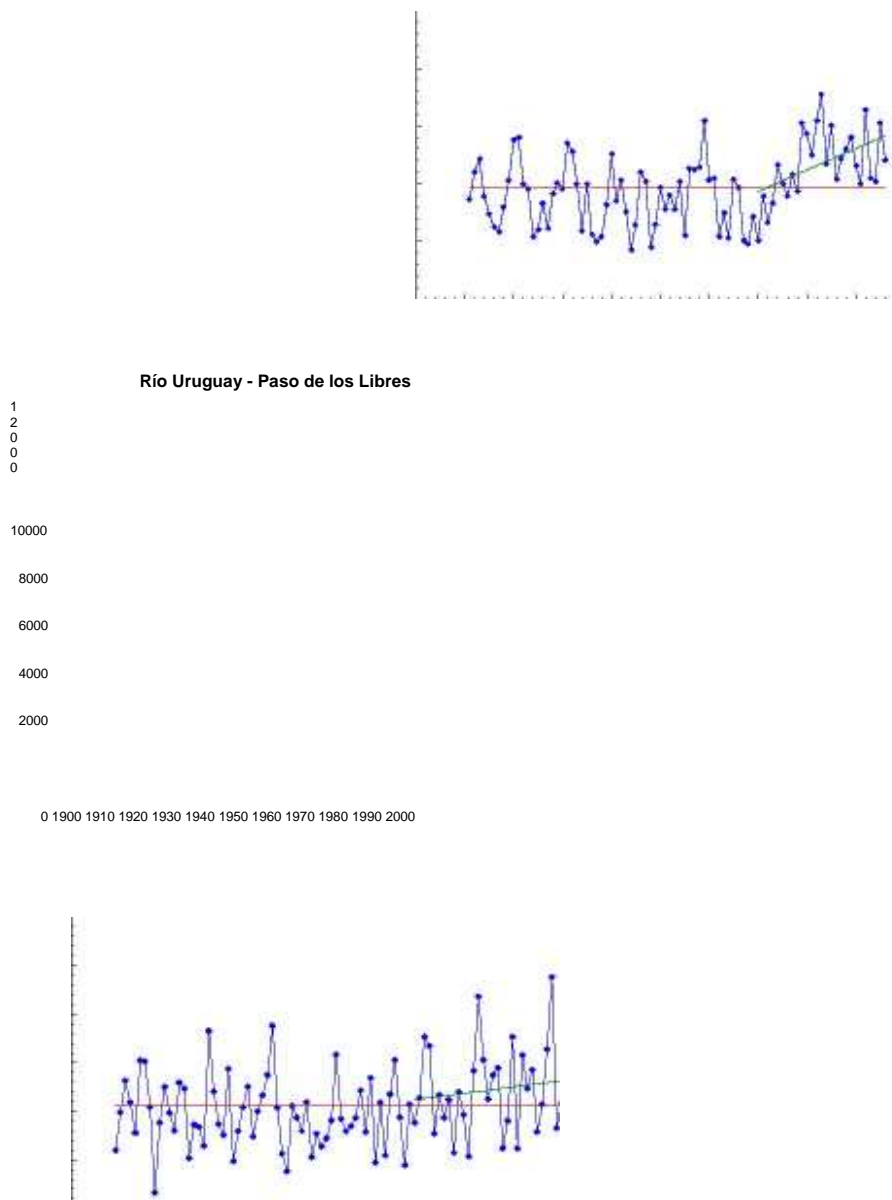


Figura 3.3: Corrimiento de las isoyetas hacia el oeste. 1950-1969 en negro. 1980-1999 en rojo

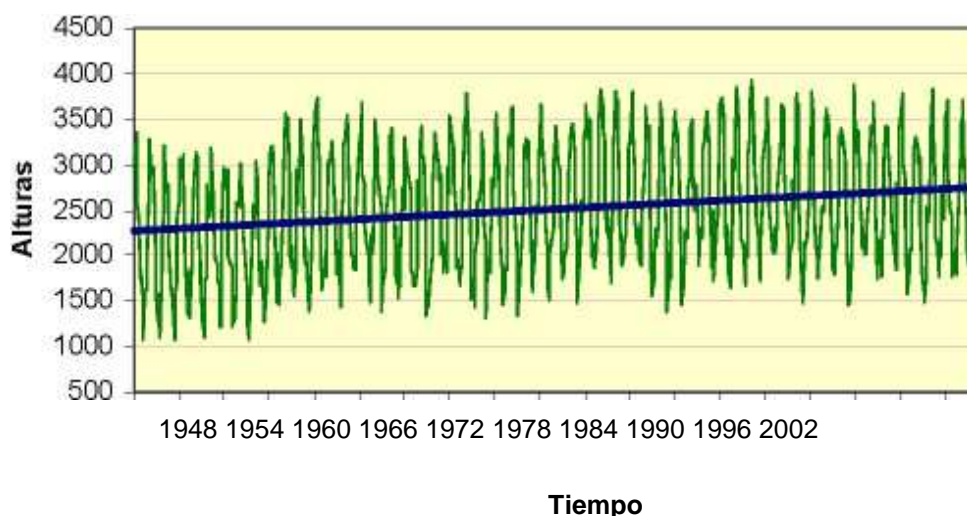


**Fig. 3.4: Cociente entre la frecuencia anual de número casos de precipitaciones mayores de 150 mm en dos días entre dos períodos 1983/2002 y 1959/1978. (Barros 2006)**

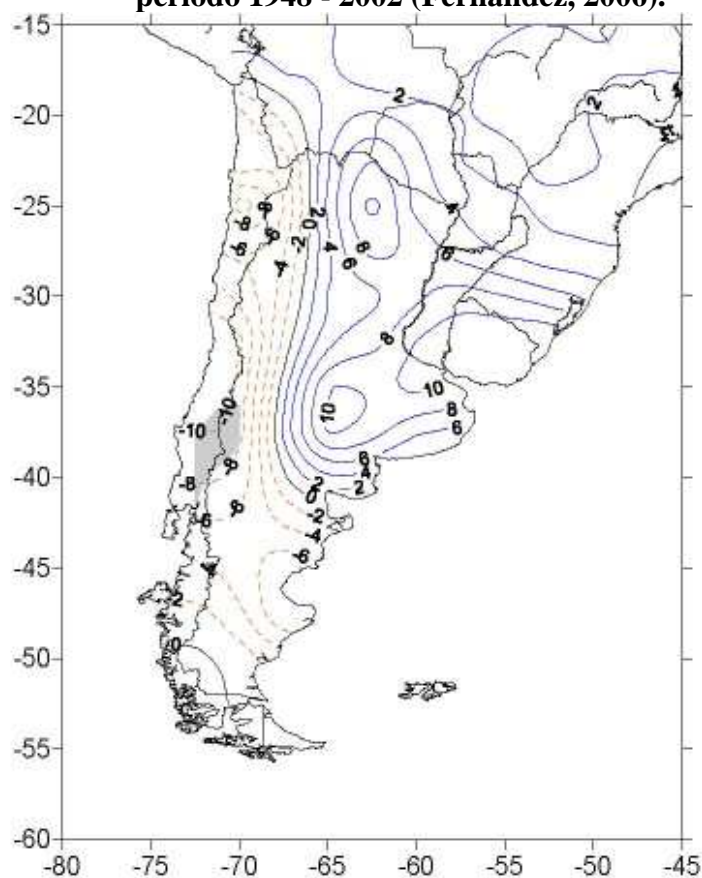




**Figura 3.5: Caudales medios anuales ( $m^3/s$ ) en estaciones de los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay. Promedios para el período informado (línea roja) y tendencia lineal a partir de 1970 (línea verde)**  
**Lat 40.0; Long 70.0**  $y = 0,7012x + 2276,6$   $R^2 = 0,0408$

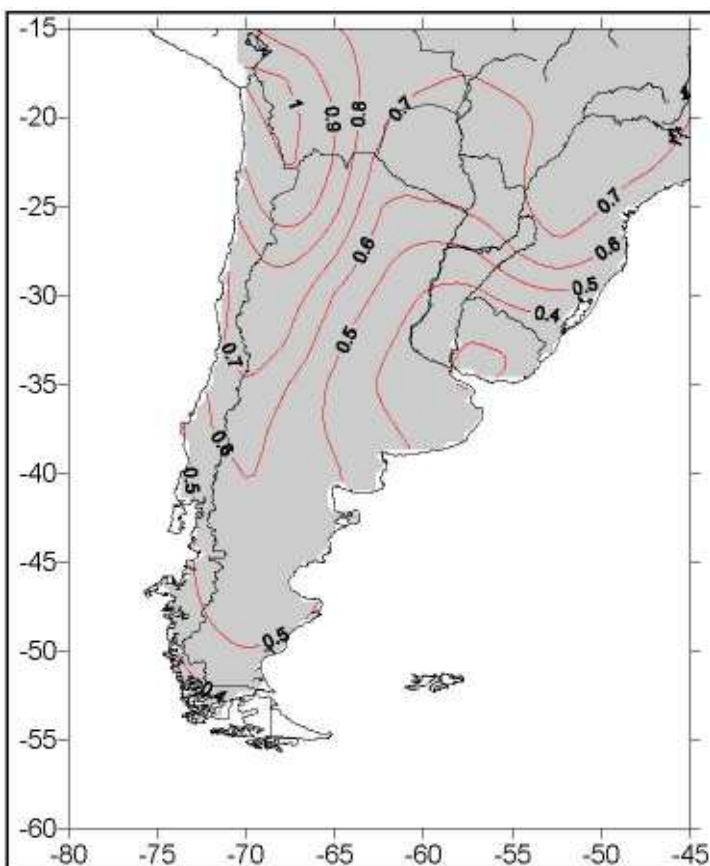


**Figura 3.6: Tendencia de la altura de la isoterma cero en 40° Sur; 70° Oeste, para el período 1948 - 2002 (Fernández, 2006).**



**Figura 3.7: Cambio de la precipitación media anual (%) para el período 2020-40 respecto de 1991-2000 para el escenario A1b derivado de un ensamble de 14 MCGs (Versión 2006) Las áreas sombreadas son significativas al 5%. Gentileza de I. Camilloni 2007**

-80 -75 -70 -65 -60 -55 -50 -45



**Figura 3.8: Cambio de la temperatura media anual (° C) para el período 2020-40 respecto de 1991-2000 para el escenario A1b derivado de un ensamble de 14 MCGs (Versión 2006) Las áreas sombreadas son significativas al 5%. Gentileza de I. Camilloni 2007**

