

**Documento País:
Riesgos de desastres en Argentina**

CAPITULO 5

**Cambio climático: variabilidad pasada y una prospectiva
de las amenazas de acuerdo a los escenarios futuros**



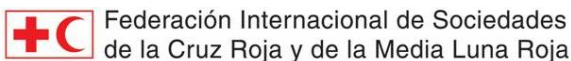
**CRUZ ROJA
ARGENTINA**



Investigadora principal: Alejandra Celis

Asistentes de investigación: Fernando Ostuni, Graciela Kisilevsky, Enrique Schwartz, Soledad Fernández Bouzo, Leticia Lopresti.

Buenos Aires, Argentina, octubre de 2009



Federación Internacional de Sociedades
de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja



ÍNDICE CAPÍTULO 5

5. Cambio climático: variabilidad pasada y una prospectiva de las amenazas de acuerdo a los escenarios futuros	146
Consideraciones metodológicas.....	146
Metodología para el desarrollo de escenarios climáticos	147
1. Noreste Argentino (NEA)	150
A. Cambio y variabilidad climática en el pasado reciente	150
B. Cambios esperados	153
2. Noroeste Argentino (NOA)	157
A. Cambio y variabilidad climática en el pasado reciente.	157
B. Cambios esperados	159
3. Centro y AMBA.....	161
A. Cambio y variabilidad climática en el pasado reciente.	161
B. Cambios esperados	164
4. Cuyo	167
A. Cambio y variabilidad climática en el pasado reciente	167
B. Cambios esperados	170
5. Patagonia	173
A. Cambio y variabilidad climática en el pasado reciente	173
B. Cambios esperados	176
Síntesis y reflexiones finales, con una mirada al futuro y la gestión.....	179
Bibliografía	186
ANEXO Capítulo 5.....	189

5. Cambio climático: variabilidad pasada y una prospectiva de las amenazas de acuerdo a los escenarios futuros

Consideraciones metodológicas

En el DP se aborda el cambio climático con el fin de brindar una prospectiva de las amenazas asociadas a estos cambios en cada región, de acuerdo a los escenarios proyectados para el siglo XXI. No se intenta tratar aquí las emisiones de gases de efecto invernadero, daños, impactos sobre la producción agrícola u otros aspectos asociados al cambio climático, más allá del señalado y su incidencia sobre los principales riesgos presentados en el DP.

Con el objetivo mencionado, se revisó y analizó la “Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”, documento compilado por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, que presenta una síntesis de los trabajos realizados por diversos equipos de científicos nacionales. Dicha publicación presenta un panorama general sobre los cambios esperados, que no permite identificar con claridad los alcances territoriales de los mismos, ni discriminarlos por las regiones planteadas en el DP.

Esta limitación condujo a la necesidad de revisar con detalle los estudios originales sobre vulnerabilidad e impactos del cambio climático, una tarea que resultó ardua y dificultosa debido a varios aspectos, uno de ellos es que los trabajos son excesivamente voluminosos (los seleccionados y revisados superaron las 1900 páginas). Además, en conjunto, no abarcan la totalidad del país con el mismo nivel de detalle; hay áreas con escasas o nulas referencias como las provincias de Jujuy, Tucumán, Catamarca y, en general, el noroeste del país y otras, como la región pampeana o el litoral, con mayor nivel de datos y estudio; la Segunda Comunicación Nacional no incluye estudios específicos sobre el NOA y Cuyo. Por otra parte, los estudios no presentan los mismos horizontes temporales, aunque la mayoría, realiza proyecciones para el período 2081-2090. En muy pocos casos, se usaron plazos temporales menores (2020, 2040 o 2050), lo que de todos modos supone un serio reto para la gestión, desacostumbrada a planificar a estas escalas temporales.

Estos aspectos, sumados a la diversidad de metodologías, esquemas de trabajo, tratamientos y análisis temporal y espacial de las variables, determinan que los estudios no sean plenamente comparables entre sí. Parte de estas heterogeneidades pueden verse en el análisis que realizó la propia Dirección de Cambio Climático de la SAyDS, quien encontró los mismos obstáculos al compilar los trabajos (ver anexo al final del capítulo). Atendiendo a esta limitación, la DCC ha realizado acciones tendientes a homogeneizar metodologías para la siguiente Comunicación Nacional.

Asimismo, se han detectado contradicciones, imprecisiones o ambigüedades en algunos estudios. Un ejemplo de esto, son las dificultades de los modelos para establecer una tendencia clara con las precipitaciones en áreas tan vastas como el centro, norte y oeste del país, para las cuales distintos modelos, sugieren tendencias contrapuestas (SAyDS, 2007:101). Esta misma ambigüedad se traslada luego a la proyección de los caudales y a otros efectos vinculados a las lluvias.

La revisión de los documentos en extenso, ayudó a regionalizar muchos procesos, especialmente aquellos vinculados a la variabilidad climática pasada. Sin embargo, en muchos casos han persistido dificultades para asignar a una región, cambios o impactos proyectados para áreas que no están explícitamente delimitadas o bien para integrar cambios presentados en distintos estudios/regiones de la Comunicación Nacional en una región en el DP o para identificar con claridad el sentido de esos cambios y sus efectos sobre otras variables. Un ejemplo de estas dificultades se puede encontrar en los cambios –pasados y proyectados- para la región Centro (DP) que es necesario indagar en distintos estudios (Pampa bonaerense, zona costera y el litoral), con resultados dispares en cada uno de ellos.

Metodología para el desarrollo de escenarios climáticos

En términos sencillos, las representaciones del clima futuro sobre las cuales se generan proyecciones se basan en la elección de escenarios de emisiones y el modelado de datos a partir de los supuestos que estos escenarios proporcionan. Éste ejercicio se desarrolla primero a gran escala, por medio de los modelos de circulación global (MCG) y posteriormente, basados en esos resultados o salidas, se procede a trabajar a nivel regional, con una mayor resolución espacial, a través de modelos climáticos regionales o de área limitada.

Los escenarios de emisiones

Un escenario es una descripción coherente y plausible de un posible estado futuro (Parry y Carter, 1998). No es un pronóstico o predicción sino una imagen de cómo podría ser el futuro, basada en una serie de hipótesis lógicas e internamente coherentes sobre las relaciones claves y las fuerzas motoras (Nakicenovic y Swart, 2000). En ellos se vinculan factores como el crecimiento demográfico, el desarrollo socio-económico y el cambio tecnológico que determinan las emisiones futuras de gases de efecto invernadero (GEI) y de dióxido de azufre. A partir del conocimiento de los ciclos biogeoquímicos, se calcula la concentración que tendrían esos gases en la atmósfera y se modela su efecto sobre el clima.

Cuadro 5.1: Emisiones consideradas en los escenarios

- * dióxido de carbono (CO₂),
- * metano (CH₄),
- * óxido nitroso (N₂O),
- * hidrofluorocarbonos (HFC),
- * perfluorocarbonos (PFC),
- * hexafluoruro de azufre (SF₆),
- * hidroclorofluorocarbonos (HCFC),
- * clorofluorocarbonos (CFC), el precursor de aerosoles
- * gases químicamente activos, dióxido de azufre (SO₂),
- * monóxido de carbono (CO),
- * óxidos de nitrógeno (NO_x), y
- * compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM)

Fuente: IPCC

Los distintos escenarios fueron elaborados por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) con proyecciones hasta el año 2100. Cada escenario representa una interpretación cuantitativa del nivel de emisiones que pueden generar las diferentes relaciones posibles entre los factores determinantes mencionados. Así, se llega a establecer una agrupación de cuatro líneas evolutivas diferentes: A1, A2, B1 y B2.

Un escenario contiene necesariamente elementos subjetivos y se presta a diferentes interpretaciones. El IPCC, en su informe especial sobre el tema, no le asigna probabilidades de ocurrencia ni preferencia a ninguna línea evolutiva o escenario en particular. Aunque son útiles para analizar el cambio climático, el mismo informe asume que la posibilidad de que las emisiones evolucionen tal como se describe en alguno de estos escenarios es muy remota (Nakicenovic y Swart, 2000).

Escenarios de emisiones: líneas evolutivas definidas por el IPCC

A1: describe un mundo futuro con rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su máximo a mediados del siglo y luego disminuye; una rápida introducción de nuevas tecnologías más eficientes. Supone una convergencia económica entre regiones, un aumento de las interacciones sociales y culturales con desarrollo de capacidades y una reducción sustancial en las diferencias entre regiones.

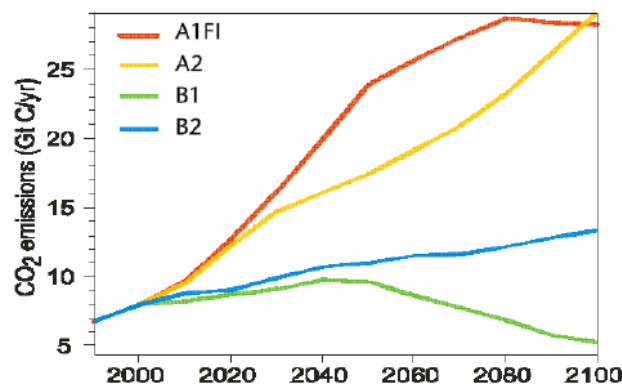
A2: supone un mundo en donde se preservan las identidades locales y el desarrollo económico está orientado regionalmente. Existe un crecimiento demográfico continuo a nivel mundial. El crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico son más fragmentados y lentos que en otros escenarios.

B1: supone un mundo futuro convergente con el mismo crecimiento poblacional global que en A1 (alcanza el máximo a mediados de siglo y luego desciende), pero con cambios más rápidos en las estructuras económicas tendientes a una economía, basada en los servicios y la información. La utilización de materiales es menos intensiva y se introducen tecnologías limpias con un aprovechamiento más eficaz de los recursos. Se promueven soluciones mundiales para garantizar la sustentabilidad económica, social y ambiental y hay mayor preocupación por la equidad social.

B2: supone un mundo con énfasis en soluciones locales, sustentables desde el punto de vista económico, social y ambiental, cuya población mundial crece continuamente, (más que en A1 pero menos que en A2). Existen niveles intermedios de desarrollo económico y un avance tecnológico menos veloz y más diversificado que en B1 y A1. El énfasis en las soluciones también se orienta a la protección del medio ambiente y la equidad social, pero a una escala local y regional, por lo tanto menos acelerada.

En las proyecciones realizadas para Argentina, se utilizaron los escenarios A2 y B2. En la figura 5.1 se puede observar que estos dos escenarios resultan en emisiones de CO₂ intermedias con respecto al escenario A1 (el más extremo o pesimista) y el B1 (el más optimista).

Figura 5.1: evolución de las emisiones de CO₂, de acuerdo al escenario



Fuente: Núñez et al, 2006

Los modelos climáticos

Los MCG están basados en leyes físicas que describen el transporte tridimensional de masa y energía sobre el planeta. Se consideran las herramientas más confiables disponibles actualmente para simular la respuesta del sistema climático global frente a cambios en la composición de la atmósfera.

Aunque han ido mejorando, persisten dificultades y los MCG aún no pueden representar la totalidad de los procesos ni todos representan adecuadamente el clima actual en todas sus variables. Por ejemplo, todos los modelos subestiman de forma grosera la precipitación para el sudeste de América del Sur. El HADCM3, el que mejor representa el clima de la región, subestima la precipitación en parte de la región pampeana en un 30% y en un porcentaje mayor en el noreste argentino (Camilloni, 2004); su resolución es de 300 Km. (Núñez et al, 2006)

La baja resolución de los MCG impide la adecuada simulación en las áreas cercanas a la cordillera y en la Patagonia, debido a que la orografía no está bien representada y afecta la precipitación (SAyDS, 2007:99). Para poder evaluar los impactos regionales, el equipo de investigadores de CIMA utilizó el modelo regional de alta resolución MM5 para el desarrollo de los escenarios climáticos, éste tiene una resolución de 40 Km.

Luego, el modelo de alta resolución MM5-CIMA fue anidado en el modelo HADCM3 a fin de obtener los escenarios de cambio regionales para el período 2081/2090 para los escenarios A2 y B2 (SAyDS; 2007:99, 100). A partir de estos resultados, los distintos equipos de investigación que participaron en la elaboración de la Segunda Comunicación Nacional, trabajaron realizando nuevas simulaciones y analizando los impactos esperados.

A continuación se presentan, para cada región del documento país, la variabilidad o cambio climático ocurrido en las últimas décadas y los cambios esperados durante el siglo XXI.

1. Noreste Argentino (NEA)

A. Cambio y variabilidad climática en el pasado reciente

El Nordeste de Argentina es una de las áreas del planeta donde el cambio en las precipitaciones medias anuales -y en consecuencia, en los caudales de los grandes ríos- ha sido más notable, durante el siglo XX (García y Vargas, 1998).

Entre 1956 y 1991, las **precipitaciones medias** anuales se incrementaron más del 10% en casi todo el noreste argentino y sur de Paraguay. En algunas zonas, el aumento superó el 30%: En el este de Corrientes, por ejemplo, las lluvias se incrementaron en más de 400 mm, respecto a los valores medios históricos. En consecuencia, los esteros y lagunas del Iberá expandieron notablemente su superficie y algunos campos bajos se transformaron en lagunas permanentes (UNL-FICH, 2007.Tomo II: 22). Estas tendencias significaron un corrimiento de las isoyetas hacia el oeste. Sin embargo, dentro de la región, también se registraron mermas en las lluvias.

En el este de la región, las tendencias positivas más marcadas se registran en primavera, verano y otoño, mientras que en el invierno, el cambio ha sido escaso. En cambio, hacia el oeste (Chaco y Formosa), estas tendencias se observan sólo en verano y otoño (Casteñeda y Barros, 2000). En Corrientes y Misiones las tendencias se iniciaron en la década del 80´.

En Chaco y Formosa se pueden diferenciar áreas:

- Al este (incluye Resistencia y ciudad de Formosa), las lluvias aumentaron aproximadamente un 10%, en las últimas décadas.
- Hacia el oeste, en la zona de Castelli, Las Breñas (Chaco), las precipitaciones anuales han disminuido aproximadamente un 10%, respecto a las de las décadas del 50` y 60`. (UNL-FICH, 2007.Tomo I: 160).

Por otro lado, Canziani (2003) encontró que se ha incrementado la frecuencia de **precipitaciones extremas** (más de 100 mm/día) y otros investigadores han encontrado que también aumentó su variabilidad interanual. Asimismo, desde los 60´, los eventos ENSO-EI Niño han sido más frecuentes e intensos (especialmente los de 1982/83; 1991/92 y 1997/98).

Además, desde mediados de la década del 60´, aumentaron los **caudales medios anuales** de la cuenca del Plata. Desde entonces, las crecidas han sido más intensas y las bajantes, más extremas, especialmente en el río Paraná (García y Vargas, 1998).

Los aumentos en los caudales medios han sido del orden del 30% en casi todos los ríos, salvo en el Salado que fue del 189%. Estos altos valores podrían vincularse con la intervención antrópica en la cuenca inferior, en las últimas 3 décadas que ha convertido superficies ganaderas y de monte en suelo agrícola y ha construido una gran cantidad de canales de drenaje. (UNL-FICH, 2007.Tomo I: 127).

Los caudales aumentaron proporcionalmente más que las precipitaciones. Esta respuesta hidrológica amplificada en relación a la lluvia es propia de regiones húmedas con poca pendiente, como lo es la mayor parte de la región.

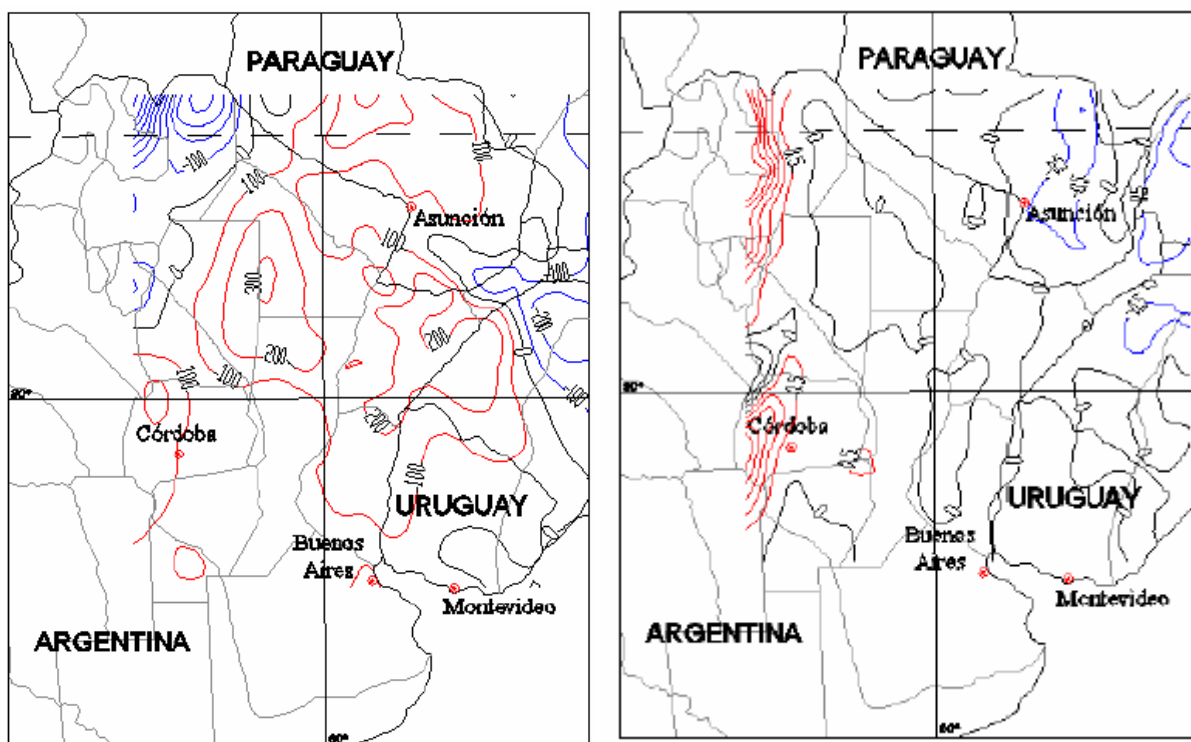
En relación a la **temperatura media anual**, no se observa un comportamiento tan homogéneo como en la precipitación, aunque la tendencia ha sido positiva, particularmente después de 1970-1971. También se observa un aumento regional de las **temperaturas mínimas y máximas medias**, desde 1930. Cabe destacar que los registros disponibles para el análisis son escasos (10 estaciones en total) (UNL-FICH, 2007. T1:77).

Bondad de los modelos CIMA y HADCM3

Como paso previo a la generación de escenarios y para evaluar la bondad de los modelos, el equipo de la FICH comparó las salidas de los modelos CIMA y HADCM3 con los datos, para el período 1981-90. Aquí se presentan resultados sólo para algunas de las variables medias anuales comparadas con el fin de ilustrar el ajuste de estos modelos a los datos reales y dar una idea de su capacidad predictiva (Figuras 5.2 y 5.3).

Las isóneas se construyeron a partir de las diferencias entre lo simulado por el modelo para el período 1981-90 y los promedios calculados a partir de datos instrumentales de ese mismo período. En los mapas, las diferencias positivas están dibujadas en rojo e indican las áreas en las que el modelo sobrestima el valor de la variable en cuestión (lluvia media anual o temperatura media anual). Las diferencias negativas, delineadas en azul, muestran dónde el modelo subestima y las líneas negras, las áreas donde el modelo se ajusta a la realidad.

Figura 5.2: Diferencias entre lo simulado por el modelo CIMA-UBA y la climatología para el período 1981-90.



Diferencias, en mm, entre la precipitación media anual obtenida por el modelo CIMA-UBA y la climatología para el período 1981-90

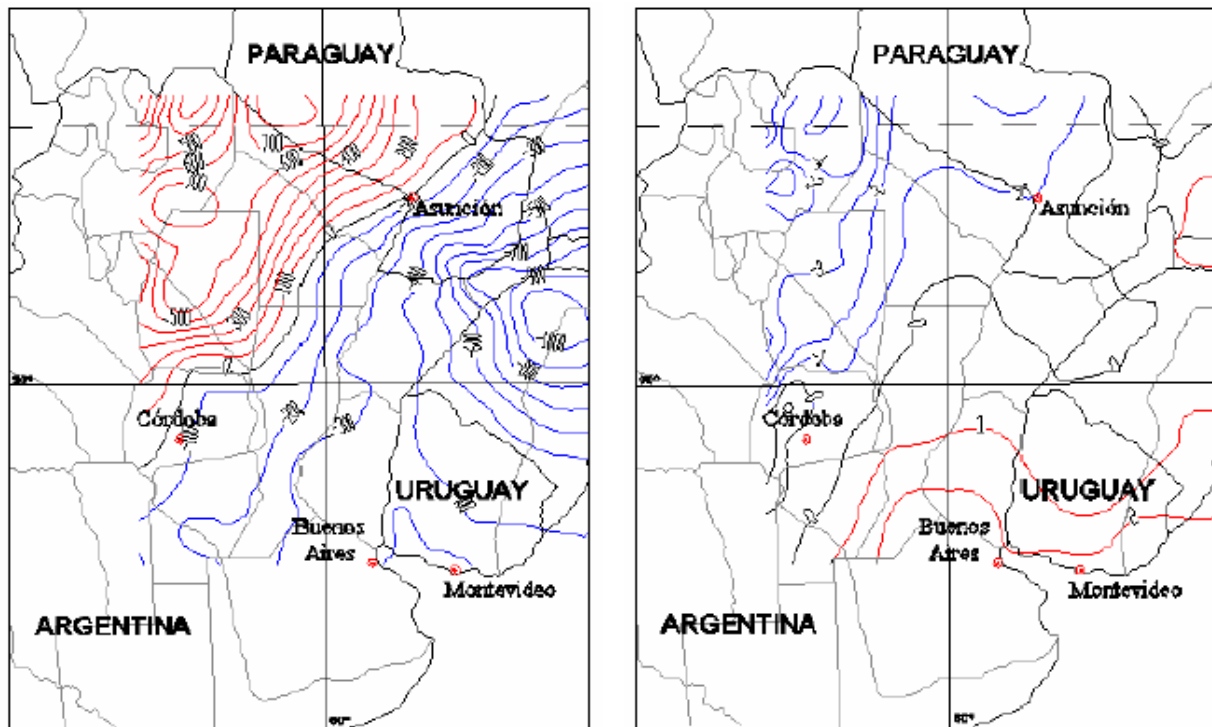
Diferencias en la temperatura media anual simulada por el modelo CIMA-UBA y la climatología para el período 1981-90.

Fuente UNL-FICH, 2007

Modelo CIMA:

- sobrestima precipitación en Corrientes, el este y centro de Chaco y Formosa (además del norte y centro Santa Fe y Entre Ríos). En Corrientes y Chaco las diferencias superan los 200 milímetros, con un máximo de 300 mm
- subestima precipitación en parte de Misiones (entre 100 y 200 mm) y el extremo oeste de Formosa (además lo hace para Salta, Jujuy)
- A pesar de estas divergencias, se considera que la climatología simulada para la variable lluvias es coincidente con la real (UNL, 2007. Tomo 2: 27)
- En cuanto a temperatura, los datos y lo calculado por el modelo muestran una muy alta similitud

Figura 5.3: Diferencias entre lo simulado por el modelo HADCM3 y la climatología para el período 1981-90.



Diferencias, en mm, entre la precipitación media anual obtenida por el modelo HADCM3 y la climatología.

Diferencias en la temperatura media anual simulada por el modelo HADCM3 y la climatología.

Fuente UNL-FICH. 2007

HAD3CM:

- Sobrestima la precipitación anual en el oeste de Chaco y Formosa, alcanzando errores del 100% en el extremo oeste
- Subestima la precipitación en el resto de la región

- El modelo no muestra buen ajuste en la distribución de isoyetas y los montos totales de precipitación pero la estructura general del campo de precipitación tiene una configuración similar a la de la climatología actual y se considera aceptable para estimar cualitativamente el comportamiento a futuro de variables climáticas. Debe usarse con reservas para las salidas intermedias (2020 y 2050), no disponibles en las salidas de CIMA.
- En cuanto a temperatura, los datos y lo calculado por el modelo muestran una similitud aceptable

Es interesante notar que, además de los desajustes mencionados, las diferencias entre la precipitación simulada por los dos modelos no sólo es en términos de montos totales sino también de su distribución espacial.

En síntesis, los modelos presentan errores o deficiencias que luego se traducen en proyecciones desajustadas, especialmente en algunas áreas. En particular, en su estudio sobre precipitaciones, la FICH, no considera los resultados del modelo HADCM3 debido a que representa diferencias significativas con la climatología real, cuya única coincidencia es la orientación general de las isoyetas pero no los valores y la distribución espacial de la precipitación (García, 2007:143). Tampoco se lo utiliza para calcular temperatura, eligiendo el modelo MM5/CIMA-UBA y, en consecuencia, la salida para 2081-90, ya que no están disponibles salidas intermedias para este último.

B. Cambios esperados

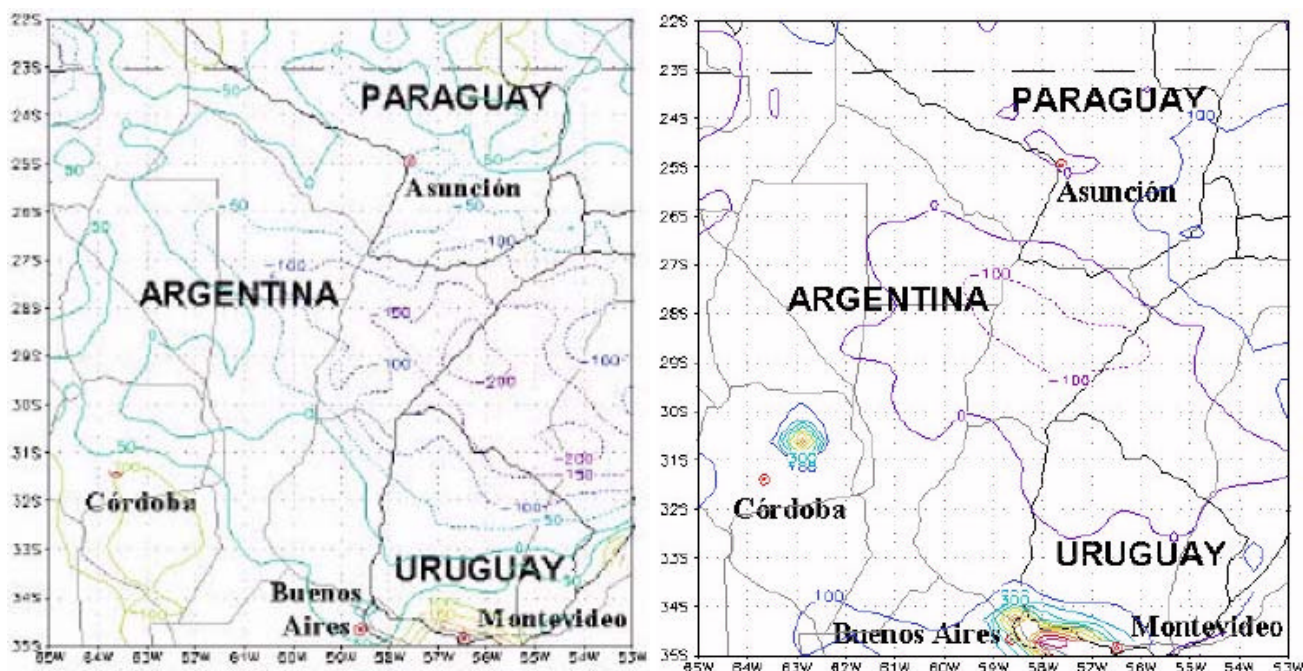
Para esta región, los investigadores de la Universidad Nacional del Litoral, trabajaron con el modelo de área imitada de CIMA-UBA, analizando los escenarios A2 y B2 y tomando como referencia el período 1981-90 (García, 2007:100).

Considerando el escenario **A2**, el modelo CIMA prevé una disminución de las **precipitaciones** para 2081-90 en Corrientes, el sur y centro de Misiones, el este de Formosa y Chaco (y también en el norte de Santa Fe y noreste de Entre Ríos). Estas mermas irían desde -200 mm (la más notoria, en Corrientes) hasta unos -100 mm. Para Chaco este modelo prevé un cambio que va desde los 0 a los -120 mm, es decir, las lluvias podrían mantenerse igual que en la década de referencia (1981-90) o disminuir.

En el resto de la región: el norte de Misiones, oeste de Formosa y Chaco (también centro y sur de Santa Fe y Entre Ríos), se prevé que las lluvias anuales aumenten (Figura 5.4). El aumento sería de unos 70 mm en el oeste de Formosa. La merma en las lluvias sería más marcada en verano mientras que el aumento, mas acentuado en otoño.

Considerando el escenario **B2**, los cambios son menos notables y la merma en las precipitaciones anuales se restringe a Corrientes (con una disminución máxima de 100 mm/año), la mitad oriental de Chaco y el norte y noreste de Santa Fe. El resto de la región experimentaría un aumento que alcanzaría los 100 mm en el sur de Santa Fe y algo más de 120 mm en el este de Misiones.

Figura 5.4: Cambios en la precipitación anual entre 1981-90 y 2081-90, según el modelo CIMA-UBA.



Escenario A2

Fuente: García, N. FICH-UNL, 2007.

Escenario B2

El panorama se hace más complejo y variable si se consideran las **lluvias mensuales** calculadas por los modelos para 2081-90 y se las compara con las de 1981-90. Para ello, García construyó un gráfico que refleja los cambios promedio en precipitaciones medias mensuales que son dables esperar para el período 2081-90 en comparación con 1981-90 (Figura 5.5).

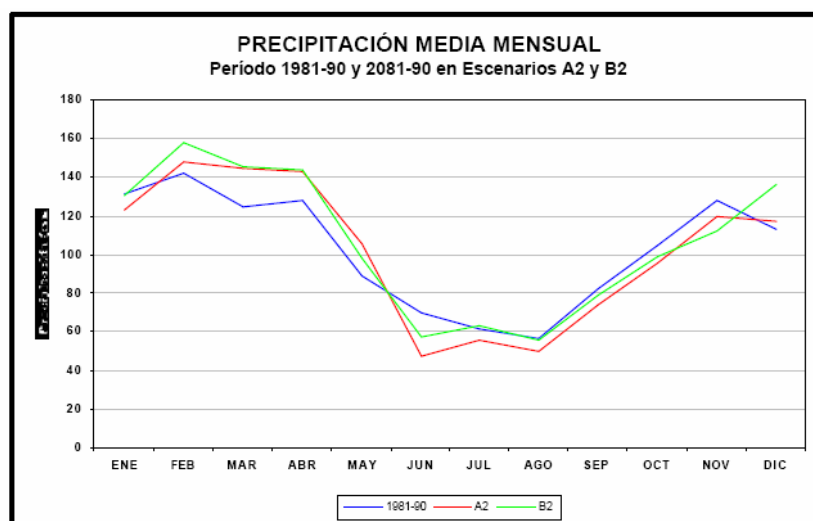
Entre enero y mayo las precipitaciones aumentarían respecto del período 1981-90, en promedio, en toda la región, bajo ambos escenarios. Entre junio y noviembre, la tendencia indica una disminución de las precipitaciones respecto a los valores de 1981-90.

El escenario B2, en general, supera levemente al escenario A2 en los montos de precipitación mensual, excepto en los meses de mayo y noviembre (UNL, 2007. Tomo 2:142). Sin embargo, si se considera la precipitación anual, los cambios son más marcados bajo el escenario A2 que bajo el B2.

En otras palabras, el cambio en la precipitación proyectado muestra variabilidad espacial y también diferencias estacionales. No sólo la magnitud de los cambios difiere entre los escenarios A2 y B2 sino que, en algunos territorios, no siempre son del mismo signo.

De acuerdo a la SAyDS, *“hay mayor incertidumbre en el oeste y norte de Argentina 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 en ningún sentido”* (2007:101)

Figura 5.5: Precipitaciones medias espaciales, para cada mes, del período de referencia 1981-90 y de los escenarios A2 y B2 para 2081-90

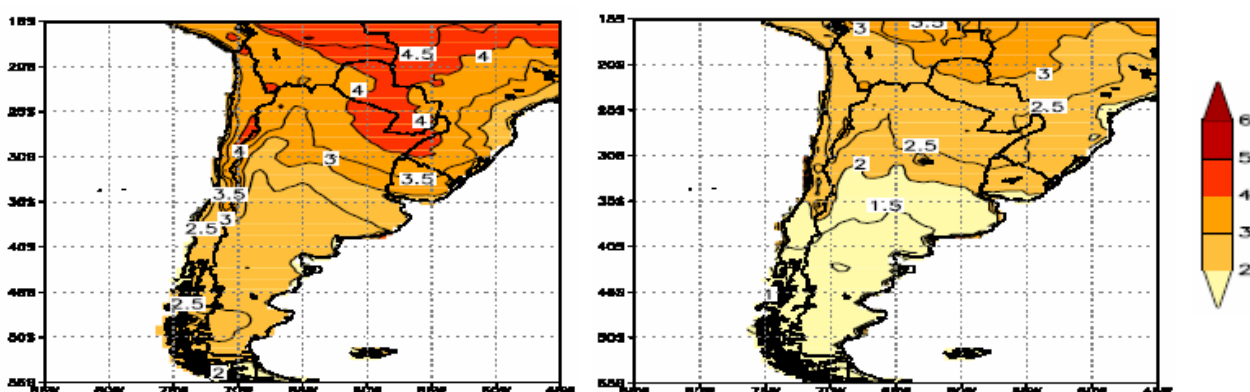


Fuente: García, N. 2007

De acuerdo al modelo MM5/CIMA y bajo el escenario **A2**, se prevén aumentos en las **temperaturas medias anuales** que serían de al menos 3,8° C en todo el NEA, con máximos de 4,2° C en el norte de Corrientes, hacia 2081-90 (Figura 5.6).

Bajo el escenario **B2**, el aumento de temperatura media anual sería de aproximadamente 2.5° C en el NEA (con aumentos de 2° C hacia el sur). Este escenario da una situación más homogénea que el A2 (UNL, 2007. Tomo 2: 169).

Figura 5.6: Cambios esperados en temperatura media anual para 2081-90. Escenario A2 (izquierda) y B2 (derecha). Modelo MM5/CIMA



Fuente: Núñez et al, 2006.

Los aumentos muestran una variación estacional, esperándose los máximos cambios durante las primaveras (entre +5.5 y +6° C en el extremo norte, bajo A2), seguido por los inviernos, (entre +5.0° C y +5.5° C en las regiones noreste y noroeste, bajo el escenario A2).

El aumento de la temperatura del aire causará aumento de la evapotranspiración. Además, las precipitaciones anuales disminuirían en parte de la región, y, en las áreas en que aumentarían esto no compensaría el aumento de la evapotranspiración. En consecuencia, se prevé una reducción del área con **excesos hídricos** en la región y excesos hídricos medios anuales entre un 59% y un 100% menores (Pedraza, FICH, 2007:328).

La disminución de los excesos de agua impactará en la escorrentía y en la recarga subterránea. Los cursos locales verían reducidos sus caudales medios, lo que implicaría un cambio en la tendencia registrada en las últimas 3 décadas. Esto no impactaría en la escorrentía de los grandes ríos de la región (Paraná, Paraguay, Uruguay y Bermejo) ya que esta se genera principalmente fuera del área de estudio.

El **balance hídrico proyectado** para 2081-90, utilizando el modelo CIMA-UBA y el escenario A2, muestra que prácticamente toda la región pasaría a tener **déficit hídrico**, con un gradiente de aumento hacia el noroeste. En la situación actual, los sectores con déficit hídrico se limitan al oeste de Chaco y Formosa, esta última con el mayor déficit (250 mm/año), mientras que bajo el escenario A2 aún los sectores ubicados en el centro y este de la región pasan a tener déficit, especialmente durante los meses de primavera-verano. Este déficit alcanzaría valores máximos en Formosa (hasta 960 mm/año al oeste, 400 mm/año al este) y Chaco (hasta 650 mm/año al oeste y 280 mm/año al este) pero también elevados en Misiones (250 mm/año) y Corrientes (330 mm/año)

Bajo el escenario B2, se observan tendencias similares que en A2 pero con diferencias menos marcadas respecto al periodo de referencia.

En otras palabras, si se cumplen los cambios en la temperatura y la precipitación que muestra el modelo CIMA-UBA, aumentaría significativamente el déficit hídrico en el NEA. La menor recarga subterránea junto con un aumento de la demanda, disminuiría la recarga de los acuíferos y sería necesario aumentar el abastecimiento de agua para riego durante los meses de primavera y verano.

Impactos esperados

Se prevé un aumento en la frecuencia e intensidad de las **inundaciones de origen fluvial** (este sería más crítico bajo el escenario A2 que bajo B2). Además, continuaría en aumento la frecuencia e intensidad del fenómeno El Niño, debido al calentamiento global. Por lo tanto, los niveles de riesgo actuales referidos a inundaciones de origen fluvial aumentarían en los escenarios A2 y B2.

Asimismo, aumentaría las **inundaciones de origen pluvial**, debido a que se espera que continúe en aumento (desde la década del 70') la frecuencia e intensidad del sistema convectivo de mesoescala por cambio climático (UNL-FICH, 2007).

Cabe recordar que la expansión agrícola produjo una drástica reducción de la cobertura natural en el último siglo. El caso más crítico es el de la Mata Atlántica, ecosistema que se ha reducido del 85% al 5% en el estado de Paraná (Brasil). Los suelos de la cuenca del Plata incorporados a agricultura

muestran procesos de compactación y erosión hídrica (García, FICH, 2007:366). En consecuencia han aumentado y se han acelerado la escorrentía superficial hacia cuerpos de agua receptores y los caudales pico y se han reducido los de tiempos de concentración. Los cambios en el uso del suelo, entre otros numerosos factores, contribuirán al **incremento en el riesgo de inundación**, tanto de origen fluvial como pluvial.

Al mismo tiempo, el incremento de déficit hídrico aumentará el **riesgo de sequía**. Los problemas más previsibles en relación al aumento de temperatura son la afectación a los **servicios** de abastecimiento de **agua y energía** -ésta última por aumento del consumo-, la **proliferación de insectos** asociados a ambientes cálidos y la afectación de la **salud** de la población expuesta a ambientes excesivamente cálidos (SAyDS; 2007:102).

En provincias como Chaco y Formosa, entre la primavera y el otoño se produce más del 90% de los recursos forrajeros que resultan siempre escasos en el invierno. El aumento de las temperaturas medias invernales, elevará la evapotranspiración, agravando la escasez estacional de pastura. En los últimos años esta situación se ha venido repitiendo, (por ejemplo, en el invierno del 2006, con cuantiosas pérdidas y mortandad de ganado (SAyDS; 2007:111).

2. Noroeste Argentino (NOA)

Es importante destacar que, a diferencia de otras regiones, las provincias del NOA no están incluidas en ninguno de los estudios específicos de la Segunda Comunicación Nacional. Los datos que aquí se presentan fueron tomados de la publicación compilada por la SAyDS y complementados con otros documentos.

A. Cambio y variabilidad climática en el pasado reciente.

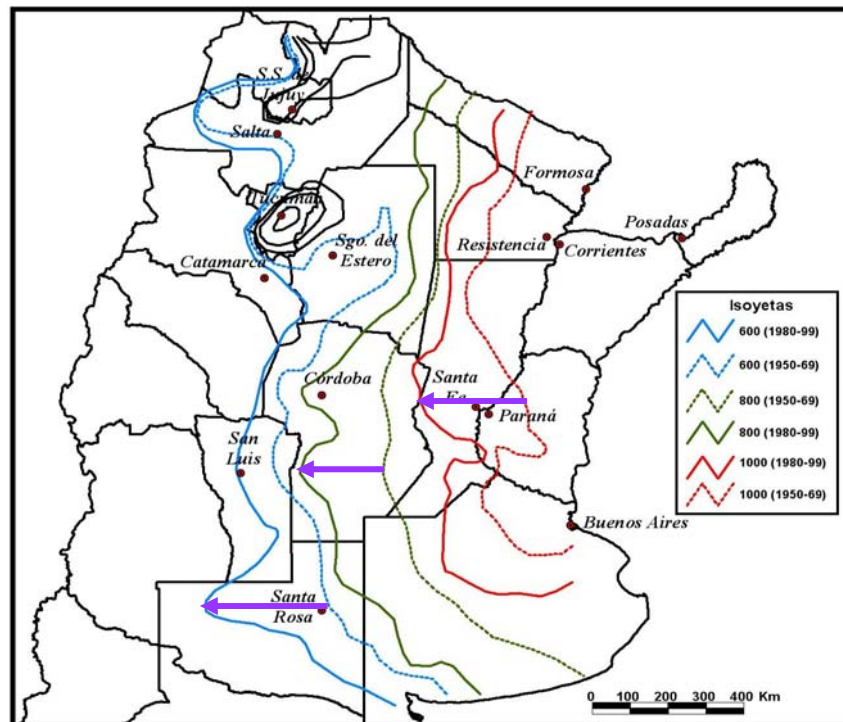
De acuerdo a la SAyDS, desde 1960, las **precipitaciones medias anuales** aumentaron en todo el territorio argentino, a excepción de la zona cordillerana (2007:94).

Castañeda y Barros, (1994) precisan que, entre 1956 y 1991, en la mayor parte del territorio argentino al norte de 40° latitud Sur, el incremento en las precipitaciones medias anuales fue mayor al 10 %. Como en esta extensa zona hay un marcado gradiente de este (relativamente lluvioso) a oeste (extremadamente seco), las isoyetas corren de norte a sur. En la región chaqueña, hacia fines del siglo XX, la isoyeta de 800 mm se había desplazado algo más de 100 Km. hacia el oeste, en relación a su ubicación durante 1950-69. Asimismo la isoyeta de 600 mm se ha desplazado hacia el oeste, en el área Santiago del Estero (ver Figura 5.7).

En parte de Salta y Santiago del Estero, el aumento generalizado en las precipitaciones medias anuales estuvo acompañado de una mayor **variabilidad interanual**, lo que es desfavorable para la agricultura porque, a pesar de las mayores precipitaciones medias, los **riesgos de sequías** también son mayores.

En esta zona, existe una alta variación interdecadal en la precipitación pero esta se ha amplificado en las últimas décadas, lo que se puede apreciar también en las variaciones de **caudal** del río Dulce (en Río Hondo, Santiago del Estero) (SAyDS; 2007:96).

Figura 5.7: Desplazamiento de isoyetas 1980-99 en relación a 1950-69



Las flechas violetas indican los mayores desplazamientos.

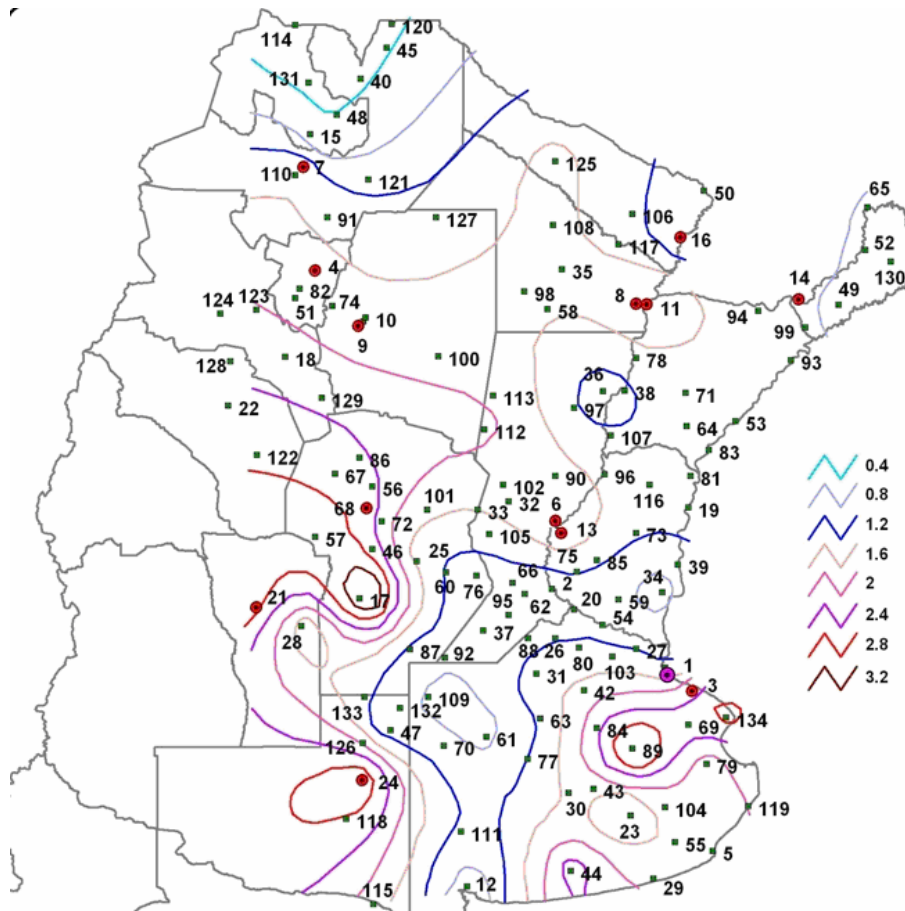
Fuente: elaboración propia con base en Escofet y Menedez, 2005

En cuanto a **precipitaciones extremas**, los estudios sobre el centro y este del país muestran que hacia inicios del siglo XX, en Santiago del Estero, aumentó ligeramente la frecuencia de lluvias de 100mm/2 días (entre 0,2 y 1.4 veces mayor) y de 150 mm/2 días (entre 0 y 0.5 veces mayor), en relación a mediados del siglo. Bajo estas nuevas condiciones, es esperable que ocurran lluvias de al menos 100mm/2 días entre 0.4 y 2.4 veces al año en esa provincia (Fundación Di Tella, 2005). Según la información presentada por Escofet y Menéndez, en la provincia, la frecuencia de lluvias de 100mm/2 días aumentó entre 1.2 y 2.4 veces durante el período 1959-78, con respecto a 1983-2002. También se observan aumentos de eventos extremos, aunque más leves, en el este de las provincias de Salta, Jujuy y partes de Tucumán y más marcados en los extremos este de La Rioja y Catamarca (Figura 5.8).

Las precipitaciones extremas han detonado torrentes, **deslizamientos e inundaciones** en estos territorios, por ejemplo, en el norte de Salta, Chaco y Formosa en otoño de 2006 (SAyDS; 2007:96). Se espera que continúe el aumento en las frecuencias de lluvias extremas por efecto del cambio climático (IPCC, 2003). Para otras zonas de la región no se ha encontrado información.

En la Argentina no patagónica, no se observaron cambios significativos en la **temperatura media** de superficie. Sin embargo, se ha observado un aumento en las temperaturas mínimas medias y, al mismo tiempo, una disminución en las temperaturas máximas medias. (SAyDS; 2007:97)

Figura 5.8: Aumento relativo de la frecuencia de precipitaciones intensas por encima de 100 mm en 2 días, para 1983-2002 en relación a 1959 y 1978.

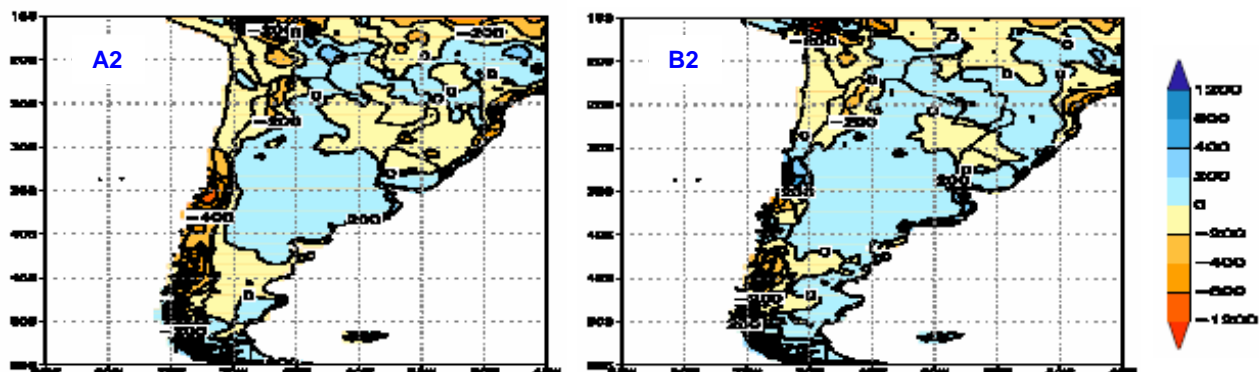


Fuente: Escofet y Menedez, 2005

B. Cambios esperados

De acuerdo a los modelos MM5/CIMA (Figura 5.9) y HADCM3, la precipitación aumentaría en gran parte del centro-norte de Argentina para la década 2081-90. Sin embargo, los resultados están asociados a altos niveles de incertidumbre, ya que los modelos tienen dificultades para representar la precipitación en esta área (ver NEA). Aunque no hay claridad en cuanto al signo de las tendencias futuras, se espera que los cambios no sean importantes en ningún sentido (SAyDS; 2007:101).

Figura 5.9: Diferencias de precipitación anual entre 2081-90 y 1961-90. Modelo MM5/CIMA.



Fuente: Núñez et al, 2006

Los escenarios climáticos de todos los modelos globales desarrollados indican un aumento de las **temperaturas medias** que sería más pronunciado en el norte de la Argentina (SAyDS; 2007:100). Los escenarios de alta resolución (MM5/CIMA) muestran un aumento de más de 1° C para el período 2020/2040 en el norte del país (SAyDS; 2007:100) e indican aumentos de entre 3 y 4° C para 2081-90, bajo el escenario A2 y de unos 2.5° C, bajo B2 (Figura 5.6, bajo NEA). Los mayores aumentos estarían previstos para primavera e invierno y los menos marcados, para verano y otoño (Núñez et al, 2006:17).

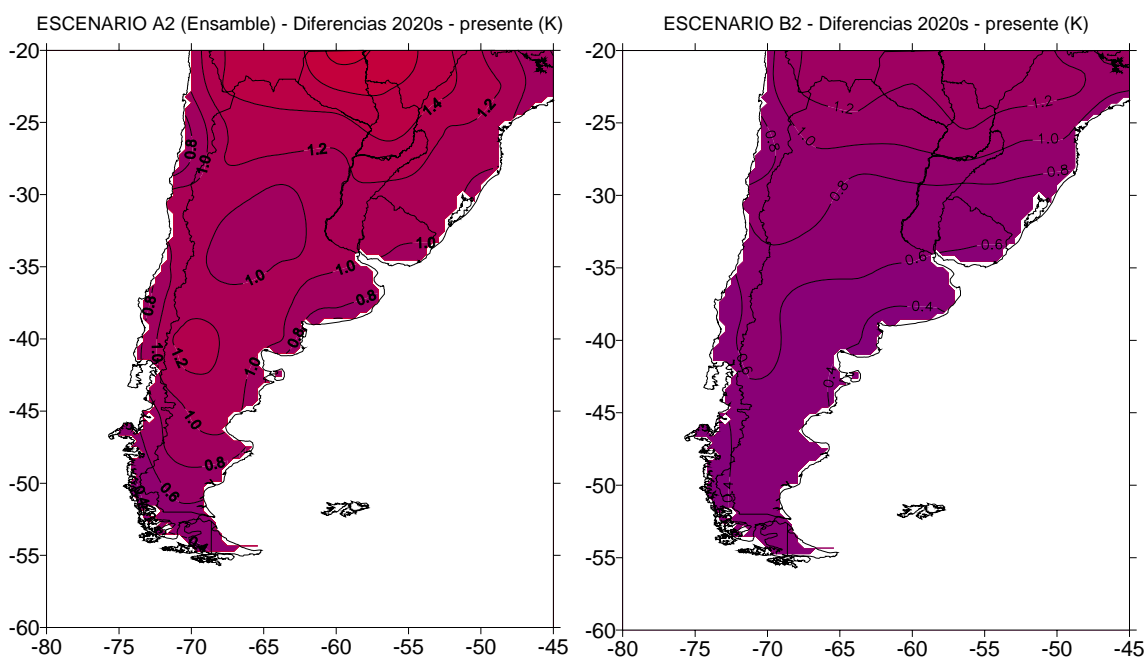
El modelo HADCM3 indica aumentos de entre aproximadamente 1° y 1.4° C para la década de 2020 (Figura 5.10).

Debido a mayores temperaturas, aumentará la evaporación y como no se proyectan grandes cambios en la precipitación, es probable que esto conduzca hacia una mayor aridez, revirtiéndose la tendencia de las últimas décadas. Se agravarían las condiciones extremas de los veranos, aumentaría el estrés hídrico y el **riesgo de incendios forestales y de vegetación**, particularmente, en invierno cuando las precipitaciones son escasas. En Santiago del Estero y Salta, el aumento de las temperaturas medias invernales ha ocasionado recurrentes **sequías**, la última en 2006, dejó cuantiosas pérdidas y mortandad de ganado (SAyDS; 2007:111).

También se espera que continúe en aumento la frecuencia de precipitaciones intensas y en consecuencia, se esperaría que se intensifiquen las **inundaciones, tempestades y aluviones** que constituyen las amenazas principales en la región.

Al igual que en la región Centro, el aumento de temperatura posiblemente afectará la salud de la población, los servicios de agua y energía - ésta última por aumento del consumo- y contribuirá a la proliferación de insectos asociados a ambientes más cálidos, (SAyDS; 2007:102).

Figura 5.10: Diferencias de temperatura, según el modelo HadCM3, entre la década 2020 y el período 1961-90



Fuente: Camilloni, 2004. Escenario A2 (izquierda) y B2 (derecha)

3. Centro y AMBA

Las tendencias y las proyecciones para las regiones CENTRO y AMBA se trataron de integrar a partir de los documentos: Segunda Comunicación Nacional; Vulnerabilidad de la Zona Costera, Vulnerabilidad de la Pampa Bonaerense, Vulnerabilidad de los recursos hídricos en el Litoral-Mesopotamia.

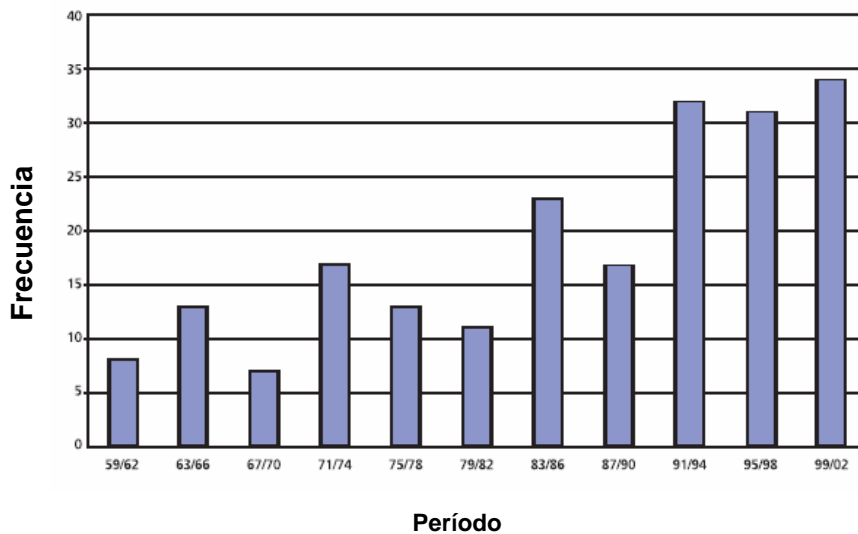
A. Cambio y variabilidad climática en el pasado reciente.

Desde 1960, las **precipitaciones medias anuales** aumentaron en las regiones Centro y AMBA. A partir de 1970 ese incremento fue entre un 10% y un 35% superior en parte de La Pampa y el oeste de Buenos Aires (SAyDS; 2007:94). Durante la segunda mitad del siglo XX, las mayores precipitaciones provocaron un corrimiento de más de 200 kilómetros hacia el oeste de la isoyeta de 600 mm, ubicada en la pampa húmeda. Simultáneamente, hacia el norte del país, la isoyeta de 800 mm se desplazó más de 100 kilómetros hacia el oeste. (Barros et al; 2006:70) (Figura 5.7, bajo NOA).

Estas tendencias de precipitación no se distribuyen homogéneamente a lo largo del año. Los mayores aumentos se registran en verano y otoño, mientras que los de menor magnitud durante el invierno en Buenos Aires (Barros et al; 2006:71; Núñez, et. al; 2005:6)

La frecuencia de **precipitaciones intensas** -definidas como aquellas que superan los 100 mm caídos en dos días-, se ha triplicado en algunas zonas, desde fines de la década de 1970 (Figura 5.11). Una tendencia similar se observa en las lluvias de 50 mm/2 días y 150 mm/2 días (Barros et al; 2006:74).

Figura 5.11: Frecuencia de lluvias mayores a 100 mm/2 días (1959-2002)



Fuente: Berbery, Doyle y Barros, 2006.

Comparando el período 1959-1978 con el 1983-2002, Escofet y Menéndez (2004) encontraron que las zonas con mayor aumento en la frecuencia de precipitaciones superiores a 100 mm/2 días se ubican en los alrededores de las ciudades de Río Cuarto (Córdoba), Santa Rosa (La Pampa), Las Flores y Pipinas (Buenos Aires).

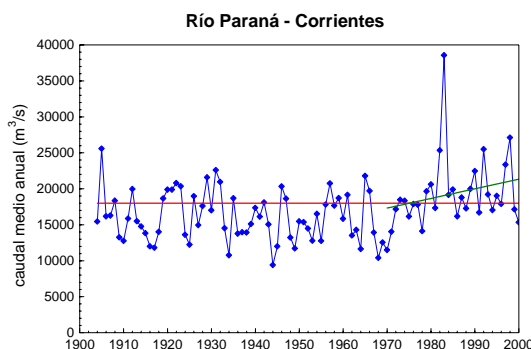
En algunas zonas, como en el caso de Rafaela, Santa Fe, también se ha incrementado el número de días con lluvia, a partir de la década de los 70', en relación al período 1930-1970 (UNL-FICH, Tomo 2: 23)

Desde 1970, debido a las mayores lluvias en el sur de Brasil, noreste argentino y Paraguay, han aumentado los **caudales medios** anuales de los ríos Paraná y Uruguay. En el primero, los caudales fueron un 38% mayor entre 1980 y 2000, que entre 1902 y 1970 (Figura 5.12). Además, se han incrementado los caudales mínimos, situación que estaría relacionada con la regulación impuesta por la cadena de embalses desarrollados en Brasil desde la década del 60' (Menéndez y Re, 2005:51). Asimismo, ha aumentado la frecuencia de crecidas, tanto las extraordinarias (el caudal del río Paraná en Santa Fe se ubica entre los 33.000 y los 45.000 m³/s) como las excepcionales (el río supera 45.000 m³/s). Aunque no ha variado la frecuencia de las bajantes, ha aumentado su intensidad.

A partir del 2000, los caudales han disminuido en relación al período 1980-2000, aunque se mantienen un 8% mayor, en relación a los del período 1902-1970.

De acuerdo a los hallazgos de Berbery y Barros (2002) es importante señalar que los caudales de los ríos de la cuenca del Paraná amplifican los incrementos de precipitación. Al comparar lluvias y caudales medios de los períodos 1951-1970 y 1980-1999, estos investigadores encontraron que el aumento en la precipitación se tradujo en un aumento del doble de magnitud en los caudales de los ríos.

Figura 5.12: Caudal medio del río Paraná en Corrientes



Promedio para el período completo (línea roja) y tendencia desde 1970 (línea verde)

Fuente: Camilloni, 2004

De acuerdo a la SAyDS, en toda la zona no patagónica de Argentina, no se han observado cambios significativos en las **temperaturas medias de superficie**, entre 1931 y 2000, aunque han aumentado las temperaturas medias mínimas y, simultáneamente han disminuido las temperaturas medias máximas. El aumento en las mínimas estaría asociado a mayores concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), mientras que el descenso en las máximas es consecuencia de una mayor nubosidad y evaporación, asociadas a mayores precipitaciones (SAyDS; 2007:97). Al mismo tiempo, González y Penalba (2006:6) encontraron una tendencia positiva y significativa en las temperaturas medias anuales y trimestrales del período 1913-2000, especialmente en invierno, otoño y primavera para la Pampa bonaerense.

Otros cambios observados son la prolongación de las condiciones térmicas del verano en el otoño temprano y un incremento en las temperaturas en invierno (SAyDS; 2007:98).

Escobar et al (1999) analizaron las **sudestadas** ocurridas entre 1905 y 1983 y encontraron que la onda de tormenta máxima ha ido aumentando, especialmente desde 1980. De modo similar, Bischoff y Vargas (2005:220) encontraron que los vientos del sudeste se hicieron ligeramente más frecuentes (2.5% más) a partir de la década 1981-90. Por su parte, Camilloni et al (2004) analizaron las tendencias de los vientos (período 1950-2000) y encontraron que, hacia fines del siglo XX, aumentó la circulación en verano y disminuyó en invierno.

Durante el siglo XX, el **nivel del Río de la Plata** en la ciudad de Buenos Aires aumentó unos 17 cm.; el incremento más significativo fue durante la década de 1970. Este cambio estaría asociado al incremento del nivel medio del mar (Menéndez y Re, 2005:59).

Impactos relacionados

Como consecuencia del aumento en los caudales de los ríos de la cuenca del Plata, la producción de energía hidroeléctrica en las grandes represas ha sido entre un 20% y un 30% superior a la esperada, desde comienzos de los 70' (SAyDS, 2007: 94).

Al mismo tiempo, el aumento de lluvias en Brasil y Paraguay ocasionó una mayor frecuencia de **crecidas de los ríos** que afectó las riberas del Paraná

Medio y Bajo Paraná. En este sentido, se puede mencionar que 3 de las 4 mayores crecidas del S XX ocurrieron en las últimas décadas (año 1983, 1992 y 1998). Asimismo, 13 de las 18 crecidas mayores del río Uruguay ocurrieron en las últimas décadas del siglo XX (SAyDS, 2007:95).

El corrimiento de las isoyetas hacia el oeste fue uno de los múltiples factores - junto a la incorporación de nuevas tecnologías y una relación de precios internacionales favorable- que propició el avance de la frontera agrícola hacia el oeste. Este fenómeno significó incorporar a la agricultura un territorio que hasta la década de 1960 era considerado semiárido (SAyDS; 2007:96).

Simultáneamente, se registró un deterioro de zonas agrícolas tradicionales producto de cambios en el balance hídrico. Zonas del oeste de Buenos Aires, sur de Córdoba y Santa Fe, se transformaron en **lagunas permanentes** y varias lagunas –especialmente la de Mar Chiquita en Córdoba y de la Picasa en Santa Fe- aumentaron considerablemente su tamaño (SAyDS, 2007; 94, 96)

Asimismo, aumentó en forma sostenida el **nivel de la napa freática**, alcanzando en algunos casos la superficie. En Rafaela (Santa Fe) y el conurbano bonaerense se registraron inundaciones de sótanos (SAyDS, 2007:94). De acuerdo a Escofet y Menéndez (2004:34), este fenómeno ha afectado cimientos de infraestructuras y la salud de la población expuesta a altos niveles de humedad o a aguas contaminadas (en el caso de afloramientos); ha provocado fisuras y rotura de pavimentos por disminución de la capacidad de soporte de calles y caminos e inundación de pozos negros, con la consiguiente contaminación del agua subterránea

B. Cambios esperados

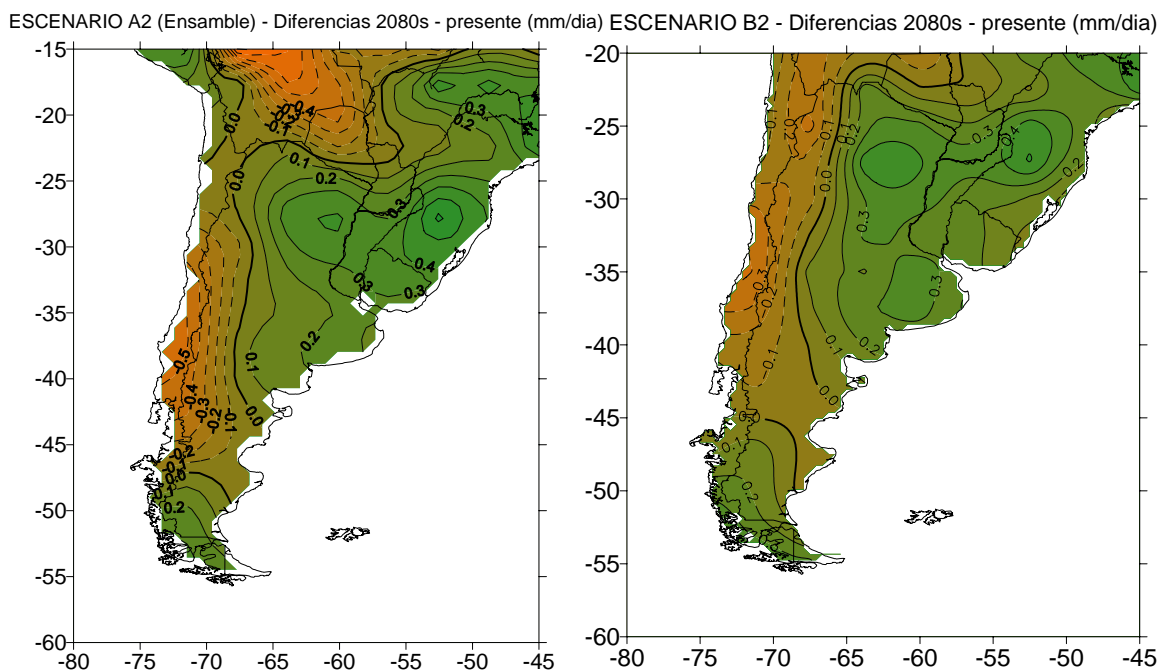
El modelo de alta resolución del CIMA (Fig. 5.9) y el HADCM3 (Fig. 5.13) proyectan un aumento de la **precipitación** en el centro de Argentina, aunque las tendencias serían muy inferiores a las registradas en la segunda mitad del siglo pasado. El MM5/CIMA proyecta aumentos de hasta +200 mm en gran parte de la región, bajo el escenario A2, con los mayores aumentos en otoño y verano. De acuerdo a González y Penalba (2006:27), en verano se produciría un aumento en las lluvias en el centro del país.

Sin embargo, otros modelos indican distintas tendencias, inclusive, en algunos casos, de signo negativo (SAyDS; 2007:101). El estudio de la FICH para la región Litoral-Mesopotamia encontró que para el período 2081-90, disminuirían las lluvias en el norte de Santa Fe (-100 mm bajo el escenario A2) y noreste de Entre Ríos (-120 mm bajo el escenario A2) (UNL, 2007. Tomo 2). El nivel de incertidumbre asociado a las precipitaciones futuras parece aún muy elevado, además se observa que existe alta heterogeneidad espacial.

En cuanto a la **temperatura media**, para el período 2020-2040 se espera un aumento cercano a 1° C (SAyDS, 2007:101). Según el modelo MM5/CIMA, para 2081-90, el aumento sería de +2.5°- 3.5° C bajo A2 y de 2° a 2.5° C, bajo B2 (Figura 5.6). Además, los mayores incrementos se esperan en primavera e invierno, con un aumento simultáneo de las máximas y las mínimas (González y Penalba, 2006:28).

Como consecuencia de la expansión térmica de los océanos y el deshielo de glaciares y hielos continentales, se espera que el nivel medio del mar continúe aumentando a escala global, durante el siglo XXI. Este aumento alcanzaría entre 0.19 a 0.58 metros para la década 2090-2099 en relación al nivel de 1980-99, dependiendo del escenario socio-económico y el modelo (Nicholls et al, 2007:323).

Figura 5.13: Diferencias de precipitación, según el modelo HadCM3 entre la década 2080 y el período 1961-90.



Fuente: Camilloni, 2004. Escenario A2 (izquierda) y B2 (derecha)

Para evaluar sus posibles impactos, Menéndez y Re (2005) investigaron el peso de diversos forzantes en la dinámica del **Río de la Plata**, a través de un modelo hidrodinámico; consideraron incrementos globales en el nivel del mar de entre 28 cm. y 50 cm. para 2070. Sus resultados muestran que el aumento medio del nivel del mar es el factor que mayor influencia tiene en el **nivel medio** del río en todo el estuario. Le sigue en orden de importancia: el efecto de los vientos y el caudal de los principales tributarios.

Debido al cambio climático, durante el siglo XXI, se espera un aumento en la frecuencia de vientos del sudeste, (Vargas y Bischoff, 2005) lo que significará una mayor frecuencia de **tempestades (sudestadas)** en la costa del AMBA.

Por el aumento del nivel del río, no se espera que queden áreas costeras significativas permanentemente inundadas, sin embargo, las sudestadas se montarán sobre un nivel de agua mayor al actual. En consecuencia, se espera que las **inundaciones** alcancen una mayor altura y extensión territorial, afectando áreas localizadas por debajo de los 5 metros s.n.m. La población actualmente asentada en esas zonas es de aproximadamente 1 millón de habitantes (SAyDS; 2007:106).

De acuerdo con Menéndez y Re (2005:305), las zonas más vulnerables a este fenómeno son:

- el frente del delta del río Paraná (partido de Tigre)
- la costa sur bonaerense desde Beriso/Ensenada hasta Quilmes/Berazategui
- pequeña franja al sur de la bahía de Samborombón
- la cuenca baja del Matanza-Riachuelo
- la cuenca baja del río Reconquista

En el delta del río Paraná, el partido de Tigre y la costa norte de Buenos Aires, se espera que se incremente la **altura considerada segura para la construcción** (4,4 metros snm) debido al aumento del nivel del mar proyectado y la posibilidad de que coincidan una sudestada con una crecida del río Paraná (SAyDS, 2007:106).

En varias ciudades costeras de la provincia de Buenos Aires, el riesgo de **erosión costera** se potencia por el avance urbano sobre la costa, a veces asociado a un desconocimiento de la dinámica natural. Estos fenómenos erosivos podrían incrementarse como consecuencia del mayor alcance territorial de las inundaciones, afectando las playas y parte de centros urbanos costeros (SAyDS; 2007:93, 105).

Las zonas que podrían quedar anegadas de manera permanente abarcan algunas islas de marea en la costa, al sur de Bahía Blanca y pequeñas franjas en la bahía de Samborombón, aunque la pérdida de territorio sería muy poco significativa. (Barros; 2004:13).

Aunque se prevén mayores lluvias (alta incertidumbre), se espera un retroceso de los caudales de los ríos de la cuenca del Plata debido a que las mayores temperaturas causarían una mayor evapotranspiración (SAyDS, 2007: 93). Sin embargo, continuaría la mayor frecuencia de precipitaciones intensas e inundaciones en las zonas actualmente afectadas por estos fenómenos (SAyDS, 2007: 93). Al mismo tiempo, el balance hídrico modelado para 2081-90 (bajo los escenarios A2 y B2) muestra mayores excesos hídricos, de mayo a agosto, con respecto al período 1965-2000, especialmente en la provincia de Buenos Aires (González y Penalba, 2006:27), lo que sugiere mayor **propensión a inundaciones**

Por otra parte, la ocurrencia de inviernos secos significa riesgo de **incendios forestales y de pastizales**. Estos se producirían con más frecuencia en el centro del país. Episodios recientes de este tipo ocurrieron en la provincia de Córdoba y La Pampa (SAyDS; 2007:111).

En grandes conglomerados urbanos como Córdoba, Rosario y Buenos Aires se esperan **olas de calor**, producidas principalmente por el ingreso de flujos de aire desde el norte, en donde se esperan mayores aumentos de temperatura (SAyDS; 2007:102).

4. Cuyo

La información que se presenta aquí proviene principalmente de dos estudios realizados por Boninsegna y Villalba en 2006, sobre cambio climático y oferta hídrica en los oasis de Mendoza y San Juan.

Los estudios sobre variabilidad y cambio climático en Cuyo se ven limitados, entre otras causas, por la falta de disponibilidad de datos. En la región, las series de datos climáticos instrumentales son muy escasas, cubren periodos relativamente cortos y a menudo están discontinuadas. Esto es particularmente crítico en la zona de alta montaña donde, actualmente, hay una sola estación meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional, la de Punta de Vacas, ubicada a 2450 metros snm en la cuenca del río Mendoza (Boninsegna y Villalba, 2006). Por estas razones, para el análisis se incorporan datos de estaciones provinciales o particulares y otras al oeste de la cordillera, como la de Santiago de Chile.

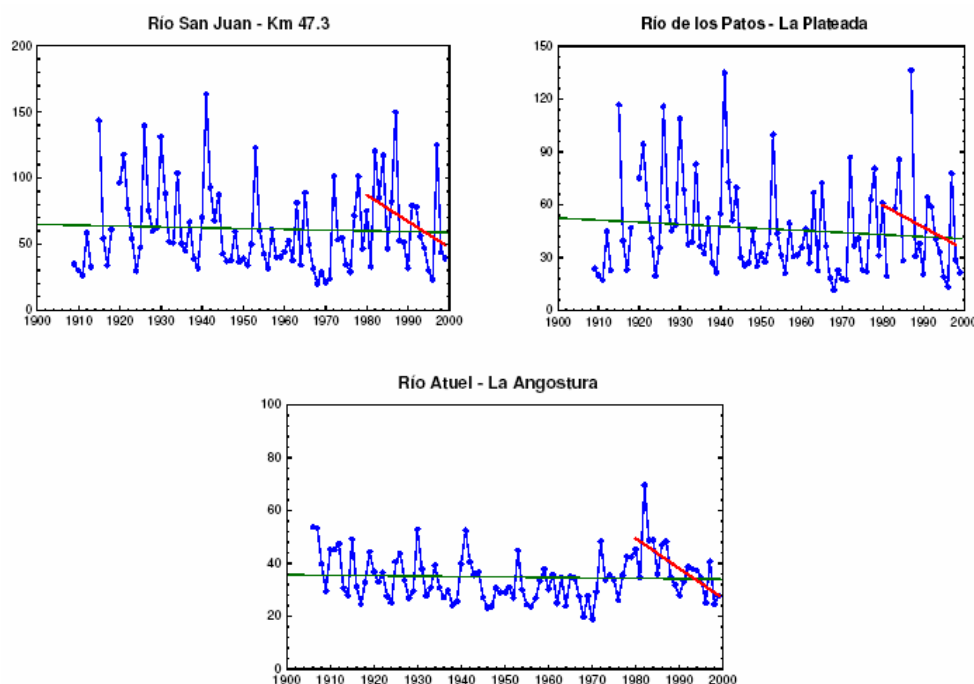
Otra limitación para Cuyo es la ausencia de modelos que relacionen la precipitación nívea invernal con los caudales emergentes, en primavera y verano, de los ríos de la región.

Dadas las limitaciones señaladas, Boninsegna y Villalba (2006) advierten que muchas de las proyecciones a futuro deben tomarse como aproximaciones, con errores probables altos.

A. Cambio y variabilidad climática en el pasado reciente

Los ríos cordilleranos de Cuyo han disminuido sus **caudales**. Los ríos para los cuales se dispone de series largas de información -San Juan, de los Patos y Atuel- muestran una leve tendencia negativa en su caudal, desde inicios del siglo XX, pero ésta se acentúa marcadamente desde la década del 80' (Figura 5.14)..

Figura 5.14: Caudales medios anuales (m³/s) de ríos cuyanos



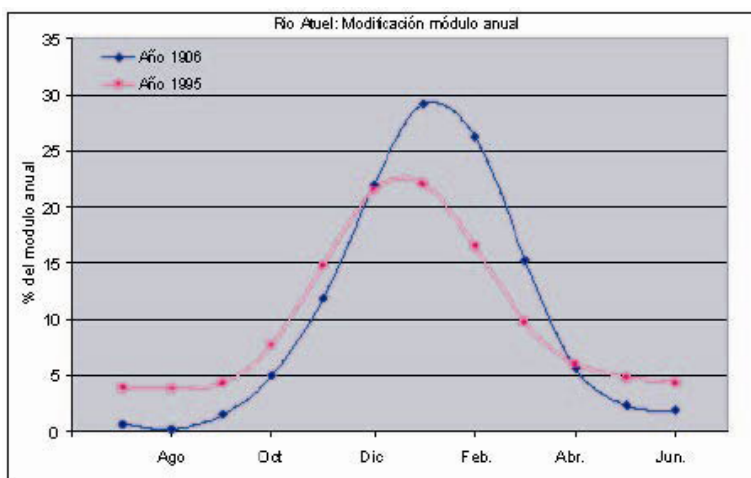
Tendencia lineal para el período completo (línea verde) y la misma a partir de 1980 (línea roja).

Fuente: Camilloni, 2005

A partir de 1980, los ríos Mendoza y Tunuyán muestran la misma tendencia. Entre 1980 y 2000, la disminución de los caudales ha sido entre un 50 y un 60%, lo que indica un fuerte aumento del **riesgo de déficit hídrico**. No obstante ello, se puede observar la existencia de otros períodos con tendencias similares que luego se revirtieron y que los caudales anuales mínimos de los últimos años se encuentran en el rango de los observados con anterioridad (Camilloni, 2005). Por otra parte, Carril et al (1997), detectaron caudales bajos en los ríos cuyanos, entre 1960 y 1970, que luego se recuperaron y que estarían relacionados con una baja frecuencia de eventos Niño. Esta disminución transitoria generó medidas sobre el manejo del recurso, como la incorporación de uso de agua subterránea. Aunque esto mejoró la situación, es importante señalar que el agua del subsuelo tiene el mismo origen que la fluvial por lo que es vulnerable a la disminución de precipitaciones en la cordillera.

La tendencia en aumento de la temperatura está alterando el **hidrograma de los ríos** andinos ya que el proceso de fusión de la nieve comienza más temprano, incrementando el caudal en los meses de primavera, con el **pico de máximo** que se traslada más temprano en el ciclo hidrológico y una disminución de los **caudales de verano** (Figura 5.15) (Boninsegna y Villalba, 2006:20).

Figura 5.15: Río Atuel, variaciones en el hidrograma 1906 vs. 1995

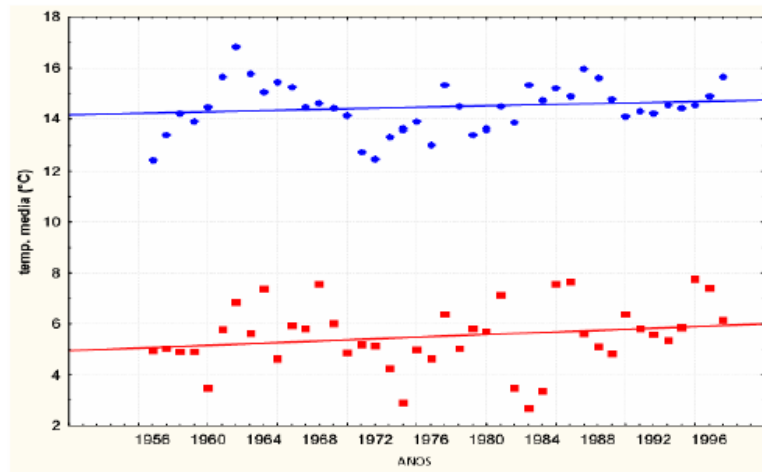


Fuente: Boninsegna y Villalba (2006).

De profundizarse esta tendencia, podría traer consecuencias ya que la mayor demanda de agua en la región es en los meses estivales, tanto debido a la mayor evapotranspiración como al tipo de cultivos predominantes (frutales y viñedos)

A pesar de la escasez de datos para la alta Cordillera, se verificó un aumento en las **temperaturas medias** anuales, tanto en el piedemonte como en la montaña (Figura 5.16). También han aumentado las temperaturas medias estacionales, las de invierno más marcadamente que las de verano. Para la localidad de Punta de Vacas, este aumento fue de más de 1° C. (Boninsegna y Villalba, 2006:14-15)

Figura 5.16: Aumento de la temperatura



Temperaturas medias de verano (en azul) y de invierno (en rojo). Estación Punta Vacas (ubicada a 2.400 metros snm)

Fuente: Boninsegna y Villalba, 2006

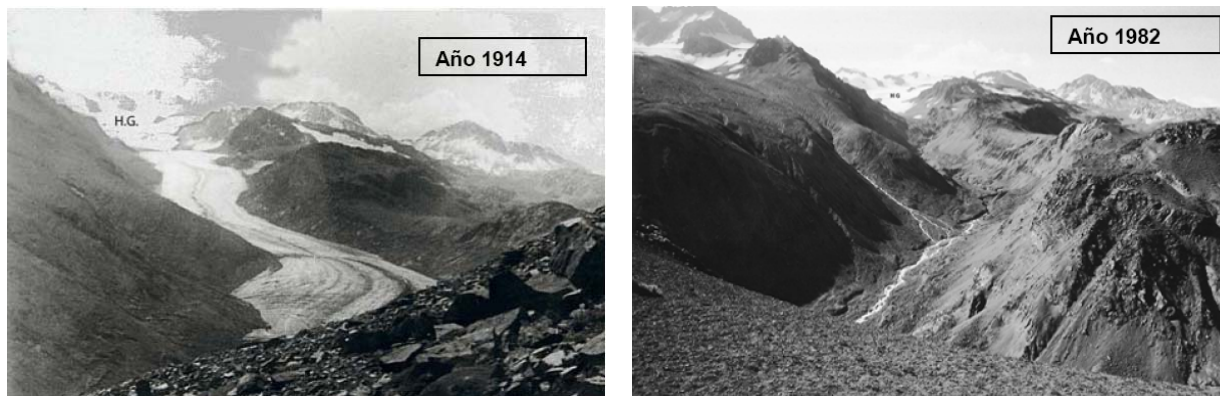
Estos resultados se complementarían con los estudios paleoclimáticos realizados en el sur de la Patagonia, al este de los Andes que muestran un incremento de la temperatura desde 1650 (Figura 5.22) (Boninsegna y Villalba, 2006:14-15)

El proceso de fusión de la nieve depende de que se alcancen temperaturas superiores a los 0° C. Por ello es importante conocer cuál es la altura a la que se encuentra la isoterma de 0° C, ya que por encima de la misma no habrá fusión mientras que por debajo de esta cota, la nieve se transformará en agua líquida. De acuerdo a la SAyDS, la **altura de la isoterma 0° C** ha aumentado en la mayor parte de la región cordillerana, desde Cuyo hasta Tierra del Fuego.

La variabilidad de las precipitaciones (con tendencia negativa) y de la temperatura (con tendencia positiva) han ocasionado una disminución de las **masas de hielo** cordilleranos, tanto en Patagonia como de Cuyo. El aumento de la temperatura y, en consecuencia de la altura de la isoterma de 0° C, provoca cambios negativos en el balance de masa de los glaciares (cantidad de hielo acumulado en el invierno menos cantidad de hielo derretido en el verano). Esto puede verse en los registros del glaciar Piloto, ubicado en el Cajón del Rubio, cuenca del río Mendoza cuyo balance es acentuadamente negativo entre 1979 y 1997 y también corroborarse en las fotografías del glaciar del Humo (Boninsegna y Villalba, 2007a:10-13).

El impacto del **retroceso de los glaciares** sobre los caudales aun no es bien comprendido, pero indica la pérdida de una reserva de agua y de un mecanismo de regulación de los caudales, ambos importantes (Boninsegna y Villalba, 2007a:17).

Figura 5.17: Glaciar del Humo, cuenca superior del río Atuel, 1914 vs. 1982



1914 foto de W. Von Fischer. 1982 foto de Daniel R. Cobos.
 Fuente: Boninsegna y Villalba, 2006.

B. Cambios esperados

Utilizando los escenarios de emisiones provistos por el IPCC (SRES A2) y el modelo climático regional de alta resolución MM5/CIMA, Núñez y Solman (2006) calcularon los cambios en la precipitación y temperatura en el país, para 2081/2090. Los períodos de referencia usados fueron: 1981–1990, 1991–2000 y 1961-1990. Sobre esa base, mediante la técnica de “pattern scaling”, se obtuvieron los cambios, bajo el escenario A2, para 2020/2030, correspondientes a la zona cordillerana, ubicada entre los paralelos de 32° a 36° S (Figura 5.18) (Boninsegna y Villalba, 2006b:4). Cabe destacar que en las proyecciones realizadas no se consideró la posible incidencia de fenómenos como el Niño y la Niña (Boninsegna y Villalba, 2006b:20).

Figura 5.18: Cambios proyectados bajo el escenario A2 para la zona cordillerana entre 32° y 36° S; 2020-30 en relación a 1961-1990.

Cuenca	San Juan	Mendoza	Tunuyan	Diamante	Atuel
Temperatura	+1.50°C	+1.50°C	+1.25°C	+1.25°C	+1.25°C
Precipitación	-105mm	-105mm	-105mm	-100mm	-100mm
Isoterma 0°C	+150mts	+150mts	+130mts	+130mts	+130mts

Fuente: Boninsegna y Villalba, 2006. La precipitación se refiere a cambios en los montos anuales.

Para 2020-30, bajo el escenario A2, se prevé un aumento de la **temperatura media anual** de entre 1.25° C y 1.5° C y una disminución de la **precipitación**

anual de unos 100 mm. Este modelo también predice para el mismo período una **elevación de la isoterma 0° C** de entre 150 y 130 metros en comparación con la elevación de 1961-90 (Boninsegna y Villalba, 2006:22). Debe tenerse en cuenta que estos valores muestran diferencias estacionales y espaciales.

De acuerdo al modelo MM5/CIMA, para 2081-90 se espera una reducción de las lluvias en la franja cordillerana pero un aumento de las mismas en el centro y sur de San Juan y en la zona llana de Mendoza. Este último, alcanzaría hasta +200 mm/año bajo el escenario A2 y sería máximo durante los veranos (Núñez et al, 2006:10)

Las menores precipitaciones cordilleranas se traducirían en una merma en los **caudales** emergentes en los ríos cuyanos. Los caudales serían entre, aproximadamente, un 10 y un 30% menores, con cambios más acentuados en el norte que en el sur de la región (Cuadro 5.2).

Cuadro 5.2: Disminución estimada en los caudales de ríos cuyanos, bajo el escenario A2, para 2021-30

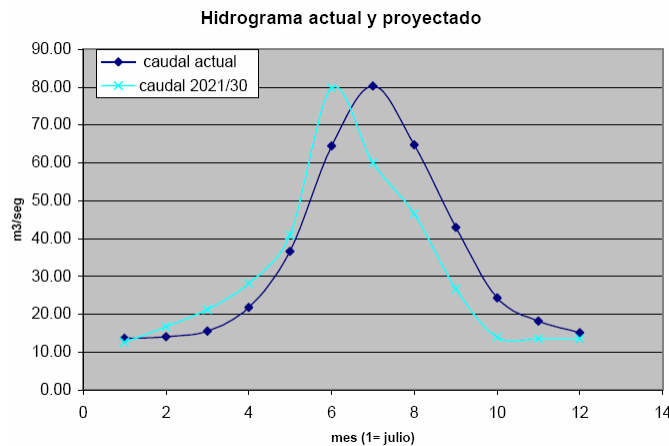
Río	Diferencia caudales 2021-30 vs. 1961-90
San Juan	-29.5%
Mendoza	-13.2%
Tunuyán	-12.5%
Diamante	-12.9%
Atuel	-9.7%

Fuente: elaboración propia con base en Boninsegna y Villalba, 2006

Sin embargo, es difícil estimar el efecto del aumento de la temperatura en los volúmenes escurridos. Por ejemplo, en el caso de Punta Vacas, superado un umbral de temperatura, los caudales se incrementan exponencialmente y por arriba de los 17.5° C, se agota la disponibilidad de nieve (Boninsegna y Villalba, 2006b:9).

Teniendo en consideración el aumento de la temperatura de 1.5° C y una disminución en las lluvias de 100 mm, para 2021-30 se prevé un adelanto de los **picos de máximo caudal** de aproximadamente un mes, un aumento de los caudales en primavera (octubre y noviembre) y una disminución de los caudales del verano (enero a marzo) (Figura 5.19). Estos efectos serán más pronunciados en las cuencas de los ríos Diamante y Atuel.

Figura 5.19: cambios en el hidrograma estimados para el río Mendoza, estación Punta Vacas, bajo el escenario A2



Fuente: Boninsegna y Villalba, 2006

Con el incremento de la temperatura, disminuye la **superficie por arriba de los 0° C** que permite la acumulación de nieve en invierno. Las cuencas ubicadas al norte de la región (San Juan, Mendoza y Tunuyán) poseen mayores alturas medias y para la década 2021-30, se prevé una reducción cercana al 10% en las superficies sobre 0° C, durante los inviernos. Durante los veranos, la pérdida sería mayor (25%).

Las cuencas más afectadas serían las del sur que son más bajas (Diamante y Atuel), en las cuales la disminución de las superficies por arriba de los 0° C alcanzaría el 45%-50% para 2021-30, tanto en verano como en invierno. Es probable que en las cuencas del sur el hidrograma se modifique más que en las cuencas del norte, apartándose significativamente de los valores actuales.

La consecuencia principal de estos cambios será una **menor oferta hídrica en los oasis de Cuyo**, particularmente en los ríos San Juan y Mendoza. El aumento de la temperatura, además, significará mayor evaporación y una mayor presión en los recursos hídricos.

Como consecuencia del ascenso de la isoterma de 0° C y la merma en precipitaciones, los **glaciares continuarán retrocediendo** lo que significará pérdida de capacidad reguladora y de la reserva de agua del sistema (Boninsegna y Villalba, 2006).

El complejo panorama de interacciones hace difícil prever un panorama futuro para las amenazas predominantes en Cuyo. En el caso de las **inundaciones**, podría inferirse un cambio en el patrón estacional, con mayores frecuencias en primavera y menores en verano. La relación entre cantidad de nieve y temperatura determinará si habrán diferencias en la intensidad o velocidad de las crecidas. Con la información disponible, no es posible caracterizar las futuras **nevadas**.

En Cuyo, los meses de verano están caracterizados por tormentas intensas que pueden detonar **deslizamientos, inundaciones, granizadas y aluviones** y que se espera que continúen incrementando su frecuencia (SAyDS, 2007:101).

Por otra parte, la menor oferta hídrica produciría un aumento en el **riesgo de incendios** de vegetación y **sequías**.

5. Patagonia

El estudio de la Segunda Comunicación Nacional que aborda la región Patagónica (tal como está definida en el DP), también incluye el sur de La Pampa y Buenos Aires (partidos de Villarino y Patagones).

Al igual que Cuyo, la Patagonia argentina presenta registros de datos históricos discontinuos y escasas estaciones meteorológicas. Esto ha dificultado el establecimiento de tendencias comparables entre diferentes zonas y ha llevado a la necesidad de recurrir a diversas fuentes de datos (Servicio Meteorológico Nacional, EVARSA y 7 estaciones chilenas para completar el estudio (Fernández y Barros; 2006:58). Los datos provenientes de Chile se utilizan como una aproximación a la precipitación nival en la alta cordillera.

A. Cambio y variabilidad climática en el pasado reciente

Tomando como referencia el periodo 1967–1998, se observan tendencias negativas y significativas en las **precipitaciones anuales**, desde el noroeste de la provincia de Neuquén hasta el noroeste de Chubut, con los cambios más marcados a lo largo de la cordillera.

En cambio, en el centro y este de la Patagonia se observan tendencias levemente positivas (Vera y Camilloni, 2006:59), salvo en un área en el sur de Chubut y norte de Santa Cruz, donde la precipitación ha disminuido levemente. Sin embargo, en pocas localidades estas tendencias fueron significativas (Barros, 2006:346) como se puede observar en la figura 5.20.

En el caso de la ciudad de Neuquén, si se considera el período 1967-98, no se observa una tendencia significativa en las lluvias. En cambio, si se analiza el período 1900-98, se destaca una pendiente positiva marcada.

En el suroeste de la Patagonia, las tendencias han sido muy pequeñas, de signo positivo o negativo, pero no significativas, con la excepción de Ushuaia que muestra una importante disminución en las lluvias anuales. En algunas estaciones de la zona costera, se registra una elevada variabilidad interdecadal que dificulta determinar una tendencia clara (Vera y Camilloni, 2006:73)

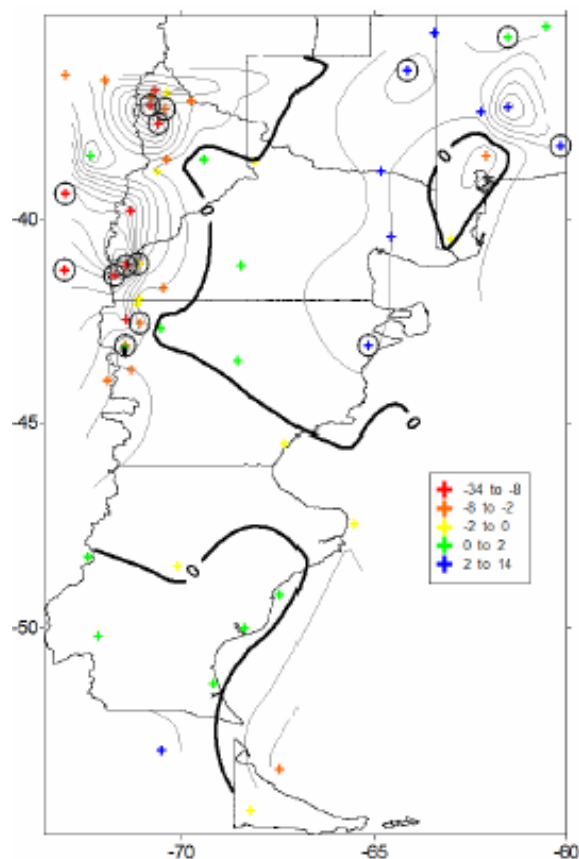
La tendencia a menores precipitaciones en la región cordillerana se explica por un desplazamiento hacia el sur del anticiclón del Pacífico que bloquea el paso de los sistemas provenientes del oeste (Chile) y tiende a reducir las de precipitaciones en el oeste patagónico (Vera y Camilloni, 2006:30).

Las **precipitaciones intensas**, aunque poco frecuentes, generan flujos horizontales de agua que causan remoción en masa y reptación de suelo y son comunes en las ciudades costeras (Puerto Madryn, Comodoro Rivadavia) o asociadas a cursos fluviales -Trelew, Neuquén, Alto Valle de Río Negro- (Del Valle y Coronado, 2006:329).

La frecuencia de **precipitaciones extremas** -aquellos eventos de más de 50 mm/48 horas-, que pueden conducir a inundaciones locales, ha aumentado considerablemente en la región costera, desde Comodoro Rivadavia hacia el

norte. En otras áreas, no se verifican cambios, como en Neuquén, o la tendencia ha sido negativa, como en Esquel (Vera y Camilloni, 2006:81-84).

Figura 5.20: Tendencias en la precipitación calculadas para el período 1967-1998

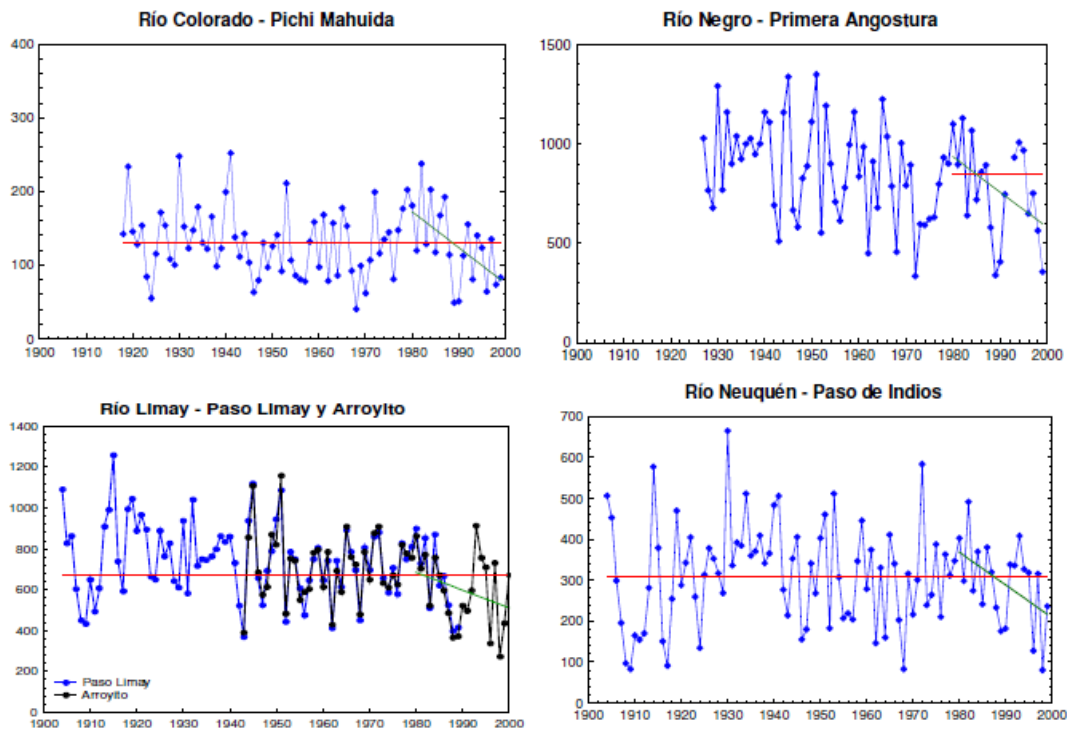


Fuente: Fundación e Instituto Torcuato Di Tella, 2006
Contornos cada 2 mm/año. Círculos denotan significancia al 90%

En relación a los **caudales de los ríos patagónicos**, las tendencias han sido variadas desde inicios del siglo XX. El río Limay muestra una tendencia negativa tanto en su caudal medio anual, como en los caudales máximos y mínimos, para el período 1903-2003. El río Colorado, en cambio, muestra una tendencia positiva en las 3 variables, para el período 1940-2003. Por su parte, el río Neuquén no ha variado su caudal medio pero ha aumentado marcadamente su caudal máximo y disminuido el caudal mínimo. La tendencia creciente en el caudal máximo también se verifica en el río Santa Cruz y podría estar indicando variaciones en los procesos de generación de caudales (Seoane y López, 2006:91)

Si se acota el período de análisis a los últimos 30 años (1974-2003) los **caudales medios** de los principales ríos de la Patagonia norte y central muestran una tendencia negativa, aunque no estadísticamente significativa, en todas las cuencas analizadas (Figura 5.21).

Figura 5.21: Caudales medios anuales (m3/s)



*Promedio para el periodo con información disponible (línea roja); tendencia a partir de 1980 (línea verde). Para el río Limay se incluye la información de 2 estaciones
Fuente: Seoane y Lopez, 2006*

Varios investigadores han encontrado evidencias sobre el aumento, tanto de las **temperaturas medias** (Barros y Scasso, 1994; Hoffmann et al, 1997), como de las máximas y mínimas en la Patagonia (Núñez et al, 2004). Caffera (2005) encontró que el aumento fue de 1° C en la región del Comahue, para el período 1961-2004. En el sur el aumento ha sido mayor a 1° C (SAyDS, 2007:97).

Estacionalmente, las temperaturas medias de primavera y verano han aumentado en casi toda la región, con cambios más pronunciados en el noroeste y la parte sur del litoral. En cambio, las temperaturas medias de otoño e invierno no muestran una tendencia definida. Las mínimas de invierno han aumentado en el noroeste mientras que han disminuido en la zona costera (Fernández y Barros, 2007:45).

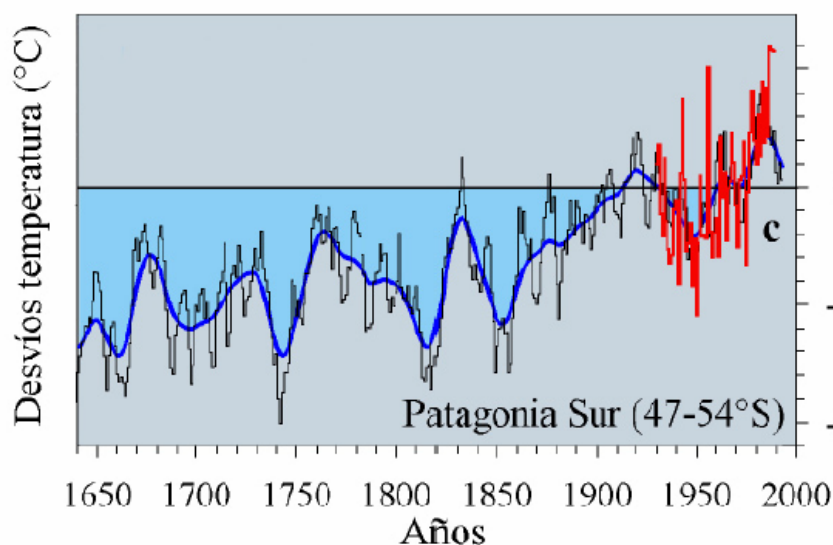
En la parte austral de la Patagonia se produjo un calentamiento más pronunciado. En Río Gallegos, entre 1931 y 1990, la temperatura media anual aumentó 2.5° C (Barros, 2006:325). De acuerdo a estudio paleoclimáticos, las temperaturas en el área sur han venido incrementándose desde 1650 y en 1998 alcanzaron su valor máximo en 350 años (Figura 5.22), (Boninsegna y Villalba, 2006:15).

La **altura de la isoterma de 0° C** se utiliza como un indicador aproximado del límite del hielo y la nieve en la cordillera de los Andes (Fernández y Barros, 2006:46). Estas masas almacenan agua proveniente de la precipitación nival

en invierno y la liberan en verano, por derretimiento (Fernández y Barros, 2006:46).

En las últimas décadas, la altura máxima anual de la **isoterma de 0° C** se ha incrementado marcadamente, salvo en Comodoro Rivadavia donde fue levemente negativa. En el norte de la región, ha ascendido más de 300 metros en 20 años, mientras que en el sur, a la altura de Punta Arenas, el ascenso ha sido de 60 metros, mucho menor, pero también significativo (Fernández y Barros, 2006:49).

Figura 5.22: Aumento de la temperatura desde 1650



Temperaturas medias reconstruidas con anillos de árboles (en azul) y de datos instrumentales (en rojo)

Fuente: Boninseana v Villalba. 2006

Si se consideran las alturas medias mensuales de la isoterma de 0° C, éstas se han incrementado en el norte de la región, desde la década 70`. Hacia el sur, las tendencias son opuestas a partir de los 90` (disminuye la altura media) (Fernández y Barros, 2006:51).

Durante los últimos 20 años, casi todos los **glaciares**, ya sean pertenecientes al campo de hielo o a zonas contiguas, mostraron un retroceso generalizado. Las únicas excepciones son el glaciar Spegazzini, que se considera en equilibrio, pues su frente casi no varía desde 1968 y el Perito Moreno, que muestra un ligero avance entre 1947 y 2005. El comportamiento de estos glaciares estaría asociado a factores ajenos a las variables climáticas, como topografía, ubicación de la zona de desprendimiento, etc. (Seoane y López, 2006:144).

B. Cambios esperados

Los escenarios climáticos futuros para Patagonia fueron elaborados a partir del modelo climático regional MM5/CIMA para la década de 2080, tomando como

referencia el período 1981- 1990 y para los escenarios de emisiones A2 y B2. Además, por medio de la técnica "pattern-scaling", se obtuvieron escenarios para las décadas de 2020 y 2050 (Camilloni y Barros, 2006: 256)

Bajo el escenario A2, se prevén cambios muy pequeños (menos de 37 mm) en las **precipitaciones anuales** para la década 2080 sobre la mayor parte del área de la Patagonia. Estos cambios no son significativos y entran dentro del margen de incertidumbre de las proyecciones (Camilloni y Barros, 2006:259).

En ambos escenarios, pero mucho más marcadamente en el caso del A2, la franja cordillerana muestra fuertes reducciones de precipitación y los descensos serían más pronunciados durante el invierno que en el verano, bajo el escenario A2 (Camilloni y Barros, 2006: 262). Este escenario afecta las cuencas de los ríos Limay, Negro, Colorado y Chubut y aumentaría el **riesgo de incendios de vegetación**, propicios en la región (Del Valle y Coronado, 2006:333)

El centro-norte de la región, por el contrario, muestra un posible aumento de la precipitación. Este alcanzaría + 70 a 150 mm para 2081-90, bajo el escenario A2, lo que implica un aumento del 30% y sería más pronunciado en verano (Camilloni y Barros, 2006: 259). De modo similar, la franja costera muestra una tendencia positiva en las lluvias, aunque en esta, el cambio sería más marcado bajo el escenario B2 que bajo el A2.

En términos generales, los cambios esperados para 2080 son muy pequeños y carecen de importancia, a excepción de la reducción de las lluvias en la zona noroeste, sobre una estrecha franja cordillerana y el aumento en la zona centro-norte (Camilloni y Barros, 2006:263)

En relación a las **precipitaciones intensas**, los modelos climáticos presentan dificultades serias para representarlas en el caso de Patagonia. Para este caso, se propone aceptar la idea de que aumentarían debido al calentamiento global (Maza y Ruiz, 2006: 183), en cuyo caso, podría esperarse un aumento de las **inundaciones y tempestades**.

A través de un modelo de regresión anual se estimaron los **caudales medios anuales** de los ríos Colorado, Negro y Chubut. Los resultados indican disminuciones porcentuales que alcanzan el **32%** en el período 2020-29, 43% en 2050-59 y 42 % en 2080-89 para los ríos Colorado y Negro. En ellos, las mayores reducciones de caudal se darían en los meses de verano. En el caso de estas cuencas, podría esperarse una disminución en la frecuencia de **crecidas**, especialmente en verano, en estas dos cuencas, aunque habrá que observar cómo se compensa con la mayor frecuencia de eventos extremos y cómo se comportan los ríos que más recurrentemente se desbordan (el Limay y el Neuquén).

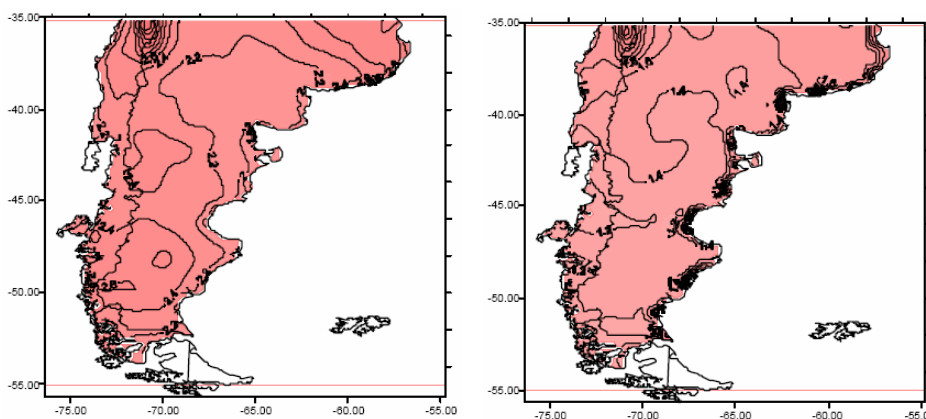
En el caso del río Chubut, las mayores reducciones de caudal serían en invierno para las décadas del 20-29 y 50-59, aunque de todos modos, serían moderadas (reducciones del orden del 20%) y posteriormente, en el 2080-89, se recuperarían un poco. (Seoane y Barros 2006:291).

La disminución en el caudal de los ríos patagónicos implicará una disminución en la generación de energía hidroeléctrica, cuyo impacto no ha sido valorado (Barros, 2006:344). Actualmente cinco presas sobre el río Limay y una sobre el río Neuquén aportan un 26% de la generación total hidroeléctrica del país.

Asimismo, se modeló la **producción de sedimentos** para el escenario A2, en las principales cuencas, ya que éstos pueden producir colmatación de embalses e influir en las inundaciones. Los resultados son dispares, indicando aumentos en el volumen de sedimentos de los ríos Negro (+43.5%), Limay (+5.2%), disminuciones en los ríos Neuquén (13.5%) y Chubut (-13.4%). Se indica entre paréntesis el porcentaje de cambio esperado para 2081-90, con respecto a los valores actuales. (Brea, 2006: 309)

Se prevé un aumento progresivo de la **temperatura media** en toda la región a lo largo del siglo XXI. Para el 2020 se espera que aumente 0.5° C bajo ambos escenarios. Hacia la década de 2080, el cambio es mas marcado bajo el escenario A2 (entre 2 y 3° C), que bajo el B2 (alrededor de 1.5° C) (Camilloni y Barros, 2006:256).

Figura 5.23: Escenarios de aumento de la temperatura media en Patagonia: 2080 en relación a 1981-90. Modelo MM5/CIMA.



Fuente: Camilloni y Barros, 2006

Asimismo, se espera que siga ascendiendo la **isoterma de 0° C**, en la región cordillerana, desde los 30° de latitud hasta el sur. Para la década 2020-30, el ascenso previsto sería de 120 a 200 metros en invierno y de 50 a 80 metros en verano, en la región patagónica (SAyDS, 2007: 100)

El significativo **retroceso de la mayoría de los glaciares** y casquetes de hielo de los Andes patagónicos se debió a la combinación de la disminución en las precipitaciones y el calentamiento atmosférico (Skvarca, 2006:324). Las proyecciones indican que continuaría la misma tendencia (Barros, 2006:325). El retroceso glaciar no impactaría en la **escorrentía de los ríos** del noroeste de la Patagonia –que dependen de la precipitación nival y pluvial-, mientras que sí lo haría en los caudales de los ríos del suroeste. En estos últimos no es posible cuantificar el impacto debido a los escasos registros de datos existentes (327)

Debido al aumento de temperaturas y su relación con los cambios en las lluvias, el **balance hídrico** será más negativo. Las altas frecuencias de **vientos intensos**, combinados con períodos de **sequía** favorecen los incendios de vegetación (tanto antrópicos como naturales) en la Patagonia. La perspectiva de un balance hídrico más negativo podría aumentar el **riesgo de incendio** en

la región. No se tiene información para valorar posibles cambios en las nevadas.

Síntesis y reflexiones finales, con una mirada al futuro y la gestión

Los elevados niveles de incertidumbre asociados a las tendencias climáticas futuras constituyen un fuerte obstáculo para la gestión. Esta incertidumbre está vinculada, por un lado, con la escasez de datos climáticos (más marcada en algunas regiones del país, como en el área cordillerana) que impide tener un panorama más ajustado sobre la variabilidad climática pasada y la situación presente. Por otro lado, los escenarios futuros asumen una serie de supuestos en relación a procesos y variables socioeconómicas que, a su vez, implican ciertos niveles de emisiones de GEI. Como lo afirma el propio IPCC, la posibilidad de que las emisiones evolucionen tal como se las describe, es muy remota (Nakicenovic y Swart, 2000).

Asimismo, los modelos climáticos (tanto los MCG como los de mayor resolución) aún no pueden representar adecuadamente el clima presente y por ende, tampoco el futuro. En nuestro caso, persisten dificultades para representar la precipitación en áreas tan extensas como el centro y norte del país.

Estos niveles de incertidumbre se trasladan, luego, a la simulación o modelado de otras variables que dependen del clima, como el balance hídrico, los caudales de los ríos, los hidrogramas, el retroceso de glaciares, etc.

Además, esta diversidad de variables interactúa, en algunos casos, de manera compleja, incidiendo sobre la frecuencia, magnitud y estacionalidad de las amenazas. Así, por ejemplo, con la información disponible, no es posible estimar qué impactos tendrá la pérdida de la capacidad reguladora de los glaciares en Cuyo, cuál será la dinámica de las crecidas del río Negro con menores caudales pero mayor producción de sedimentos. Tampoco es posible saber que resultará, en términos de amenazas, la reducción de los caudales de la cuenca del Plata, junto con el aumento de precipitaciones intensas y mayores excesos hídricos de mayo a agosto, en la provincia de Buenos Aires.

Aún sin tener en cuenta las interacciones entre estas variables y otras, preponderantes en la evaluación de amenazas sicionaturales, (como los cambios en el uso del suelo, la expansión urbana, la deforestación, la degradación ambiental, etc.), es difícil afirmar con certeza la evolución de las amenazas a futuro.

Adicionalmente, la forma en que están presentados los estudios de la Segunda Comunicación Nacional resulta en ambigüedades o imprecisiones que dificultan la interpretación de las tendencias climáticas. A modo de ejemplo, en relación a las lluvias de verano, el estudio sobre el Litoral-Mesopotamia plantea que disminuirían en el futuro en Santa Fe y Entre Ríos, mientras que el estudio sobre la Pampa bonaerense, plantea que aumentarían en el centro del país. Al no delimitarse el centro, no se puede saber si se complementan o contraponen estos resultados.

Como afirma Castillo Marín, las incertidumbres asociadas a los escenarios futuros *no contribuyen a generar inversiones de adaptación que son costosas y*

difíciles de asumir sin una justificación técnica ampliamente aceptada. A ello hay que agregar, la inestabilidad política e institucional, la falta de información y financiamiento y, por último, el horizonte temporal del cambio climático, fuera de las escalas en las que están acostumbrados a trabajar los tomadores de decisiones, ya que se requiere tomar decisiones sobre eventos que ocurrirán dentro de varias décadas (Castillo Marín, 2007).

En términos generales, puede decirse que durante el siglo XXI, se espera un aumento generalizado de las temperaturas medias anuales, más acentuado en el norte del país. Los mayores incrementos, se esperan para primavera e invierno en casi todo el territorio, aunque en Patagonia serían más marcados en verano.

La tendencia futura de las precipitaciones medias anuales es más incierta, especialmente hacia el norte, con disparidad en los resultados de los modelos. Aparentemente, aumentarían las lluvias en la provincia de Buenos Aires y también en un área hacia el centro-norte de la Patagonia. En cambio, es más clara la tendencia que indica una disminución de las mismas en la franja cordillerana, al oeste. Asimismo, aparece como clara la tendencia hacia el aumento de precipitaciones intensas u otros eventos extremos, en todo el país.

A partir de la información disponible y suponiendo que se cumplieran todos los supuestos mencionados, se elaboró un cuadro síntesis con los posibles principales cambios en las amenazas para cada región del DP (Cuadro 5.4).

Es interesante notar que en todas las regiones se vería incrementado el riesgo de inundación. En el caso de NEA, NOA y Centro, ha sido el tipo de desastre más recurrente y dañino desde 1970. En el NEA, es el que más muertos, evacuados (más de medio millón en 38 años), viviendas destruidas y afectadas ha ocasionado. En el caso de AMBA, Cuyo y Patagonia, ha sido el segundo tipo de riesgo predominante. A nivel país, las inundaciones han ocasionado la evacuación de más de 1.7 millones de personas desde los 70' y han destruido unas 17.545 viviendas completamente. Se esperaría, entonces, un incremento significativo de estos daños en el futuro, tanto por intensificación o mayor recurrencia de las amenazas como por las tendencias prevalecientes de crecimiento de la población, urbanización y cambios en el uso del suelo.

Para Cuyo y Patagonia, no se puede aseverar nada sobre las nevadas, el tipo de riesgo más recurrente, pues más allá de la disminución prevista en precipitaciones, no se ha analizado su intensidad, un factor clave de la amenaza.

Asimismo, en todas las regiones aumentarían riesgos que ya están presentes y han causado daños significativos en décadas pasadas, como las sudestadas en la costa del Río de la Plata, los aluviones en Cuyo y el NOA; las olas de calor en los centros urbanos, las epidemias en el centro y norte del país; las sequías, los incendios de vegetación y las tempestades en prácticamente todo el país.

Por otra parte, el cambio climático ya está extendiendo la distribución geográfica de enfermedades tropicales infecciosas, como el dengue, especialmente en el norte del país, y la esquistosomiasis en el río Paraná (SAyDS, 2006:107).

En otras palabras, los desastres detonados por las amenazas que se incrementarían en el futuro, han dejado niveles de pérdidas y daños muy significativos en el pasado (como se ha mostrado ampliamente en el capítulo 4). Inundaciones, tempestades, aluviones, sequías, granizadas, incendios forestales, deslizamientos y epidemias han ocasionado, en conjunto, el 94.6% del total de evacuados, el 68% de las viviendas destruidas, el 36.5% de los muertos y el 86% de las hectáreas de cultivos o bosques dañados, debido a desastres ocurridos en los últimos 38 años en Argentina; (Cuadro 5.3).

Cuadro 5.3: Pérdidas (1970-2007) a nivel país, por desastres asociados a amenazas que se incrementarían a futuro

Tipo de desastre	nº registros	Evacuados	Muertos	Viv. Destruídas	Has de cultivos y bosques
INUNDACION	6290	1.769.553	644	17.545	57.643.979
TEMPESTAD	2708	183.922	414	16.084	3.016.750
FORESTAL	649	4.612	71	66	10.367.686
SEQUIA	518	-	13	-	12.244.510
GRANIZADA	341	1.829	7	1.265	56.287
ALUVION	176	14.577	203	1.546	510
DESLIZAMIENTO	68	374	22	53	-
EPIDEMIA	499	-	609	-	-
Total	10.750	1.974.867	1.983	36.559	83.329.721
<i>Porcentaje respecto al total desastres 1970-2007</i>	60,28	94,64	36,52	68,04	85,89

Fuente: elaboración con base en *DesInventar Argentina (1970-2007)*.

Los elevados niveles de pérdidas y daños dan cuenta de una gestión de riesgos de desastres que está muy lejos de ser la adecuada en Argentina. Si se considera que el nivel de adaptación frente a las amenazas actuales es el resultado de la capacidad adaptativa de la sociedad en el pasado (Brooks, 2003), entonces, ésta capacidad ha sido baja, en el caso de nuestro país.

Más allá del incierto pero posible incremento de amenazas que actualmente son recurrentes, es necesario fortalecer y mejorar significativamente la gestión para que sea capaz de manejar, al menos, los riesgos actuales. Frente a la elevada incertidumbre de los escenarios, pero también teniéndolos en cuenta, esto resulta indispensable y urgente.

Aunque la incertidumbre es un obstáculo o limitación para el planteo de obras de infraestructura que requieren cálculos precisos en relación a la recurrencia y magnitud de las amenazas, no lo es para la implementación de otras medidas y políticas que son necesarias abordar. A pesar de los avances, constituyen aún una deuda pendiente aspectos como la planificación del desarrollo y del uso del suelo, tendientes a disminuir los riesgos actuales; el fortalecimiento de las instituciones vinculadas a la problemática, en todos los niveles territoriales –nacional, provincial y, especialmente, local-, la preparación y la planificación de las emergencias y la implementación de sistemas de alerta temprana, entre otras. Cuestiones cruciales, como la participación de las comunidades en la

gestión de riesgos y una educación que aborde el tema, muestran escasos o nulos avances a nivel país o constituyen casos puntuales excepcionales.

Por otra parte, al igual que el riesgo y la vulnerabilidad, la capacidad de adaptación presenta aspectos que son específicos a cada tipo de amenaza (Brooks, 2003). En este sentido, por un lado, es necesario mejorar la red de monitoreo e información climatológica y ambiental que se encuentra muy reducida respecto a épocas pasadas. El proceso privatizador de la década del 90', particularmente de los ferrocarriles, dio inicio a la decadencia de la red nacional de información climática, asociada en gran medida al ferrocarril. Con la disminución drástica del número de estaciones meteorológicas, se perdió la continuidad de series históricas valiosas.

Actualmente, la red de monitoreo climática es muy heterogénea, está formada por subredes públicas y subredes privadas que están desarticuladas entre sí, no son compatibles y son insuficientes, especialmente fuera de la región pampeana. (Celis y Forni, 2008)

Por otro lado, sería conveniente no sólo lograr que los estudios sobre vulnerabilidad al cambio climático sean plenamente comparables entre sí sino también que abarquen la totalidad del país con similares niveles de profundidad. La Segunda Comunicación no incluye, por ejemplo, un estudio específico sobre el NOA.

Centrándonos en una prospectiva de las amenazas y dejando de lado otros factores socio-económicos y ambientales, en la Segunda Comunicación Nacional, sólo el estudio sobre la costa del Río de la Plata provee un análisis de las amenazas más integrado en el que se identifican los diversos detonantes de las inundaciones, sus pesos y su dinámica. El resto de los estudios, en términos generales, es más vago, pues presentan cambios aislados en caudales, precipitación o evapotranspiración pero estos no son analizados en conjunto para un determinado territorio y en términos de su significado en la generación del riesgo de desastres y, en particular, el de inundación. Así, por ejemplo, el estudio sobre el litoral, indica una reducción de los caudales de los cursos locales pero no en la escorrentía de los grandes ríos, como el Paraná y Uruguay que son los que más han incidido en las inundaciones y sobre lo que no profundiza. El estudio sobre Patagonia, por ejemplo, indica una reducción del caudal del río Negro del 42% para 2080-89 con un aumento simultáneo en la producción de sedimentos del 43.5% pero no indica cómo interactuarán estas dos variables entre sí y con otras, en términos de riesgos.

Es decir, en los futuros estudios sobre cambio climático sería conveniente mejorar los análisis sobre las amenazas futuras, considerando los diversos factores que inciden simultáneamente en ellas y en la generación del riesgo.

En síntesis, si logramos mejorar todos estos aspectos y reducir los riesgos presentes, estaremos en mejores condiciones para enfrentar una intensificación o cambio en las amenazas a futuro, pues, como afirman Kelly y Adger (2000), la capacidad de adaptación a eventos que pueden suceder en el futuro, está determinada, en gran medida, por la capacidad existente para responder a las amenazas actuales.

Cuadro 5.4: Síntesis de los posibles cambios en las amenazas debido al cambio climático

Región	Prospectiva de las amenazas a futuro	Causas que inciden en los cambios en las amenazas
NEA	Aumento del riesgo de inundaciones , tanto de origen pluvial como fluvial	<p>La tendencia de las precipitaciones es espacialmente heterogénea y de alta incertidumbre. Disminuirían en algunas áreas y aumentarían en otras (las áreas son distintas según se considere el escenario A2 o B2). Asimismo, estacionalmente, se prevé que aumenten, en casi toda la región, entre enero y mayo y disminuyan entre junio y noviembre.</p> <p>Aumentaría la frecuencia e intensidad del fenómeno El Niño.</p> <p>Aumentaría la frecuencia e intensidad del sistema convectivo de mesoescala por cambio climático.</p> <p>Los cambios en el uso del suelo y la erosión hídrica han aumentado y acelerado la escorrentía superficial y los caudales pico.</p>
	Aumento del riesgo de sequías	Se espera un mayor déficit hídrico y una reducción de los excesos hídricos que afectaría las 4 provincias.
	Aumento de la frecuencia de olas de calor ; posibles problemas de salud en la población. Aumento del riesgo de plagas y epidemias (como dengue). Aumento en la demanda de agua y energía.	<p>Se espera un aumento de la temperatura media para 2081-90 (entre 2° y 2.5° C, bajo B2 y entre 3.8° y 4.2° C, bajo A2)</p> <p>Proliferación de insectos debido a las mayores temperaturas</p>
NOA	Aumento del riesgo de inundaciones, tempestades y aluviones	<p>Las tendencias de precipitación no serían importantes en ningún sentido, sin embargo los resultados están asociados a alta incertidumbre por errores de los modelos.</p> <p>Se espera que continúe aumentando la frecuencia de eventos extremos.</p>
	Aumento del riesgo de sequías y de incendios de vegetación , especialmente en invierno.	Aumento de temperaturas de más de 1° C para 2020-40. Al no haber incrementos significativos en las lluvias, aumentaría la evaporación y la aridez.
	Aumento del riesgo de epidemias , como el dengue.	Aumento de las temperaturas medias

CENTRO y AMBA	Mayor frecuencia de sudestadas ; mayor altura y extensión de las inundaciones provocadas por éstas (se estima que afectaría al menos a 1 millón de personas)	Aumento en la frecuencia de vientos del sudeste, sumado al aumento del nivel del Río de la Plata
	Aumento del nivel del Río de la Plata; no causaría la inundación permanente de áreas costeras significativas	Elevación del nivel del mar de entre 28 y 50 cm. para 2070.
	Aumento del riesgo de inundación ; mayor alcance territorial de las inundaciones.	El nivel de incertidumbre asociado a las tendencias futuras de precipitación es elevado, además se observa que existe alta heterogeneidad espacial. El balance hídrico para 2081-90 indica mayores excesos hídricos de mayo a agosto, especialmente en la provincia de Buenos Aires, bajo ambos escenarios. Aumento de la frecuencia de precipitaciones intensas. Aumento de la erosión costera por avance urbano sobre la costa.
	Aumento del riesgo de sequías y de incendios de vegetación	Aumento de la temperatura (aproximadamente 3° C bajo el escenario A2 y de 2.3° C bajo el B2, hacia 2080). Sería más marcado en invierno y primavera. Aumento de la evapotranspiración sin un aumento significativo en las lluvias.
	Mayor frecuencia de olas de calor en centros urbanos	Ingreso de masas de aire más caliente desde el norte
Cuyo	Podría inferirse un cambio en el patrón estacional de las inundaciones de origen pluvial , con mayores frecuencias en primavera y menores en verano	Adelanto de los picos de máximo caudal y disminución de los caudales del verano debido a un aumento esperado en la temperatura de 1.5° C y una disminución de las lluvias de unos 100 mm para 2021-30.
	Aumento en la frecuencia de deslizamientos, inundaciones, granizadas y aluviones , en verano	Se espera que continúe incrementándose la frecuencia de tormentas estivales intensas
	Aumento del riesgo de incendios de vegetación y sequías .	Menor oferta hídrica en los oasis de Cuyo, particularmente en los ríos San Juan y Mendoza debido a mayores temperaturas, elevación de la isoterma de 0° C y disminución de los caudales de los ríos cuyanos
	Se prevé una pérdida de capacidad reguladora y de la reserva de agua del sistema. Sin embargo, no puede evaluarse su efecto sobre las amenazas con la información disponible.	Retroceso de los glaciares

Patagonia	Aumento del riesgo de incendios de vegetación	Se prevén reducciones en la precipitación en la zona cordillerana (más marcados bajo A2 y durante el invierno) junto con aumentos en la temperatura (entre 3 y 3° C bajo A2 y de 1.5° C, bajo B2) y la persistencia de vientos intensos
	Aumento de inundaciones y tempestades	No hay estudios específicos para Patagonia; los investigadores proponen aceptar la idea de un aumento global en la frecuencia de eventos extremos
	No se afectarían los caudales de los ríos del noroeste pero si a los del suroeste. Con la información disponible, no puede evaluarse su incidencia sobre las amenazas.	Retroceso de los glaciares
	Posibles variaciones en las crecidas de algunos ríos (es difícil evaluar su sentido y magnitud con la información disponible)	Se prevé una reducción en los caudales medios anuales de los ríos Colorado y Negro (-42% para 2050-59), más marcada en verano y en el río Chubut (-20%), más marcada en invierno. Cabe aclarar que la mayoría de los desbordes de ríos se han producido en invierno en esta región. No se evaluaron los caudales de los ríos Limay y Neuquén que son los que más inundaciones han provocado desde 1970. Se prevé un aumento en la producción de sedimentos de los ríos Negro, Limay y Colorado y una reducción de los mismos para el río Chubut.

Bibliografía

- Barros, V., Clarke, R. & Silva D., P. (Edit.) (2006). "Cambio Climático en la Cuenca del Plata". CIMA-CONICET-UBA. Buenos Aires. Argentina. 230 pp.
- Barros, V. (2005) "Tendencias climáticas en Argentina". En: "Compilación de los trabajos realizados en Argentina para PNUD", Proyecto ARG/03/01–Contratos de Locación de Obra 48 y 49/2005, Agenda Ambiental Regional, Mejora de la gobernabilidad para el Desarrollo Sustentable.
- Barros, V. (2006) Conclusiones. En: Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa. Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. Cap 15 (342-345)
- Berbery, H., Doyle, M. y Barros, V. (2006). Tendencias regionales en la precipitación. En: Barros, Clarke y Silva Dias (Edit). El cambio climático en la cuenca del Plata. Cap. 5:67-80. CIMA, CONICET, UBA
- Berbery, H., y Barros, V. (2002). The hydrological cycle of the La Plata basin in South America. *J. Hydromet.*, **3**, 630-645.
- Bischoff, S. (2005). "Inundaciones en la línea de la costa" En: Menéndez, A. N. (Director) Vulnerabilidad de la Zona Costera. Informe final. Argentina 2º Comunicación de Cambio Climático. Pp 87-96
- Boninsegna, J. & Villalba, R. (2006). Los escenarios de Cambio Climático y el impacto en los caudales. Documento sobre la oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan en escenarios de Cambio Climático. S AyDS, Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. 26 pp.
- Boninsegna, J. y Villalba, R. (2006). Los condicionantes geográficos y climáticos. Documento marco sobre la oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan. S AyDS, Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. 19 pp
- Brea, D. (2006) "Sedimentos". En: Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa. Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. Cap. 12 (291-317)
- Brooks, N. (2003). Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. Tyndall Centre for Climate Change Research. Working Paper 20 pp.
- Camilloni, I. (2005). "Escenarios climáticos futuros". En "Compilación de los trabajos realizados en Argentina para PNUD", Proyecto ARG/03/01–Contratos de Locación de Obra 48 y 49/2005, Agenda Ambiental Regional, Mejora de la gobernabilidad para el Desarrollo Sustentable.
- Camilloni, I. (2005). Tendencias hidrológicas en Argentina. En: Compilación de los trabajos realizados en Argentina para PNUD, Proyecto ARG/03/01–Contratos de Locación de Obra 48 y 49/2005, Agenda Ambiental Regional, Mejora de la gobernabilidad para el Desarrollo Sustentable.
- Camilloni, I. y Barros, V (2006). "Escenarios climáticos". En: Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa. Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. Cap 11 (252-265)
- Camilloni, I. (2004) Verificación de modelos climáticos globales en el sur de Sudamérica. En: Compilación de los trabajos realizados en Argentina para PNUD, Proyecto ARG/03/01–Contratos de Locación de Obra 48 y 49/2005, Agenda Ambiental Regional, Mejora de la gobernabilidad para el Desarrollo Sustentable.
- Camilloni, I. (2004) Escenarios climáticos futuros. En: Compilación de los trabajos realizados en Argentina para PNUD, Proyecto ARG/03/01–Contratos de Locación de Obra 48 y 49/2005, Agenda Ambiental Regional, Mejora de la gobernabilidad para el Desarrollo Sustentable.
- Canziani et al (1997) Vulnerabilidad de los oasis comprendidos entre 29 S y 36 S ante las condiciones más secas en los Andes altos. Proyecto ARG/95/G/31 –PNUD-SECYT.

- Castillo Marín, N. (2007) Políticas en cambio climático en la Argentina. En: "Tendencias. El cambio climático". Año 1, N° 2 (26-30) Revista de la Universidad Blas Pascal, Córdoba, Argentina.
- Celis, A. y Forni, P. (2008). De las estaciones meteorológicas, los satélites y las boyas oceánicas a la actividad agropecuaria: la red de generación y diseminación de información climática para la región pampeana (Argentina)". En REDES, Revista de Estudios Sociales de la Ciencia. Instituto de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología. Univ. Nac. de Quilmes. Vol. 14, N° 28: 19-46.
- CIMA/CONICET-HIDROESTRUCTURAS SA (2006) "Vulnerabilidad de la Pampa Bonaerense". 113 pp.
- Del Valle H. y Coronado, F. (2006) "Impactos del cambio climático en la zona árida". En: Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa. Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. Cap 13. (324-335)
- Escofet, H. y Menéndez, A. (2004) "Vulnerabilidad de población e infraestructura a mayor intensidad y frecuencia de grandes precipitaciones en ambientes urbanos". En "Compilación de los trabajos realizados en Argentina para PNUD", Proyecto ARG/03/01-Contratos de Locación de Obra 48 y 49/2005, Agenda Ambiental Regional, Mejora de la gobernabilidad para el Desarrollo Sustentable.
- Fernández y Barros, V. (2006) Tendencias climáticas: temperatura. En: Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa. Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. Cap 3 (42-53).
- García, Norberto (2006). Tendencias de cambios climáticos. En UNL-FICH (2007). Vulnerabilidad de los recursos hídricos en el Litoral-Mesopotamia. Tomo II: 100-290.
- González y Penalba, O. (2006). "Patrones de lluvia" En: CIMA-CONICET-HIDROESTRUCTURAS. Vulnerabilidad de la Pampa bonaerense. Informe Final. (4-31).
- IPCC (2003). Cambio Climático 2001: Informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas. Cambridge University Press.
- Kelly, P. & Adger, W., (2000). Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climate Change*, 47: 325-352.
- Maza J y Ruiz A. (2006). "Inundaciones urbanas". En: Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa. Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. Cap 6. (157- 185)
- Menéndez, A. y Re, M. (2005). "Características hidrológicas de los ríos Paraná y de la Plata". En: Menéndez, A. N. (Director) Vulnerabilidad de la Zona Costera. Informe final. Argentina 2º Comunicación de Cambio Climático. Pp 49-74.
- Nakicenovic, N. y Swart, R (Ed) (2000). Escenarios de Emisiones. Resumen para responsables de políticas. Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC. IPCC; PNUMA, OMM. 27 pp
- Nicholls, R.J., Wong, V.R. Burkett, J.O. Codignotto, J.E. Hay, R.F. McLean, S. Ragoonaden and C.D. Woodroffe, (2007). Coastal systems and low-lying areas. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 315-356.
- Núñez, M., Solman, S. y Cabré, M. F. (2009). "Regional climate change experiments over southern South America. II: Climate change scenarios in the late twenty-first century". *Climate Dynamics*. Vol. 32 Issue 7/8: 1081-1095.
- Núñez, M., Solman, S., Menéndez, C., Rolla, A., Cabré, M. F. (2006). Estimación de escenarios regionales de cambio climático mediante el uso de modelos climáticos regionales. Informe Final. 2da Comunicación Nacional de Cambio Climático, Proyecto GEF. BIRF PF 51286 AR. CIMA-CONCET. 21 pp.

- Parry, M. and Carter, T. (1998). Climate Impact and Adaptation Assessment. A Guide to the IPCC Approach. Earthscan Publications Ltd, London, UK. 166 p.
- Pedraza, (2007) "Disponibilidad de agua" En FICH-UNL Vulnerabilidad de los recursos hídricos en el Litoral-Mesopotamia. Tomo II, 296-365.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2007) "Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático" SAyDS, Argentina. 199 pp.
- Seoane R y López P. (2006). "Recursos hídricos y sus tendencias: ríos". En: Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa. Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. Cap 3 (89-146)
- Seoane R. y Barros, V. (2006) "Proyección de los caudales". En: Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa. Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. Cap. 12 (277-291)
- Skvarca, P. "Glaciares". En: Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa. Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. Cap 12 (318-325)
- UNL-FICH (2007). Vulnerabilidad de los recursos hídricos en el Litoral-Mesopotamia. Argentina, actividades habilitantes para la 2da Comunicación Nacional del Gobierno de la República Argentina a las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. TF 51287/AR. Tomo II, 631 pag.
- UNL-FICH (2007). Vulnerabilidad de los recursos hídricos en el Litoral-Mesopotamia. Argentina, actividades habilitantes para la 2da Comunicación Nacional del Gobierno de la República Argentina a las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. TF 51287/AR. Tomo I, 670 pag.
- Vargas, R. y Bischoff, S. (2005) "Precipitaciones" En: Menéndez, A. N. (Director) Vulnerabilidad de la Zona Costera. Informe final. Argentina 2º Comunicación de Cambio Climático. Pp 75-86.
- Vera, C y Camilloni, I. (2006). "Tendencias climáticas: precipitación". En: Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa. Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. Cap. 3 (54-88).

ANEXO Capítulo 5

Cuadro elaborado por la Dirección de Cambio Climático de la SAyDS en relación a algunos estudios realizados para la Segunda Comunicación Nacional

Estudios variables	Vulnerabilidad de los Recursos Hídricos del Litoral	Vulnerabilidad de la Zona costera	Vulnerabilidad de la Pampa Bonaerense	Vulnerabilidad de la Patagonia
Variables clima actual	<p>Frecuencia de precipitaciones diarias sobre 100 mm</p> <p>-Precipitación anual (mm), estacional, media mensual.</p> <p>-Temperaturas medias, máximas medias, mínimas medias: anuales, estacionales, extremas.</p> <p><i>Fuente: SMN y base de datos CRU</i></p>	<p>- Vientos: frecuencia decadal de ocurrencia de vientos del SE y SO; variación interanual de vientos del SE y SO. Índice de intensidad del viento en superficie</p> <p>- Precipitaciones: extremos diarios de precipitación. Existe cierta dificultad para representar las características de los extremos de precipitación diaria, debido a la diversidad en la definición de esa propiedad de la serie.</p> <p><i>Fuente de los datos: SMN; Observatorio Central Buenos Aires (1908-2002) y otras estaciones.</i></p>	<p>-Evolución de la precipitación y de la temperatura para el período 1965-2000, por estaciones</p> <p>-Precipitación: 1912-2000</p> <p>-Temperatura (1931-2000): promedios trimestrales y anuales. Coeficientes de regresión de la tendencia lineal para temperatura media anual y temperatura media trimestral.</p> <p>-Balance hídrico para cada estación (1965- 2000); metodología de Thornthwaite y Matter</p> <p>-Identificación de períodos secos y húmedos de acuerdo al balance hídrico (1965-2000). Detección de períodos con 2 o más meses de exceso y déficit; clasificación según intensidad y duración.</p>	<p>- Temperaturas máximas, mínimas y medias (1961-2000).</p> <p>-Altura de la isoterma 0° C: media, máxima y mínima, anual y mensual (datos de radiosondeos de redes aerológicas de Chile y Argentina; reanálisis NCEPNCAR sobre el meridiano 70° W.(1976-1997)</p> <p>-Precipitación 1967-1998: tendencia anual y estacional.</p> <p>- Eventos extremos de precipitación: 1959-2002</p> <p><i>Fuentes: SMN, EVARSA</i></p>
Variables clima futuro	<p>Temperaturas medias, máximas medias y mínimas medias (mensuales, anuales, estacionales),</p> <p><i>Fuente: MM5 CIMA-UBA y HADCM3.</i></p>	<p>Escenarios A2 (IPCC, 2000). Como referencia se tomó a la década de 1990. Luego se definieron los siguientes escenarios:</p> <p>-Década de 2030, con valor medio y máximo esperado del nivel medio del mar.</p> <p>-Década de 2070, con valor medio y máximo esperado del nivel medio del mar. (Re 2005). El forzante viento se tomó de la simulación del período 1950 - 2099 del modelo HADCM3</p>	<p>-Valores medios estacionales, mensuales y diarios para la precipitación y temperatura.</p> <p>- Se estimó el balance hídrico del suelo para 2081-2090, (escenarios A2 y B2), utilizando la técnica de Thornthwaite y Matter (1955) y las temperaturas y precipitación mensuales</p> <p>-Patrones eólicos (m/seg) mensuales.</p> <p><i>Fuente de los datos: Modelo climático</i></p>	<p>MM5/CIMA para la década 2080. Para obtener cortes temporales previos a la década del 2080 se aplicó la técnica de "pattern-scaling" por medio de la cual se obtuvieron escenarios para las décadas 2020 y 2050.</p>

			<i>MM5/CIMA (escenarios de emisión SRES IPCC A2 y B2)</i>	
Otras variables	<p>a) Evaporación potencial y potencial media estacional (mm).</p> <p>b) Caudales máximos, medios y mínimos anuales de los ríos (m3/seg)</p> <p>c) Crecidas extraordinarias (caudal máximo m3/seg)</p> <p>d) Identificación de periodos de déficit y excesos hídricos.</p> <p><i>Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos y otros organismos provinciales.</i></p>	<p>-Aumento en el nivel del Río de la Plata. (cm/año)</p> <p>-Frecuencia de sudestadas en el Río de la plata con onda de tormenta mayor a 1.60 metros</p> <p>-Niveles de riesgo de inundación: (1905-1993), usando los umbrales definidos por Balay (1961): establece una altura del Río de la Plata de 2,50 m MOP como nivel de alerta, de 2,80 m MOP como nivel de emergencia y de 3,20 m MOP como nivel de evacuación.</p> <p>-Ritmo de avance del frente deltaico del Río Paraná. (mts/año)</p> <p>-Los máximos, mínimos y medios anuales de los caudales diarios del río Paraná en la sección Paraná-Santa Fe</p> <p><i>Fuentes de los datos: SHN, INA, MOSP para el periodo 1905-1959.</i></p>	<p>- Caracterización de inundaciones y sequías, de acuerdo a su intensidad y duración (para cada unos se calculó el exceso o déficit de agua en el suelo)</p> <p>-Hidrogeología: nivel freático medio mensual, trimestral y semestral (en mm), para datos disponibles de los freatímetros, con algunos ajustes.</p>	<p>-Influencia de los fenómenos ENSO y AAO sobre las tendencias de precipitación en Patagonia.</p> <p>-Series temporales sobre caudales</p> <p>Se utilizaron los criterios de Kundzewicz y otros (2005) y la prueba no paramétrica de Mann-Kendall para identificar la tendencia en las cuencas.</p> <p>- Se produj cartografía de las áreas bajo riego.</p> <p>- Evapotranspiración Potencial</p> <p>-Sedimentos por erosión superficial</p> <p>-Puntos de desertificación creciente</p>
Metodología	<p>-Modelo de balance hídrico aplicado. Modela la disponibilidad futura del recurso hídrico.</p> <p>-Estudio de tendencia de temperatura</p> <p>Test de desvíos acumulados (Sneyers, 1975).</p> <p>-Series mensuales de evaporación potencial, calculadas utilizando una versión de la fórmula de Penman, dada por Thom and Oliver (1977).</p> <p>-Análisis de precipitaciones máximas en 1, 3, 5, 7 y 10 días consecutivos en las estaciones pluviométricas; Análisis de frecuencia de las lluvias máximas aplicando el programa estadístico AFMULTI (Paoli, 1996).</p> <p>-Erosión hídrica actual y potencial</p> <p>Se utiliza la Ecuación Universal de</p>	<p>a) Se utilizaron los MCG: HADCM3, ECHAM4/OP4C3, GFDL-R30 y CSIRO-mk2 para reproducir el campo de presión en superficie y la posición de los sistemas de presión.</p> <p>b) Se utilizo el modelo RPP-2D para determinar la influencia de caudales de los tributarios sobre los niveles del Río de la Plata. Se simuló el aumento en el nivel de Río de la Plata y la frecuencia de ondas de inundación, considerando las variables del clima futuro proyectadas por el modelo HADCM3.</p> <p>c) Se implementó un modelo numérico hidrodinámico tridimensional del Río de la Plata y su frente marítimo, (RPP-3D) para estudiar la influencia de los caudales sobre la distribución de la salinidad del Río de la Plata.</p> <p>d) Con el modelo RPP-2D:</p> <p>- se ensayó una situación con un incremento</p>	<p>Con los datos proyectados del Modelo CIMA-MM5, se calcularon índices de excesos y déficit hídricos y se relacionó esta información con la hidrología superficial</p>	<p>-Tendencia de eventos extremos de precipitación; frecuencia de eventos extremos por año.</p> <p>-Tendencias de ocurrencias de eventos de inundación (lluvias mayores a 50 mm/2 días)</p> <p>- Evapotranspiración Potencial (se utilizó la fórmula de Penman-Monteith –FAO).</p> <p>-Proyección de los caudales: se usó un modelo de regresión anual, con los siguientes pasos:</p> <p>a) Estimación de las lluvias anuales y del caudal para el período 1974-1996,</p> <p>b) Estimación del modelo de regresión que relaciona caudal medio anual y precipitación anual.</p> <p>c) Estimación de cambios en el caudal medio en función de los</p>

	Pérdida de Suelos (EUPS), que tiene en cuenta el poder erosivo de las precipitaciones, la erodabilidad de los suelos; el grado y longitud de la pendiente y las prácticas de manejo.	de 25 cm del nivel medio del mar, para estudiar los efectos en las inundaciones. - se ensayaron efectos de cambios en el patrón de vientos sobre el Río de la Plata. - se desarrolló una metodología determinar el peligro de inundación y representar el nivel máximo alcanzado en Bs As., asociado a cada recurrencia		cambios esperados en las precipitaciones y de los coeficientes estimados para el modelo de regresión. d) Desarrollo de un modelo de simulación para estimar el caudal medio para los distintos escenarios del cambio climático.
Resultados	Déficits hídricos medios anuales (mm/año) y excesos hídricos medios anuales (mm/año). -Mapas de riesgo hídrico. -Caracterización de las cuencas y subcuencas hídricas, de acuerdo a su potencialidad y vulnerabilidad. -Hidrogramas de los principales ríos. -Mapas de erosión hídrica potencial.	Zonas costeras bajo anegamiento permanente y zonas con aumento de frecuencia de inundaciones por efectos de las ondas de tormenta. Zonas de erosión. Se construyó un SIG con la evaluación de la línea de costa, identificándose zonas de avance y retroceso.	Déficits hídricos (mm/mes) y excesos hídricos (mm/mes). Se caracterizan impactos socioeconómicos. Se describen los posibles cambios en los patrones de vientos.	-Evolución de la oferta y demanda de los recursos hídricos superficiales -Estimación de los caudales de los principales ríos -Otros resultados son mayormente descriptivos

Fuente: DCC, SAyDS, 2008.