

MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Escenarios hidrológicos de caudales medios del río Paraná y Uruguay

Vicente Barros



NACIONES UNIDAS



MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Escenarios hidrológicos de caudales medios del río Paraná y Uruguay

Vicente Barros



Este documento fue preparado por Vicente Barros, consultor de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y forma parte de los estudios sectoriales realizados en el marco de las actividades del proyecto CEPAL/Estudio regional de la economía del cambio climático (ERECC) en América Latina y el Caribe— iniciativa encabezada por la CEPAL—, en particular, del estudio de la economía del cambio climático en la Argentina, realizado bajo la coordinación de Osvaldo Girardín a nivel nacional y de Jose Luis Samaniego, Director de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL, con la colaboración de Carlos de Miguel, Luis Miguel Galindo, Mauricio Pereira y Karina Martínez. El ERECC contó con el apoyo y colaboración financiera de los Gobiernos de Alemania, Dinamarca, España y el Reino Unido, así como de la Unión Europea y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la organización.

Los límites y los nombres que figuran en los mapas no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Publicación de las Naciones Unidas

ISSN 1564-4189

LC/L.3741

Copyright © Naciones Unidas, noviembre de 2013. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

Índice

Resumen	7
Introducción	9
A. La Cuenca del Plata.....	9
B. Los cambios de caudales observados en la Cuenca del Plata.....	10
C. Necesidad del modelado hidrológico.....	11
I. El modelado hidrológico	13
A. El modelo VIC.....	13
B. Datos geográficos.....	15
C. Datos meteorológicos e hidrológicos.....	16
II. Calibración y validación	19
A. Río Uruguay.....	19
B. Río Paraná.....	21
C. Río Paraguay.....	23
D. Conclusión.....	23
III. Sensibilidad a los cambios climáticos	25
IV. Escenarios hidrológicos	29
A. Clima.....	29
1. Precipitación.....	29
2. Temperatura.....	34
B. Caudales.....	37
1. Río Uruguay.....	37
2. Río Paraná.....	40
IV. Conclusiones	49
Bibliografía	51

Anexo	Apoyo a las actividades de coordinación	53
	Serie Medio Ambiente y Desarrollo: números publicados	55

Índice de cuadros

CUADRO 1	CAUDALES MEDIOS ANUALES EN M ³ /S DEL PERÍODO 1960/1999	9
CUADRO 2	LOS 12 TIPOS DE CUBIERTA VEGETAL CONSIDERADOS EN LA APLICACIÓN DEL MODELO VIC.....	15
CUADRO 3	ESTACIONES DE AFORO.....	17
CUADRO 4	CAUDALES MEDIOS ANUALES OBSERVADOS Y MODELADOS CON DATOS DE PRECIS EN EL PERÍODO 1990-1994 PARA ESTACIONES SOBRE EL RÍO PARANÁ.....	21
CUADRO 5	CAUDALES Y VARIACIONES RELATIVAS, CON RESPECTO AL PERÍODO 1990/1999 EN TRES ESTACIONES ARGENTINAS.....	27
CUADRO 6	ESCENARIOS DE CAUDALES EN SALTO GRANDE Y SUS RESPECTIVAS VARIACIONES PORCENTUALES CON RESPECTO AL PERÍODO DE REFERENCIA	37
CUADRO 7	ESCENARIOS DE CAUDALES EN POSADAS Y SUS RESPECTIVAS VARIACIONES CON RESPECTO AL PERÍODO DE REFERENCIA	41
CUADRO 8	ESCENARIOS DE CAUDALES EN CORRIENTES Y SUS RESPECTIVAS VARIACIONES PORCENTUALES CON RESPECTO AL PERÍODO DE REFERENCIA	44

Índice de gráficos

GRÁFICO 1	MARCHAS DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS Y MODELADOS PARA LA ETAPA DE VALIDACIÓN (1991-1995) EN SALTO GRANDE	20
GRÁFICO 2	MARCHA ANUAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS Y MODELADOS PARA TODA LA SERIE (1990-1999) EN SALTO GRANDE	20
GRÁFICO 3	MARCHA ANUAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS Y MODELADOS (1990-1994) EN JUPIÁ	21
GRÁFICO 4	MARCHA ANUAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS Y MODELADOS (1990-1994) EN INTAPÚ	22
GRÁFICO 5	MARCHA ANUAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS Y MODELADOS (1990-1994) EN POSADAS	22
GRÁFICO 6	MARCHA ANUAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS Y MODELADOS (1990-1994) EN CORRIENTES.....	23
GRÁFICO 7	MARCHA ANUAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS Y MODELADOS (1990-1994) EN ASUNCIÓN.....	24
GRÁFICO 8	ESCENARIOS DE CAUDAL MEDIO ANUAL EN SALTO GRANDE.....	37
GRÁFICO 9	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA DÉCADA 2016/2025 EN SALTO GRANDE PARA EL ESCENARIO A2	38
GRÁFICO 10	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA DÉCADA 2046/2055 EN SALTO GRANDE PARA EL ESCENARIO A2	38
GRÁFICO 11	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA DÉCADA 2046/2055 EN SALTO GRANDE PARA EL ESCENARIO B2	39
GRÁFICO 12	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA DÉCADA 2091/2100 EN SALTO GRANDE PARA EL ESCENARIO A2	39
GRÁFICO 13	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA DÉCADA 2091/2100 EN SALTO GRANDE PARA EL ESCENARIO B2	40

GRÁFICO 14	ESCENARIOS DE CAUDAL MEDIO ANUAL EN POSADAS	41
GRÁFICO 15	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA DÉCADA 2016/2025 EN POSADAS PARA EL ESCENARIO A2	42
GRÁFICO 16	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS, DE LA DÉCADA 2046/2055 EN POSADAS PARA EL ESCENARIO A2	42
GRÁFICO 17	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS, DE LA DÉCADA 2046/2055 EN POSADAS PARA EL ESCENARIO B2	43
GRÁFICO 18	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS, DE LA DÉCADA 2091/2100 EN POSADAS PARA EL ESCENARIO A2	43
GRÁFICO 19	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS, DE LA DÉCADA 2091/2100 EN POSADAS PARA EL ESCENARIO B2	44
GRÁFICO 20	ESCENARIOS DE CUADAL MEDIO ANUAL EN CORRIENTES	45
GRÁFICO 21	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA DÉCADA 2016/2025 EN CORRIENTES PARA EL ESCENARIO A2	45
GRÁFICO 22	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA DÉCADA 2046/2055 EN CORRIENTES PARA EL ESCENARIO A2	46
GRÁFICO 23	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA DÉCADA 2046/2055 EN CORRIENTES PARA EL ESCENARIO B2	46
GRÁFICO 24	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA DÉCADA 2091/2100 EN CORRIENTES PARA EL ESCENARIO A2	47
GRÁFICO 25	HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA DÉCADA 2091/2100 EN CORRIENTES PARA EL ESCENARIO B2	47

Índice de diagramas

DIAGRAMA 1	ESQUEMA DE LA RUTA DE LOS FLUJOS DE AGUA GENERADOS EN LOS PUNTOS DE RETÍCULA	14
------------	---	----

Índice de mapas

MAPA 1	LA CUENCA DEL PLATA	10
MAPA 2	LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES CON DATOS DE TEMPERATURA Y PUNTOS DE CIERRE DE LAS CUENCAS	16
MAPA 3	ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS	17
MAPA 4	CAMBIO DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL PARA EL PERÍODO 2020-2040 RESPECTO DE 1961-2000 PARA EL ESCENARIO A1B, DERIVADO DE UN ENSAMBLE DE 14 MCGS, VERSIÓN 2006	26
MAPA 5	CAMBIO DE TEMPERATURA MEDIA ANUAL PARA EL PERÍODO 2020-2040 RESPECTO DE 1961-1990 PARA EL ESCENARIO A1B, DERIVADO DE UN ENSAMBLE DE 14 MCGS, VERSIÓN 2006	26
MAPA 6	COEFICIENTE DE CORRECCIÓN DE LOS VALORES ANUALES DE PRECIPITACIÓN DEL MODELO PRECIS COMO RESULTADO DE SU COMPARACIÓN CON LOS CAMPOS BASADOS EN DATOS OBSERVADOS EN EL PERÍODO 1960/1990	30
MAPA 7	ESCENARIO DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL PARA EL ESCENARIO A2 EN EL PERÍODO 2020/2029	30

MAPA 8	ESCENARIO DE CAMBIO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL PARA EL PERÍODO 2020/2029, ESCENARIO A2	31
MAPA 9	ESCENARIO DE CAMBIO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL PARA EL PERÍODO 2050/2059 PARA LOS ESCENARIOS A2 Y B2	31
MAPA 10	ESCENARIO DE CAMBIO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL PARA EL PERÍODO 2090/2099 PARA LOS ESCENARIOS A2 Y B2	32
MAPA 11	ESCENARIO DE TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL PARA EL ESCENARIO A2 EN EL PERÍODO 2020/2029	33
MAPA 12	ESCENARIOS DE CAMBIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA MEDIA ANUAL CON RESPECTO AL PERÍODO 1960/1990, PARA EL PERÍODO 2020/2029, ESCENARIO A2	34
MAPA 13	ESCENARIOS DE CAMBIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA MEDIA ANUAL EN EL ESCENARIO A2 Y PARA LA TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL EN EL ESCENARIO B2, PARA EL PERÍODO 2090/2099 CON RESPECTO AL PERÍODO 1960-1990	35
MAPA 14	ESCENARIOS DE CAMBIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA MEDIA ANUAL EN EL ESCENARIO A2 Y PARA LA TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA EN EL ESCENARIO B2, PARA EL PERÍODO 2090/2099 CON RESPECTO AL PERÍODO 1960-1990, MEDIO EN °C.	36

Resumen

Los caudales medios de los grandes ríos de la Cuenca del Plata tuvieron un notable incremento, un 35 % entre 1951-1970 y 1980-1999. Cabe la pregunta si estos cambios de caudales medios se mantendrán durante las próximas décadas en un contexto de cambio climático global. El factor climático más importante es la precipitación media anual, su distribución estacional y regional, pero también es importante la evaporación que depende tanto de la lluvia como de la temperatura.

El modelo PRECIS muestra escenarios con importantes incrementos de precipitación sobre casi toda la cuenca a lo largo del siglo XXI. Pero para la Cuenca del Plata dan en promedio incrementos más moderados, y algunos de ellos reducciones. Por su parte, el modelo hidrológico VIC (Variable Infiltration Capacity) que representa muy bien los caudales en el río Uruguay, su comportamiento no es tan bueno en la cuenca superior del Paraná, pero mediante ajustes empíricos se logró reproducir los valores medios y el hidrograma medio anual. Aún con estos ajustes no es capaz de representar los caudales del río Paraguay, el cual es de difícil modelado por la baja pendiente que domina su cuenca.

En el caso del río Uruguay, en un escenario de calentamiento moderado no habría mayores cambios en los caudales y éstos disminuirían en un 15 % hacia fin de siglo. Por el contrario, si se acepta el escenario climático PRECIS con aumentos de lluvia, que no estarían totalmente compensados por mayor temperatura, los caudales aumentarían a partir de 2026-2035 desde un 25 % a un 57 %, variando según décadas y escenarios.

En el caso del Paraná la brecha entre extremos es aún mayor. El estudio de sensibilidad para Posadas, que ofrece mayor confiabilidad que Corrientes, va de una reducción del 7 % para un calentamiento moderado hasta 25 % en un escenario más cálido, posible a fin de siglo. A su vez, los resultados derivados del modelo PRECIS van de un 25% de aumento en el escenario B2 para el periodo 2026-2035 a un 70 % en el escenario A2 del 2091-2100.

En función de estos resultados, es necesario disminuir las incertezas derivadas de la modelación climática y mejorar la modelación hidrológica, para lograr resultados que permitan avanzar en políticas de planificación a mediano y largo plazo. Es de esperar que la nueva generación de MCGs y de experimentos con modelos de alta resolución permitan reducir las actuales incertidumbres y que incluso puedan arrojar luz sobre procesos climáticos de gran impacto en la Cuenca del Plata, como por ejemplo la variabilidad interanual e interdecadal asociada al fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur.

Introducción

A. La Cuenca del Plata

La Cuenca del Plata es, por los caudales que eroga, una de las más grandes del mundo y con sus 3,2 millones de km² es la quinta en extensión, mapa 1. Las cuencas de los dos ríos, que son los principales tributarios del Plata, abarcan casi toda la cuenca. El Paraná eroga el mayor caudal con un promedio de más de 18.000 m³/s, y el Uruguay unos 5.000 m³/s.

CUADRO 1
CAUDALES MEDIOS ANUALES EN M³/S DEL PERÍODO 1960/1999

Río	Localidad	Caudal
	Ladario	1 359
Paraguay	Asunción	3 360
	Jupíá	6 707
	Itaipú	11 090
Paraná	Corrientes	18 420
Uruguay	Salto Grande	5 227

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Ubicación de las localidades en el mapa 2.

MAPA 1
LA CUENCA DEL PLATA



Fuente: Coronel y Menéndez, 2006.

El Paraná cuenta entre sus afluentes al Paraguay que se destaca por su inmensa cuenca de más de un millón de km² y un caudal medio superior a los 3 000 m³/s, cuadro 1.

La Cuenca del Plata tiene una enorme importancia económica y demográfica para los países que la integran. Su producción agropecuaria es la base no sólo de la alimentación de los mismos, sino también de gran parte de sus exportaciones. La producción de energía hidroeléctrica en los ríos de la cuenca es la más importante fuente de electricidad regional. En consecuencia, los recursos hídricos de esta cuenca son críticos para el desarrollo sustentable y, en un contexto de cambio climático, son fuente de preocupación.

B. Los cambios de caudales observados en la Cuenca del Plata

En las tres últimas décadas del siglo XX, los caudales medios anuales erogados por los ríos Paraguay, Paraná y Uruguay sufrieron un notable incremento (García y Vargas, 1997; Genta et al, 1998; Müller et al, 1998; Pasquini y Depetris, 2007). El caudal medio en conjunto aumentó un 35 % entre 1951-1970 y 1980-1999 (Berbery y Barros, 2002). Como consecuencia, esto trajo beneficios para la generación eléctrica, la navegación y otros usos del agua. Cabe la pregunta si estos cambios de caudales medios se mantendrán durante las próximas décadas ya que la misma magnitud del cambio ocurrido es un indicador de que estos caudales podrían variar también en forma significativa en el futuro.

Parte de ese cambio está relacionado con un simultáneo aumento en las precipitaciones anuales, al menos en la región media y el sur de la cuenca (Castañeda y Barros 1994; Barros et al, 2000; Barros et al, 2008) que entre 1951-1970 y 1980-1999 fue del orden del 16 % (Berbery y Barros, 2002). Este menor incremento porcentual no es de por sí una prueba de que los caudales hayan aumentado por otras causas, ya que en la Cuenca del Plata las variaciones porcentuales en la precipitación resultan amplificadas en los caudales erogados (Berbery y Barros, 2002; Tucci, 2003). Hay evidencias que, tanto en el Pantanal como en la parte superior de la Cuenca del Paraná, el aumento de los caudales se originó en el cambio de uso de suelo; mientras que ese efecto disminuye hacia el sur, donde predomina el del aumento de la precipitaciones en la región media de la cuenca, y desaparece en la parte sur, cuencas del Iguazú y Uruguay (Doyle y Barros, 2009). En el caso del río Uruguay, ello fue también documentado mediante un análisis con el modelo hidrológico distribuido VIC (Saurral et al, 2008), que indica que el aumento de los caudales respondió casi totalmente a las mayores precipitaciones. En refuerzo de lo

mencionado, sobre la parte norte de la cuenca hay que tener en cuenta que la deforestación casi siempre conduce a un aumento del escurrimiento (Sahin y Hall, 1996) y, consecuentemente, del caudal medio de los ríos. Precisamente, en esa región hubo una formidable expansión de la agricultura y la ganadería a expensas de la Mata Atlántica y el Cerrado en Brasil durante las últimas décadas Tucci, 2003. Algo similar ocurrió en el este de Paraguay (Coronel et al, 2006), por lo que es posible que ello haya contribuido al aumento de los caudales observado.

C. Necesidad del modelado hidrológico

El futuro de los caudales de los principales ríos de la Cuenca del Plata dependerá de una serie de factores climáticos y no climáticos. La más importante entre los primeros es la precipitación media anual, pero también su distribución estacional y regional, e incluso las características estadísticas de las lluvias diarias. Casi tan importante es la magnitud de la evaporación que depende tanto de la lluvia como de la temperatura y de su asociación en el tiempo. Entre los factores no climáticos se destaca el cambio de uso de suelo, con impacto directo sobre la escorrentía superficial, e indirecto a través de la modificación de la evapotranspiración.

Esta complejidad hace necesario que la estimación de los caudales futuros requiera de una metodología que incorpore los efectos directos e indirectos de los forzantes principales en forma cuantitativa; es decir, se requiere de un modelado hidrológico de la cuenca.

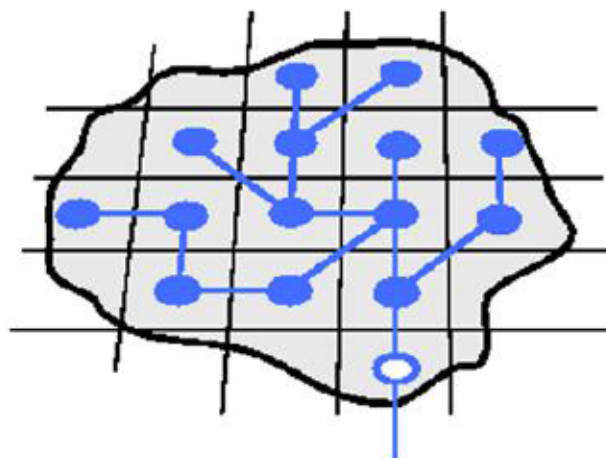
I. El modelado hidrológico

A. El modelo VIC

El modelo distribuido VIC (Variable Infiltration Capacity, o Capacidad de Infiltración Variable), que se usa en este trabajo, fue desarrollado por Liang et al (1994), y aplicado y verificado en una gran cantidad de cuencas de todo el mundo (Lohmann et al, 1998; Cherkauer y Lettenmaier, 1999; Hamlet y Lettenmaier a, b, 1999 y Leung et al, 1999; entre otros), también en la Cuenca del Plata (Su et al, 2005).

El VIC es un modelo distribuido que calcula el escurrimiento sobre una cuenca a partir de la topografía; el drenaje se calcula mediante índices relacionados con el suelo y la vegetación, y la pendiente del terreno. Así se puede simular los caudales en puntos de cierre de las cuencas que integran el escurrimiento generado en todos los puntos aguas arriba. Previamente, el modelo VIC resuelve el balance hidrológico sobre cada elemento superficial mediante la parametrización de los procesos físicos, y tiene coeficientes que permiten su ajuste en cada caso. Algunas variables se obtienen de simplificaciones de los procesos físicos, como los casos de la infiltración y la evaporación que lo hacen a partir de la ecuación de conservación de la masa de agua.

DIAGRAMA 1
ESQUEMA DE LA RUTA DE LOS FLUJOS DE AGUA GENERADOS
EN LOS PUNTOS DE RETÍCULA



Fuente: Saurral, 2007.

El modelo divide a la cuenca a estudiar en una retícula regular que puede variar, según el caso, entre 1/8 y 2 grados de resolución espacial. Representa los procesos hidrológicos no sólo en la superficie sino también en niveles subsuperficiales, por lo que el suelo en el modelo es dividido en 3 capas cuyos espesores pueden variar de acuerdo con las características del mismo. En la superficie se calcula el escurrimiento superficial como resultado del balance hidrológico. Además de escurrir superficialmente, el modelo calcula la infiltración en la primera capa y la percolación en las siguientes de acuerdo con el balance de humedad y los respectivos parámetros de estos procesos. Se calcula también el escurrimiento subsuperficial (con velocidades mucho menores a las del superficial), el que da lugar al flujo base.

El modelo resuelve las ecuaciones de balance hidrológico para cada uno de los puntos de la retícula en cada paso de tiempo. Las variables involucradas en el balance hidrológico son, además de la precipitación, la evaporación desde las capas de suelo, la evapotranspiración, la evaporación desde el agua retenida por la canopia vegetal, el flujo de calor latente, el flujo de calor sensible, la radiación de onda larga y de onda corta, el flujo de calor de superficie, la infiltración, la percolación, el escurrimiento y el flujo base.

Cada punto de retícula se subdivide en porcentajes, en función de los diferentes tipos de cubierta vegetal presentes en la misma. Como la infiltración del agua en el suelo depende de varios factores, entre los que se encuentra el tipo de cobertura vegetal, el modelo tiene una capacidad de infiltración variable en cada retícula, característica que le da el nombre.

Se consideran tres formas de evaporación: desde suelo desnudo, transpiración desde la cubierta vegetal y desde el agua retenida sobre la canopia vegetal. La transpiración desde la vegetación toma en cuenta la profundidad de penetración de las raíces en el suelo usando el agua desde las varias capas del modelo. Para el modelado de los tres tipos de evaporación se emplea la fórmula de Penman-Monteith (Penman, 1948; Monteith, 196; Shuttleworth, 1993), que depende de la radiación entrante en la superficie y de la diferencia entre la presión de vapor de saturación y la presión de vapor del aire.

El modelo tiene la alternativa de ejecución en dos diferentes modos: como balance de agua o de energía. Por las limitaciones de los datos disponibles, se utiliza en este caso el modo de balance de agua. Las variables que produce con cada paso de tiempo, en este caso diario, son evaporación, escurrimiento, flujo base, agua líquida interceptada por la canopia vegetal, contenido de humedad en cada una de las capas de suelo, transpiración de la vegetación, evaporación desde el suelo desnudo y albedo de la cubierta vegetal.

El modelo VIC puede ejecutarse con diferentes pasos de tiempo, pero el de menor resolución temporal es el paso diario. Como los escenarios climáticos PRECIS sólo están disponibles en valores mensuales, solo se pudo hacer una aproximación consistente en asumir que si bien habrá variaciones en los valores medios mensuales en los escenarios futuros, la variabilidad inter diurna no sería muy distinta de la actual. Así se calculó el apartamiento (fracción) diario (diaria del valor medio mensual de la temperatura (precipitación) para cada mes del decenio del 1990/1999) y se sumaron (multiplicaron) a (por) los valores medios mensuales proyectados por el modelo. Si bien este procedimiento puede introducir ciertos errores porque es posible que la variabilidad inter diurna cambie en el futuro, dicho procedimiento no parece ser la mayor fuente de incertidumbre en la proyección del clima para el uso en el modelado hidrológico, tal como se discute en las conclusiones.

B. Datos geográficos

El modelo VIC requiere de datos que incluyen la topografía, el tipo de suelo, la cubierta vegetal y datos meteorológicos. La información topográfica se obtuvo de la base GLOBE (Global Land One-Kilometer Base Elevation), elaborada con información satelital y que tiene datos de altura con una resolución horizontal de 1 km (Hastings et al, 1999). Los datos de tipo de suelo, que siguen la clasificación hecha por la FAO, fueron tomados del Mapa de Suelos del Mundo de la UNESCO. Esta base contiene datos de perfiles verticales de los suelos. También contiene datos de conductividad térmica, pH, capacidad de campo, acidez, punto de marchitez, entre otros. Estos datos están disponibles con una resolución espacial de 0,5 ° x 0,5 °.

Los tipos de cubierta vegetal utilizada para la clasificación de los tipos de vegetación de todo el globo fue la de Hansen et al, 2000. Esta clasificación define 12 tipos de cobertura vegetal, cuadro 2.

CUADRO 2
LOS 12 TIPOS DE CUBIERTA VEGETAL CONSIDERADOS
EN LA APLICACIÓN DEL MODELO VIC

Número	Nombre	Número	Nombre
0	Agua	6	Bosque
1	Selva perenne acicular	7	Pradera arbolada
2	Selva perenne de hojas amplias	8	Terreno de arbustos cerrado
3	Selva decidua acicular	9	Terreno de arbustos abierto
4	Selva decidua de hojas amplias	10	Pradera
5	Bosque mixto	11	Tierra cultivada

Fuente: Hansen et al, 2000.

Esta base de datos tiene una resolución espacial de 1 km y fue construida utilizando datos satelitales en el periodo 1992-1993. Para cada celda del retículo del modelo se especifica el porcentaje de cubierta vegetal de los tipos presentes.

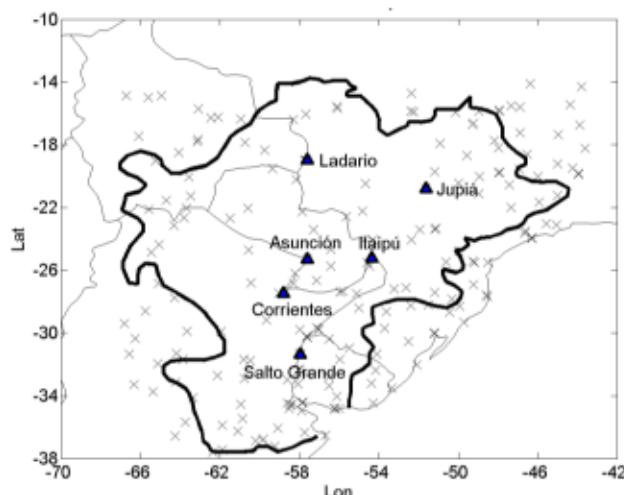
Se elaboró un archivo de suelo donde para cada punto de la retícula se estableció el valor del parámetro de infiltración y los valores del parámetro de difusión de agua en el suelo, de la conductividad hidrológica de saturación, capacidad de campo, entre otros. Todos estos valores fueron obtenidos del Mapa de Suelos del Mundo mencionado anteriormente, o bien calculados una vez determinado el tipo de suelo. En este archivo existen parámetros que pueden modificarse durante la calibración, siendo el parámetro de infiltración el que fue más modificado, porque tiene mayor impacto en los caudales y permite así una calibración del modelo con los caudales observados.

C. Datos meteorológicos e hidrológicos

En su versión de mínimo requerimiento de datos meteorológicos, que es la que se usó debido a las limitaciones de información, el VIC requiere datos diarios al menos de la precipitación, la temperatura mínima y temperatura máxima. La fórmula para el cálculo de la evaporación es dependiente de la presión de vapor y de la radiación; pero cuando, como en nuestro caso, no se cuenta con datos de esas variables, el modelo posee algoritmos para estimarlas a partir de las temperaturas mínima y máxima diarias. Estas aproximaciones se realizan siguiendo las parametrizaciones de Thornton y Running (1999) para la radiación y de Kimball et al (1997) para la humedad.

Los datos de precipitación y temperaturas máximas y mínimas diarios se tomaron del Global Daily Climatological Network (GDCN), del Nacional Climatic Data Center (NCDC) y del Climate Prediction Center del NCEP. Los datos de precipitación fueron enriquecidos con series complementarias directamente obtenidas del Servicio Meteorológico Nacional (Argentina), la Dirección de Meteorología (Uruguay) y de la Agencia Nacional del Agua (Brasil). Los mapas 2 y 3 muestran la distribución espacial de los datos, que es bastante homogénea y representativa en la temperatura y poco balanceada en precipitación. Esta última variable está bien cubierta en el este de la cuenca, pero tiene poca cobertura en el noroeste de la misma.

MAPA 2
LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES CON DATOS DE TEMPERATURA
Y PUNTOS DE CIERRE DE LA CUENCAS

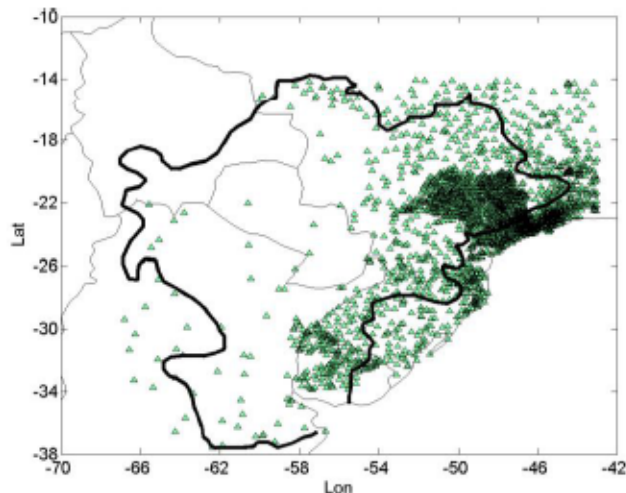


Fuente: Elaboración propia.

Nota: Datos de temperatura (x) y puntos de cierre de las cuencas (▲).

Para validar el modelo se requieren datos de caudales medidos en puntos de cierre sobre algunas subcuencas. En el caso del río Paraguay, se seleccionó Asunción que se encuentra en el lado paraguayo a la entrada del río en la frontera con Argentina. Los datos provienen del Laboratorio de Hidráulica de la Administración Nacional de Puertos y Navegación. En la Argentina se seleccionaron Posadas y Corrientes, esta última inmediatamente aguas abajo de la confluencia de los ríos Paraná y Paraguay y, por lo tanto, integradora de una inmensa cuenca. Por otra parte, aguas abajo de Corrientes, los aportes de los tributarios son muy pequeños comparados con el caudal en esa localidad; por lo cual este caudal es bastante representativo del Paraná hasta su desembocadura. Sobre el río Uruguay, se tomó Salto Grande que es, a su vez, el último lugar con caudales medidos antes de su desembocadura en el Plata y, en general, representativo de los caudales del río aguas abajo. Estos datos están disponibles en: <http://www.mecongovar/hidricos/mapashidricos/mapageneral.htm>, página web de Subsecretaría de Recursos Hídricos.

**MAPA 3
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS**



Fuente: Elaboración propia.

Para validar la cuenca superior del Paraná, se tomaron los caudales regulados de Jupia e Itaipú, los primeros integran la cuenca desde sus nacientes y los segundos en su tramo medio, antes de ingresar a Argentina. El cuadro 3 muestra datos de localización de las estaciones de aforo cuyos caudales se usan en este informe.

**CUADRO 3
ESTACIONES DE AFORO**

Estación	Latitud	Longitud	Río
Asunción	25° 16' S	57° 38' W	Paraguay
Corrientes	27° 27' S	58° 49' W	Paraná
Itaipú	25° 24' S	54° 36' W	Paraná
Jupia	20° 48' S	51° 37' W	Paraná
Salto Grande	31° 19' S	57° 57' W	Uruguay

Fuente: Elaboración propia.

II. Calibración y validación

La calibración del modelo se realizó variando el valor del parámetro de infiltración que, como está también relacionado con el cómputo de la evaporación, modifica el escurrimiento generado. Este parámetro fue modificado hasta alcanzar un valor óptimo de ajuste en los caudales medios anuales.

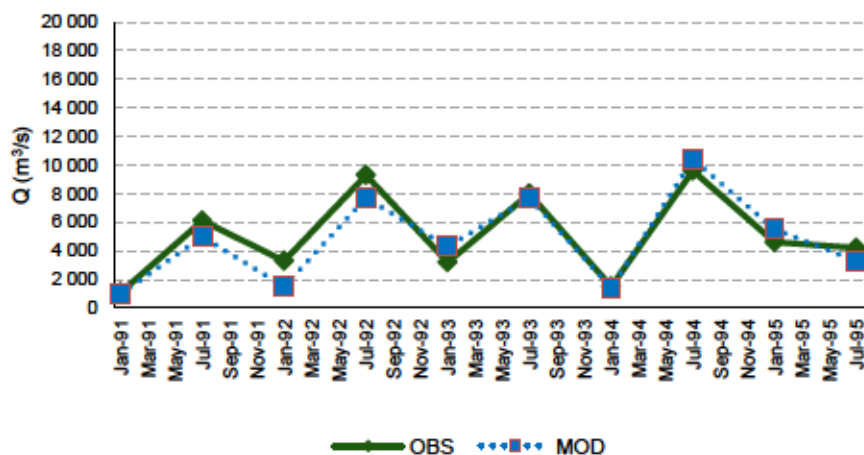
El estimador del ajuste es el muy frecuentemente usado coeficiente NSE propuesto por Nash y Sutcliffe (1970). Un valor de NSE igual a 1 indica un ajuste perfecto, ya que en ese caso los valores observados y modelados son exactamente iguales para cada paso de tiempo. Algunos autores sugieren que valores iguales o superiores a 0,5 indican que la calibración del modelo sería buena (Santhi et al, 2001).

Para validar el modelo así calibrado se utilizó un periodo diferente, de modo de asegurar buenos resultados, independientemente del ajuste a un dado periodo de tiempo. El periodo de calibración elegido fue de 5 años, 1995-1999, y el de validación 1990-1994.

A. Río Uruguay

El ajuste mensual es muy bueno; el valor del NSE durante el periodo de calibración y de validación fue casi el mismo, esto es 0,94 y 0,95; mientras que, consistentemente, el coeficiente de determinación R^2 fue muy alto e igual a 0,94 en ambos casos. El gráfico 5 muestra el ajuste de los caudales mensuales, que en general es muy bueno captando los sucesivos cambios abruptos de los caudales. Igualmente, el pico diario observado en junio de 1992, el más alto del registro histórico con $37.714 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, fue simulado con mucha exactitud ($38.133 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Aunque el máximo mensual de este evento no pudo ser representado con tanta precisión, el modelo tiene un potencial interesante para reproducir las más grandes crecidas que generan inundaciones.

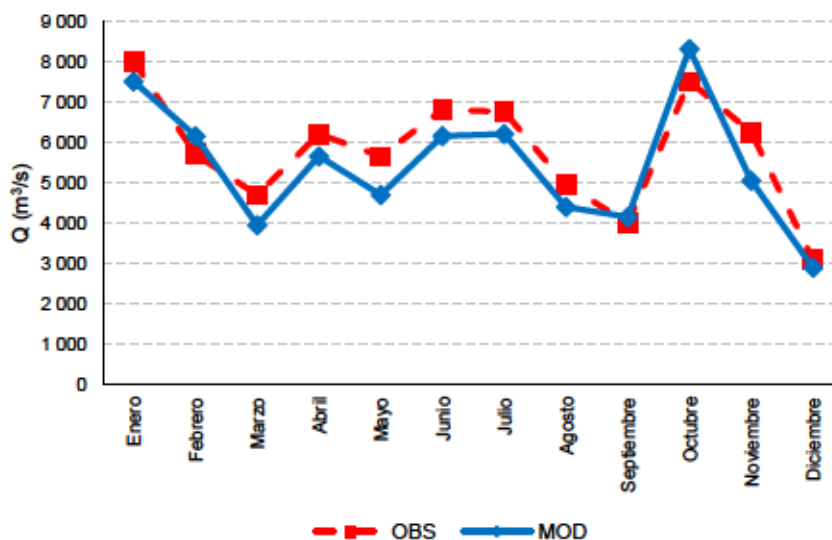
GRÁFICO 1
MARCHAS DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS Y MODELADOS PARA LA ETAPA DE VALIDACIÓN (1991-1995) EN SALTO GRANDE



Fuente: Saurral, 2007.

El gráfico 2 muestra la marcha anual media para ambas series. Se aprecia que la simulación del modelo VIC representa adecuadamente las características básicas del ciclo medio anual.

GRÁFICO 2
MARCHA ANUAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS Y MODELADOS PARA TODA LA SERIE (1990-1999) EN SALTO GRANDE



Fuente: Saurral, 2007.

Se puede concluir que el modelo VIC, con la metodología utilizada, reproduce los caudales mensuales y el ciclo medio anual del río Uruguay, utilizando como entrada del mismo sólo los datos geográficos y climáticos. Es decir que es apropiado para ser utilizado en la confección de escenarios de los caudales del río Uruguay al no agregar incertezas significativas a las que ya tienen los escenarios climáticos. El buen ajuste en caudal implica también que se puede tener alguna confianza sobre otras variables del modelo que no pueden ser validadas por la ausencia de datos, como la humedad en suelo, la evaporación, entre otras.

B. Río Paraná

Los caudales simulados por el modelo VIC y los observados en el Río Paraná fueron comparados a través de sus valores anuales medios y mensuales. Si bien los valores medios anuales mostraron un muy buen ajuste, con diferencias de menos de 5% tanto en el período de calibración como en el de validación, ver cuadro 4, el ciclo anual aparecía siempre amplificado en el modelo respecto al observado. Para resolver este problema se aplicó una corrección empírica, en los datos diarios de los meses extremos (enero a marzo y junio a agosto), a los valores observados en el período de calibración de modo de ajustar las cifras mensuales de esos meses. Los gráficos 3 a 6 muestran el ciclo medio anual para el período de validación en los 4 puntos de cierre del modelo.

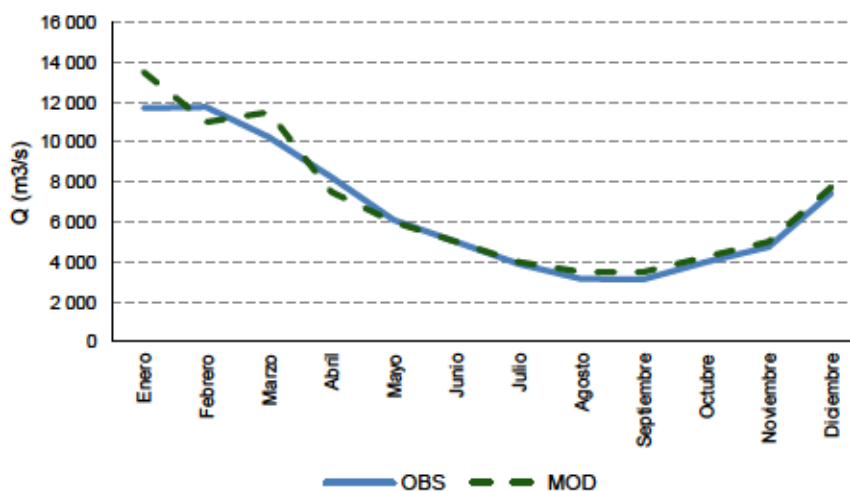
CUADRO 4
CAUDALES MEDIOS ANUALES OBSERVADOS Y MODELADOS CON DATOS DE PRECIS EN EL PERÍODO 1990-1994 PARA ESTACIONES SOBRE EL RÍO PARANÁ

Punto de cierre	Q medio observado (m ³ /s)	Q medio modificado (m ³ /s)	Error porcentual (en porcentajes)
Jupιά	6 700	6 800	-2
Itaipú	12 400	12 500	-1
Posadas	15 900	15 900	0
Corrientes	21 100	21 400	-2

Fuente: Elaboración propia.

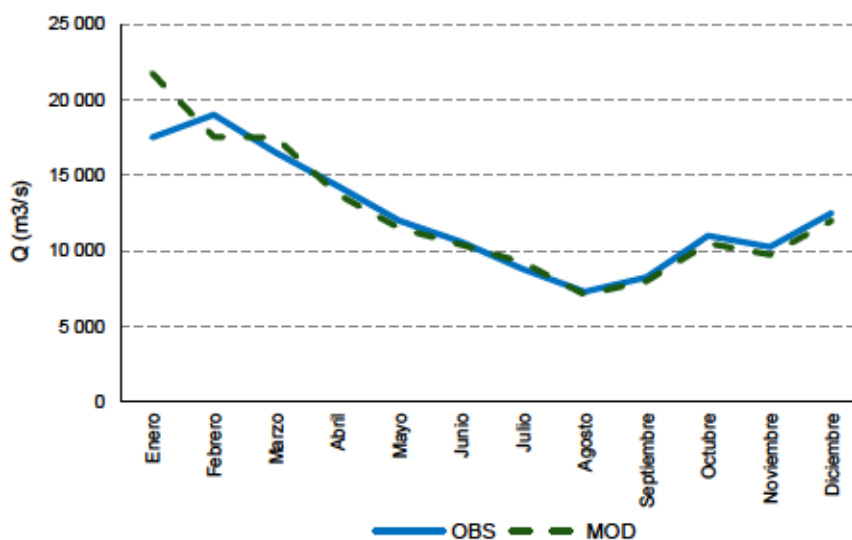
En general, el modelo no simula tan bien los valores mensuales como en el río Uruguay, pero sí parece adecuado para reproducir los caudales medios anuales.

GRÁFICO 3
MARCHA ANUAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS Y MODELADOS (1990-1994) EN JUPIÁ



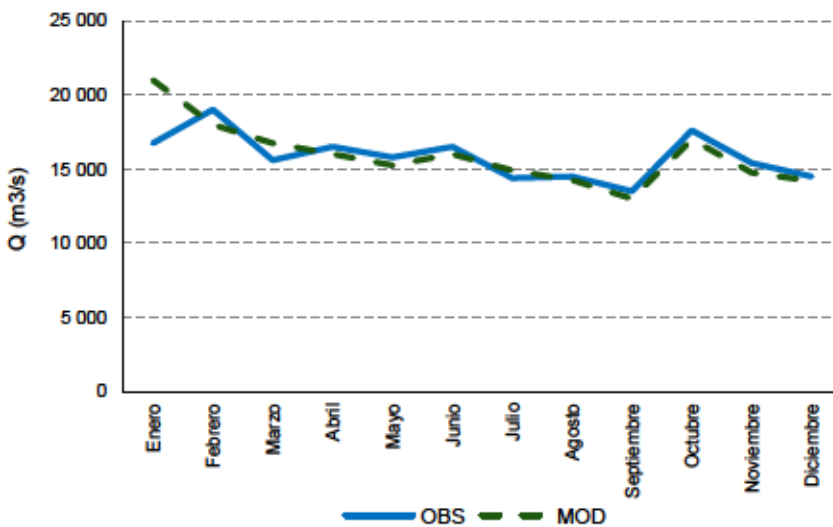
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 4
MARCHA ANUAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS
Y MODELADOS (1990-1994) EN ITAIPÚ
(m³/s)



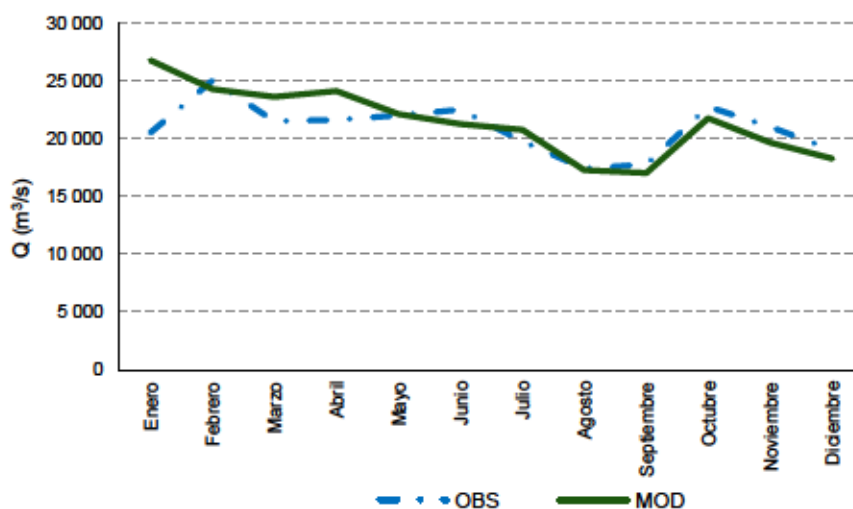
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 5
MARCHA ANUAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS
Y MODELADOS (1990-1994) EN POSADAS
(m³/s)



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 6
MARCHA ANUAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS
Y MODELADOS (1990-1994) EN CORRIENTES
 (m^3/s)



Fuente: Elaboración propia.

C. Río Paraguay

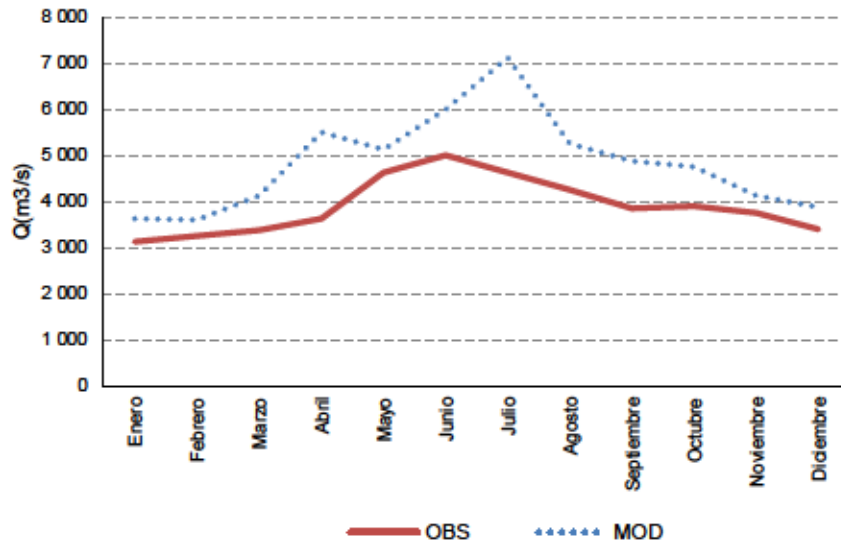
El modelado del río Paraguay es problemático. Ello se debe a una serie de factores. En primer lugar, se dispone de escasa y muy dispersa información meteorológica e hidrológica. A ello se suma que la cuenca es de muy baja pendiente en general, pero mucho más en el Pantanal; por lo cual el escurrimiento es muy lento y difícil de representar por el modelo VIC. El caudal medio del río en Asunción en el periodo de validación es sobrestimado en un 19%, aún después de haber sido calibrado en la forma que lo fue el río Paraná. Tampoco el ciclo anual parece bien representado, gráfico 7.

Por el bajo rendimiento del modelo, no se presentan estudios de sensibilidad y escenarios para este río.

D. Conclusión

La calidad de la validación de los resultados del modelo VIC en los ríos Paraná y Uruguay permite utilizar el modelo para estimar los escenarios hidrológicos del siglo XXI en sus valores medios anuales y en su ciclo medio anual.

GRÁFICO 7
MARCHA ANUAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS
Y MODELADOS (1990-1994) EN ASUNCIÓN
(m³/s)



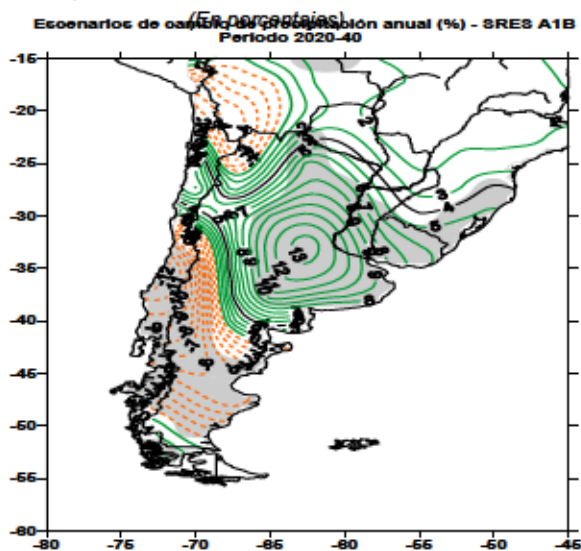
Fuente: Elaboración propia.

III. Sensibilidad a los cambios climáticos

El modelo PRECIS muestra escenarios con importantes incrementos de precipitación sobre casi toda la cuenca a lo largo del siglo XXI. Reproduce en mayor detalle lo que genera el Modelo Climático Global del Hadley Centre. Ello no es lo típico de la mayoría de los MCGs que, para la Cuenca del Plata, dan en promedio incrementos más moderados y, algunos de ellos, reducciones. Como ejemplo de esto se muestra el mapa 4, con el escenario de cambio de precipitación promedio de 14 MCGs. En las zonas central y norte de la Cuenca del Plata, donde se generan la casi totalidad de los caudales, el aumento promedio es pequeño y no significativo por la falta de acuerdo de los modelos en el signo del cambio.

El IPCC, en el capítulo 10 del Informe de Evaluación correspondiente al grupo I, muestra las proyecciones de los Modelos Climáticos Globales para el siglo XXI. El promedio de los cambios de precipitación para el escenario A1B se muestran en su figura 10 12 para el periodo 2080/2099 con respecto a 1980/1999. Allí, a pesar de una cierta incerteza en los límites precisos de los campos por lo pequeño del dibujo se puede apreciar que los cambios en precipitación anual para la Cuenca del Plata serían de 0 a 2 mm/día, es decir de 0 a 70 mm año, esto es bastante menos del 10 % en toda la región y en la zona húmeda menor al 5 %. Es decir, valores concordantes con lo que se presenta en el mapa 4. Por otra parte, en dicha figura, el IPCC no hace referencia a significancia (como en el caso del mapa 4) sino que resalta regiones con valores medios de cambio superiores al desvío estándar entre los distintos modelos, medida mucho menos exigente que la significancia al 5 % aquí mostrada. Para dejar aclarado este punto se muestran las proyecciones de los cambios de precipitación (cociente con respecto al periodo 1960/1990) según 11 modelos climáticos globales para el periodo 2050-2059. Los modelos Hadley que dan predominantemente reducciones han sido verificados como los mejores junto con el ECHAM que da ligeros aumentos y alguna reducción. El IPSL también es bueno y da reducción. La calidad de los modelos en reproducir el campo de lluvia fue analizada por Camilloni, 2007.

MAPA 4
CAMBIO DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL PARA EL PERÍODO 2020-2040 RESPECTO DE 1961-2000
PARA EL ESCENARIO A1B, DERIVADO DE UN ENSAMBLE DE 14 MCGS, VERSIÓN 2006

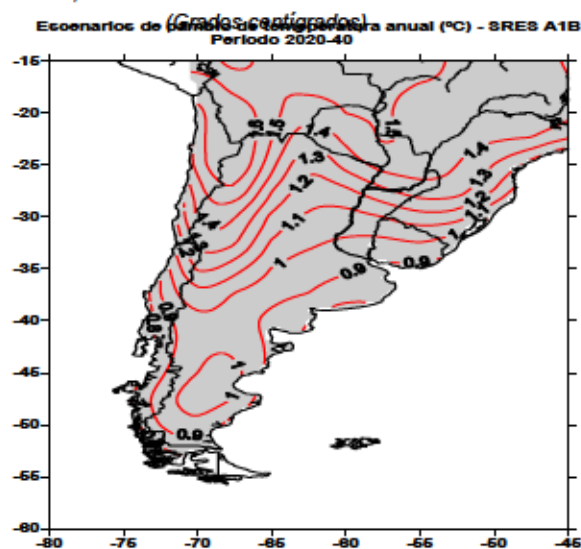


Fuente: Camilloni, 2007.

Nota: Las áreas sombreadas son significativas al 5 %. Los aumentos están indicados con líneas verdes y las disminuciones con líneas rojas cortadas.

Por el contrario, en el caso de la temperatura todos los MCGs muestran para la Cuenca del Plata un marcado calentamiento a lo largo del siglo XXI. El mapa 5 muestra un ejemplo de ello para el horizonte temporal 2020-2040. Es decir que con el conocimiento actual, el escenario más probable sería el de un calentamiento con escasos cambios en la precipitación. Por ello se ha hecho un estudio de sensibilidad con escenarios que mantienen constante la precipitación y aumentan la temperatura.

MAPA 5
CAMBIO DE TEMPERATURA MEDIA ANUAL PARA EL PERÍODO 2020-2040 RESPECTO DE 1961-1990
PARA EL ESCENARIO A1B, DERIVADO DE UN ENSAMBLE DE 14 MCGS, VERSIÓN 2006



Fuente: Camilloni, 2007.

Nota: Las áreas sombreadas son significativas al 5 %.

Para el estudio de sensibilidad y siguiendo los resultados generales que en la región muestran mayores aumentos en las temperaturas máximas que en las mínimas (ver resultados del PRECIS en la sección 5.1.2) se plantean 3 escenarios con los siguientes cambios con respecto al período 1990/1999:

- Escenario 1: con T mín + 1 °C y T máx + 1,5 °C
- Escenario 2: con T mín + 2 °C y T máx + 3 °C
- Escenario 3: con T mín + 3,5 °C y T máx + 5 °C

El cuadro 5 muestra los caudales y los respectivos cambios porcentuales con respecto al período 1990/1999 para los tres escenarios.

CUADRO 5
CAUDALES Y VARIACIONES RELATIVAS, CON RESPECTO AL PERÍODO 1990/1999
EN TRES ESTACIONES ARGENTINAS

Estación	Modelo 1990/1999 (m ³ /s)	Escenario 1 (m ³ /s)	Variación (%)	Escenario 2 (m ³ /s)	Variación (%)	Escenario 3 (m ³ /s)	Variación (%)
Salto Grande	5 900	5 800	- 2	5 400	-8	5 000	-15
Posadas	15 900	14 800	- 7	13 100	-18	12 000	-25
Corrientes	21 100	18 800	-11	16 300	-23	14 700	-30

Fuente: Elaboración propia.

Como era de esperar con la precipitación media constante, los aumentos de temperatura al provocar mayor evaporación disminuirían los caudales. Este efecto es mayor en el Paraná que en el Uruguay, porque en éste el escurrimiento es más rápido y en consecuencia el efecto de la evaporación es menor. En un escenario cercano en el tiempo, como el Escenario 1, las reducciones de caudales en el Paraná ya serían de envergadura, afectando la generación de energía. Con calentamientos como los del Escenario 3, que se registrarían hipotéticamente bajo condiciones no amigables con el clima hacia fin de siglo (ver sección V.A.2), las pérdidas serían importantes.

IV. Escenarios hidrológicos

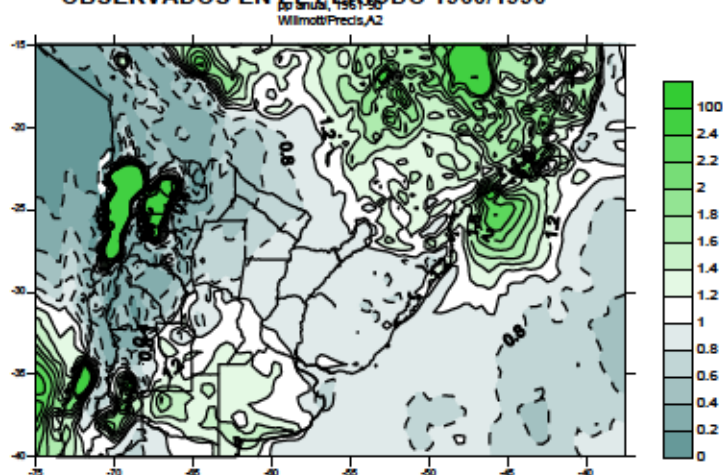
A. Clima

1. Precipitación

Los modelos climáticos a nivel regional pueden presentar errores sistemáticos por lo que se suele reducir los mismos mediante la técnica incremental, que consiste en estimar el error sistemático del modelo para cada punto y mes del año comparando los valores simulados por los modelos con los provenientes de campos derivados de datos observados.

En el caso de la temperatura, el método incremental supone que la diferencia entre la temperatura del periodo con datos y la generada por el modelo se mantendría en el futuro y de esta forma se corrigen los datos producidos por los modelos. En el caso de la precipitación, el método consiste en suponer que lo que se mantiene es el respectivo cociente. De lo contrario, si se usan los datos producidos por los modelos directamente se puede concluir con errores importantes, ya que a veces los modelos tienen errores sistemáticos de hasta el 50 % en la lluvia o de 4 o 5 grados, o más, en las temperaturas máximas y mínimas. El mapa 6 muestra los errores sistemáticos expresados como cocientes en el campo de precipitación media anual del modelo PRECIS con respecto al campo de precipitaciones observadas. Se aprecia que en algunas zonas el error es del 100 % (factor 2) y, en general, muy altos en la parte superior de la Cuenca del Plata, aunque en gran parte de la zona central e inferior de esa cuenca, los errores se encuentran entre menos y más 40 %.

MAPA 6
COEFICIENTE DE CORRECCIÓN DE LOS VALORES ANUALES DE PRECIPITACIÓN DEL MODELO
PRECIS COMO RESULTADO DE SU COMPARACIÓN CON LOS CAMPOS BASADOS EN DATOS
OBSERVADOS EN EL PERÍODO 1960/1990

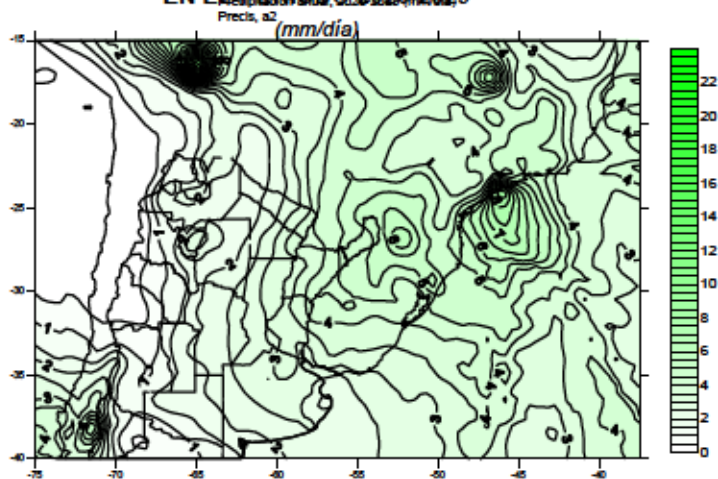


Fuente: Elaboración propia.

Ante estos errores, antes de ingresar al modelo hidrológico se han efectuado las correspondientes correcciones a nivel mensual, tanto para la precipitación como para las temperaturas máximas y mínimas.

El mapa 7 muestra el campo de precipitación media anual proyectado para el periodo 2020/2029 para el escenario A2 y el mapa 8 el respectivo cambio con respecto a condiciones relativamente recientes (1960/1990). Los cambios en general no son muy importantes, estando debajo del 25 % en uno u otro sentido en la Cuenca del Plata. En consecuencia, se puede apreciar que el mapa 7 refleja también el campo observado, lo que hace con bastante aproximación, ubicando el máximo de precipitación y sus valores cerca de la triple frontera entre Brasil, Argentina y Paraguay. Otro máximo relativo se detecta al sur de Chile central, como también un gradiente este/oeste sobre toda la Argentina subtropical, incluso con máximos relativos en las sierras de Tucumán y Salta.

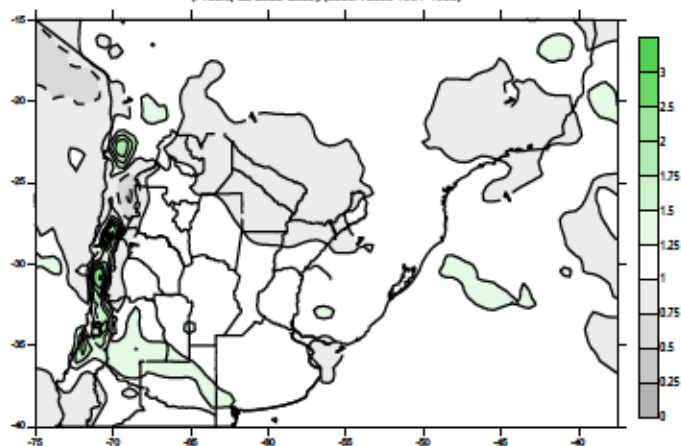
MAPA 7
ESCENARIO DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL PARA EL ESCENARIO A2
EN EL PERÍODO 2020/2029



Fuente: Elaboración propia.

MAPA 8
ESCENARIO DE CAMBIO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL
PARA EL PERÍODO 2020/2029, ESCENARIO A2

(Cociente con respecto al período 1960/1990)
 (Precis. a2 2020-2029)/(observados 1961-1990)



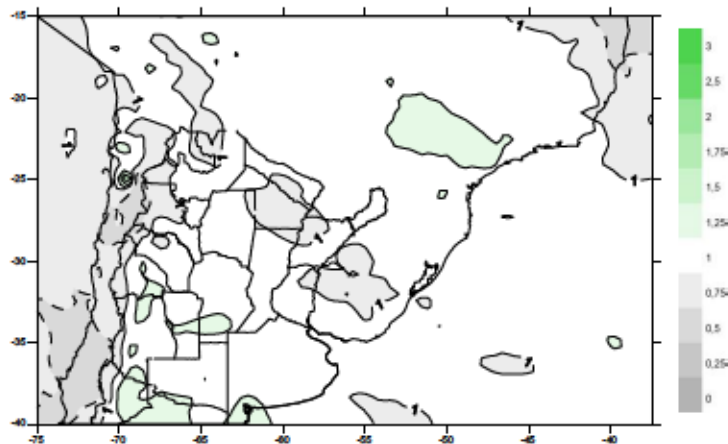
Fuente: Elaboración propia.

En líneas generales, según el mapa 8, la mayor parte de la Cuenca del Plata tendría incrementos de precipitación respecto de las condiciones observadas.

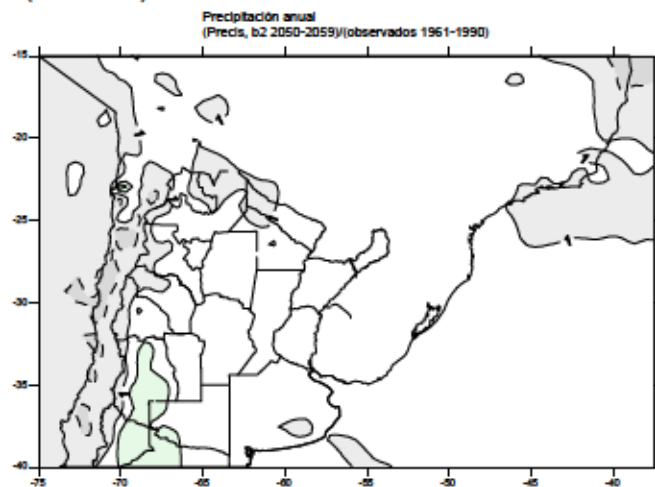
MAPA 9
ESCENARIO DE CAMBIO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL
PARA EL PERÍODO 2050/2059 PARA LOS ESCENARIOS A2 Y B2

(Cociente con respecto al período 1960/1990)

Precipitación anual
 (Precis. a2 2050-2059)/(observados 1961-1990)



Mapa 9 (conclusión)

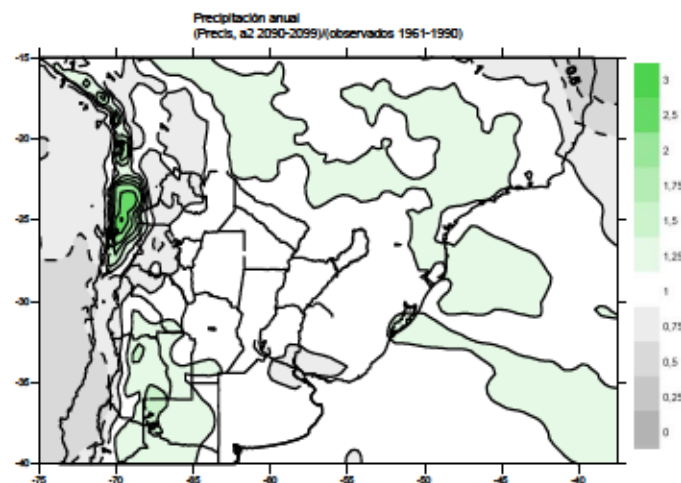


Fuente: Elaboración propia.

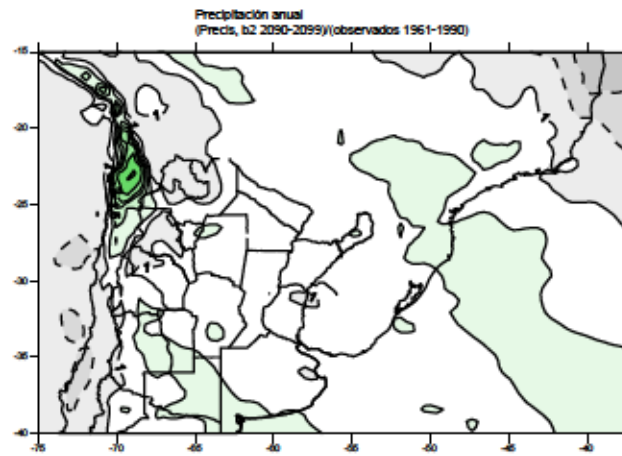
Nota: Panel superior, escenario A2. Panel inferior, escenario B2.

Luego, y hasta mediados de siglo, no habría mayores cambios, manteniéndose la precipitación media anual en valores algo superiores a los del período de referencia. Hasta ese tiempo, los cambios en el escenario B2 son muy similares al A2 como se desprende del mapa 9.

MAPA 10
ESCENARIO DE CAMBIO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL
PARA EL PERÍODO 2090/2099 PARA LOS ESCENARIOS A2 Y B2
(Cociente con respecto al período 1960/1990)



Mapa 10 (conclusión)

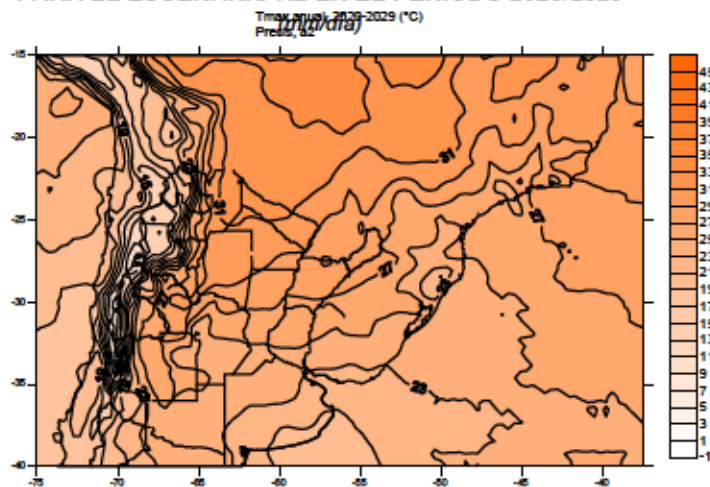


Fuente: Elaboración propia.

Nota: Panel superior, escenario A2 Panel inferior, escenario B.

Hacia fin del siglo, los cambios en la precipitación serían muy pronunciados; en el norte de la cuenca, y especialmente en el escenario A2, habría aumentos generalizados de más del 25 %, mapa 9.

MAPA 11
ESCENARIO DE TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL
PARA EL ESCENARIO A2 EN EL PERÍODO 2020/2029



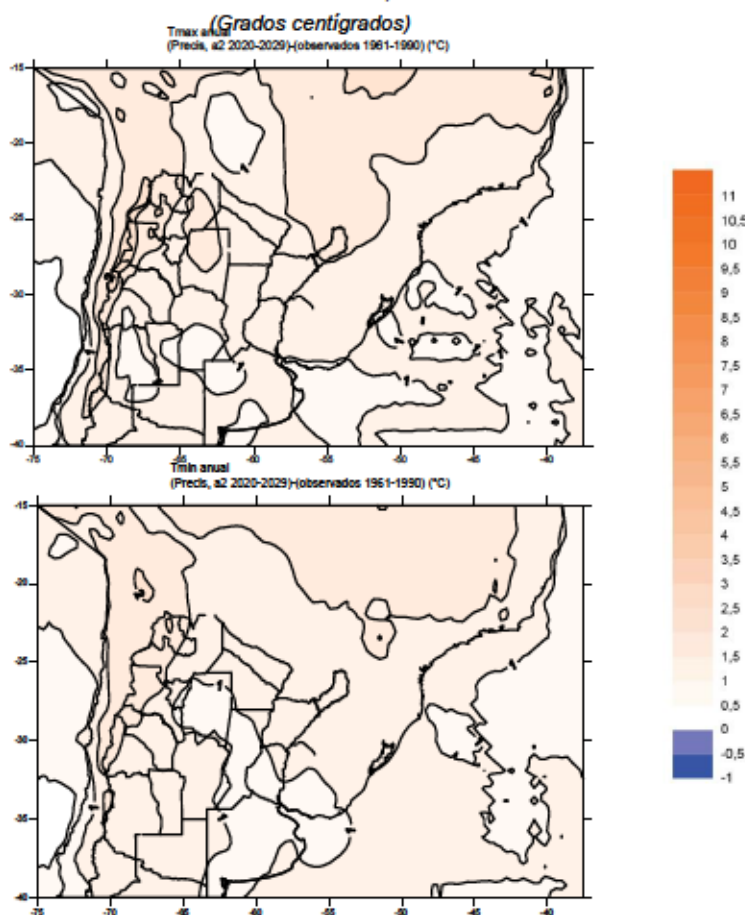
Fuente: Elaboración propia.

2. Temperatura

El mapa 11 muestra el campo de temperatura máxima media anual proyectado para el periodo 2020/2029 en el escenario A2 y el mapa 12, el respectivo cambio con respecto a condiciones de 1960/1990. Se observa un generalizado calentamiento de 1 °C a algo más de 1,5 °C sobre la Cuenca del Plata que no cambia mucho el patrón espacial del campo. En consecuencia, como en el caso de la precipitación, el mapa 10 representa aproximadamente también el campo observado, siendo el mismo bastante realista.

El mapa 12 muestra que la temperatura mínima aumentaría ligeramente, algo menos que la máxima, lo cual se vería con más claridad en el tiempo hasta que, a mitad del siglo, la diferencia en el incremento llegaría a alrededor de un grado y, en algunas zonas, a algo más. En el caso del escenario B2, el aumento en la temperatura máxima media sería algo menor, hasta un grado y medio a mediados de siglo, mapa 13. Estas diferencias relativas de calentamiento entre los escenarios A2 y B2 se acentúan hacia fin de siglo, a la vez que toman valores muy importantes, especialmente en la parte norte de la Cuenca del Plata donde el aumento en la temperatura máxima media anual llegaría, en el escenario A2, a 6°C, mapa 14. Las diferencias entre temperaturas máximas y mínimas también se acentúan pero no mucho.

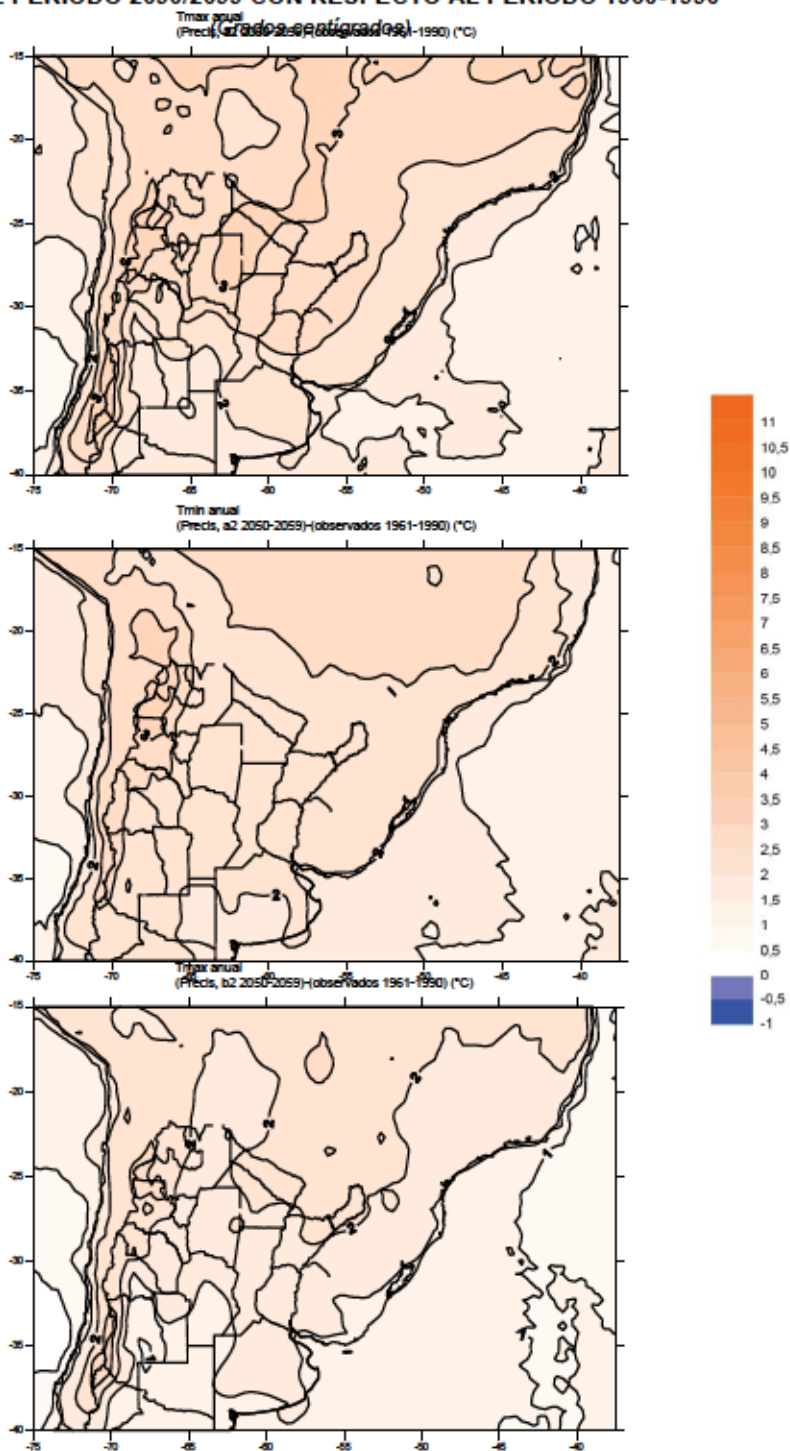
MAPA 12
ESCENARIOS DE CAMBIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA
MEDIA ANUAL CON RESPECTO AL PERÍODO 1960/1990,
PARA EL PERÍODO 2020/2029, ESCENARIO A2



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Temperatura máxima (panel superior) y mínima (panel inferior).

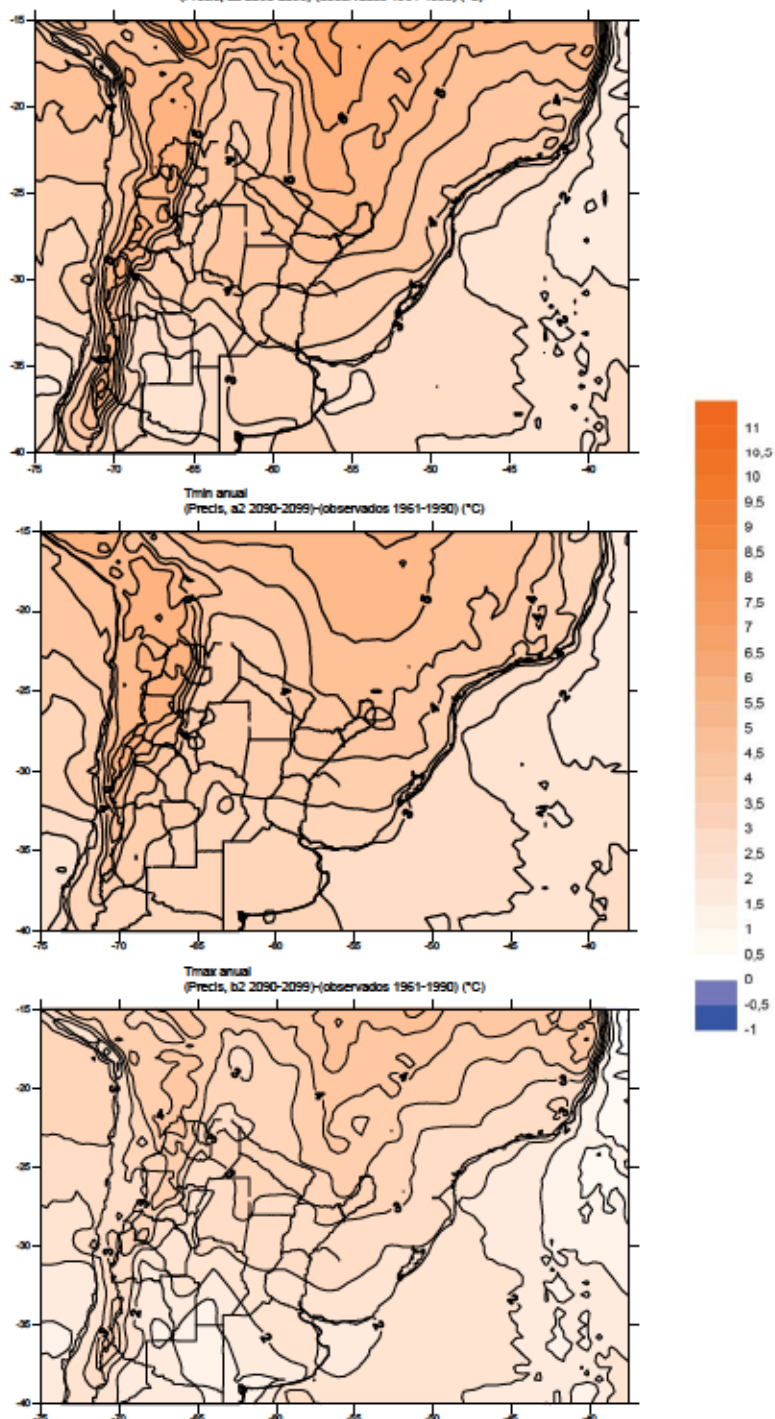
MAPA 13
ESCENARIOS DE CAMBIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA MEDIA ANUAL EN EL
ESCENARIO A2 Y PARA LA TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL EN EL ESCENARIO B2,
PARA EL PERÍODO 2090/2099 CON RESPECTO AL PERÍODO 1960-1990



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Temperatura máxima (panel superior), mínima media anual (panel intermedio) para escenario A2 y en el escenario B2 temperatura mínima (panel inferior).

MAPA 14
ESCENARIOS DE CAMBIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA MEDIA ANUAL EN EL
ESCENARIO A2 Y PARA LA TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA EN EL ESCENARIO B2,
PARA EL PERÍODO 2090/2099 CON RESPECTO AL PERÍODO 1960-1990, MEDIDO EN °C
 (Precis, a2 2090-2099)-(observados 1961-1990) (°C)



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Temperatura máxima (panel superior), mínima media anual (panel intermedio) para escenario A2 y en el escenario B2 temperatura mínima (panel inferior).

B. Caudales

1. Río Uruguay

El modelo PRECIS muestra sobre esta cuenca aumentos de la precipitación y de la temperatura a lo largo de todo el siglo, cuyo efecto en los caudales tendería a compensarse. Sin embargo, el efecto de la precipitación predomina en los caudales, ya que los escenarios muestran aumentos porcentuales que van del 33 %, en el escenario B2 en el 2016/2026, a 57 % en el escenario A2 del 2091/2100, cuadro 6.

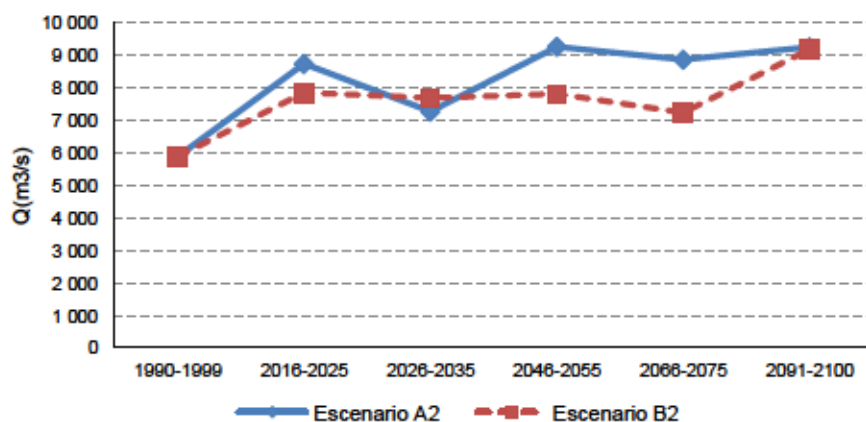
CUADRO 6
ESCENARIOS DE CAUDALES EN SALTO GRANDE Y SUS RESPECTIVAS VARIACIONES PORCENTUALES CON RESPECTO AL PERÍODO DE REFERENCIA

Período	Esc A2 (m ³ /s)	Var (%)	Esc B2 (m ³ /s)	Var (%)
1990-1999	5 874		5 874	
2016-2025	8 724	49	7 840	33
2026-2035	7 261	24	7 679	31
2046-2055	9 251	58	7 798	33
2066-2075	8 857	51	7 220	23
2091-2100	9 233	57	9 170	56

Fuente: Elaboración propia.

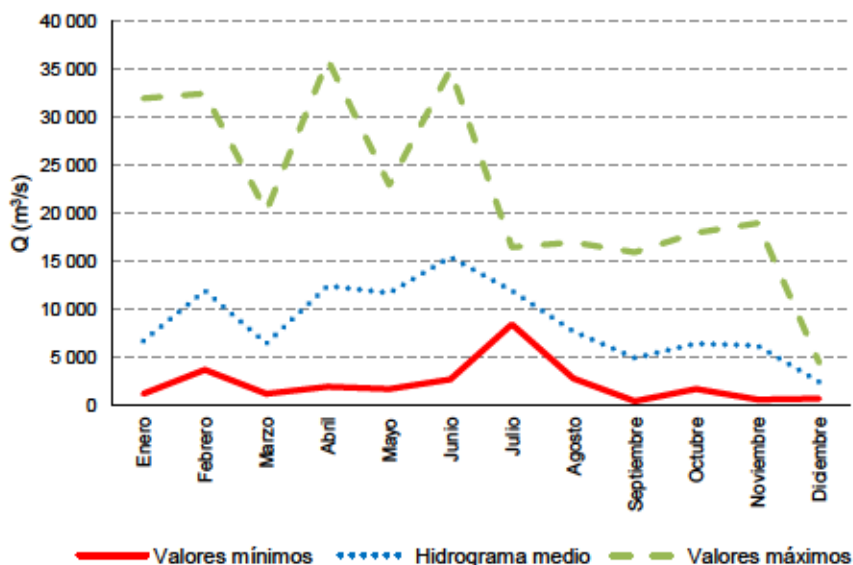
El gráfico 8 muestra estos datos gráficamente para cada década. Se aprecia el aumento persistente de los caudales sin mucha diferencia entre ambos escenarios, probablemente debido a que el mayor efecto de la temperatura en A2 respecto del B2 está acompañado también de mayor precipitación.

GRÁFICO 8
ESCENARIOS DE CAUDAL MEDIO ANUAL EN SALTO GRANDE



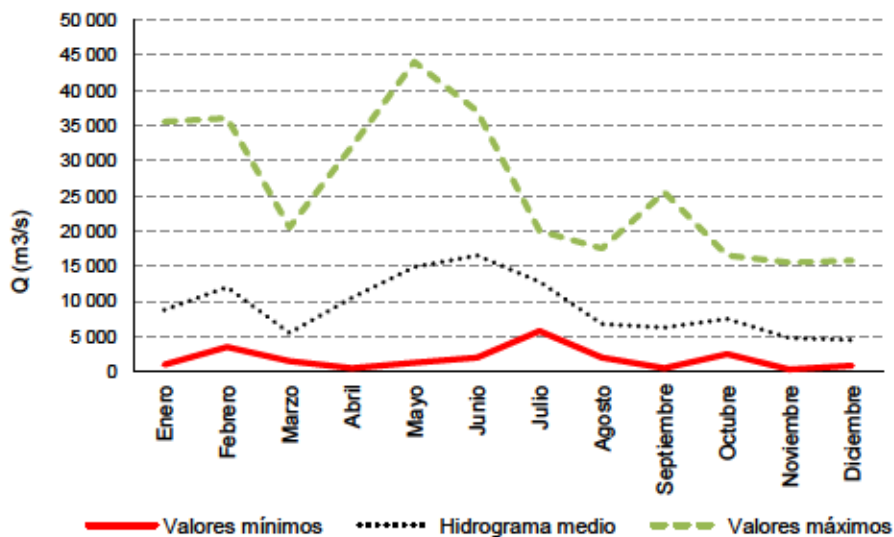
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 9
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS
DE LA DÉCADA 2016/2025 EN SALTO GRANDE
PARA EL ESCENARIO A2



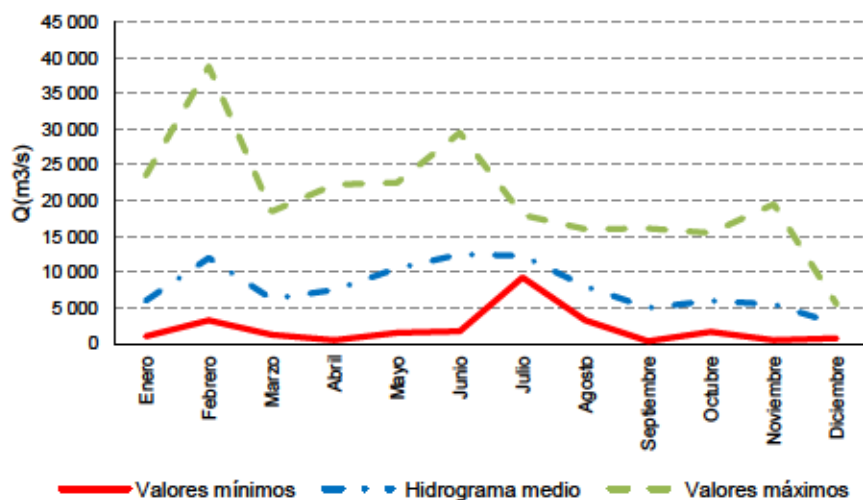
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 10
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS
DE LA DÉCADA 2046/2055 EN SALTO GRANDE
PARA EL ESCENARIO A2



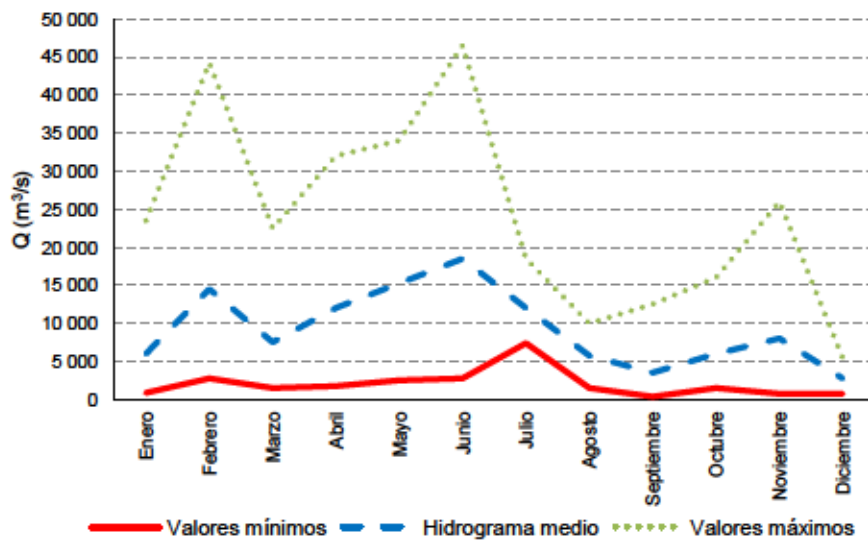
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 11
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS
DE LA DÉCADA 2046/2055 EN SALTO GRANDE
PARA EL ESCENARIO B2



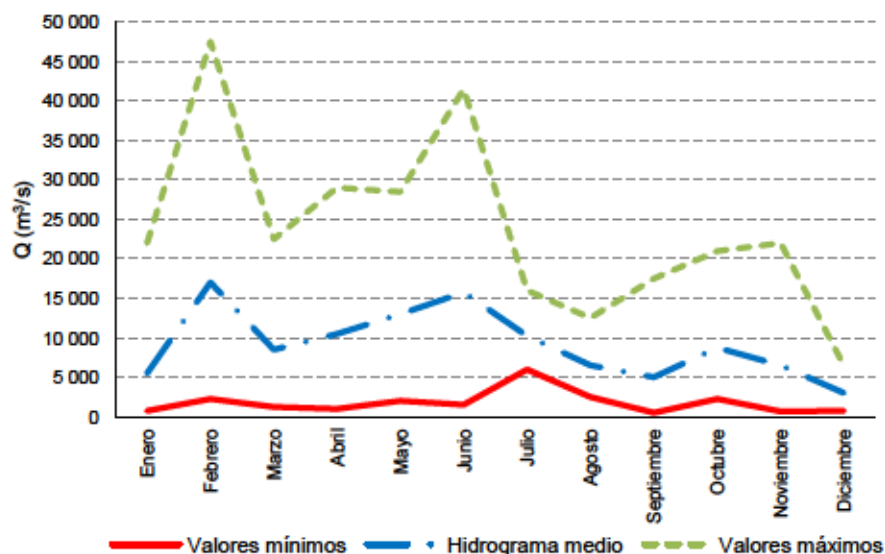
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 12
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS
DE LA DÉCADA 2091/2100 EN SALTO GRANDE
PARA EL ESCENARIO A2



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 13
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS
DE LA DÉCADA 2091/2100 EN SALTO GRANDE
PARA EL ESCENARIO B2



Fuente: Elaboración propia.

En todos los escenarios, el hidrograma de los valores medios muestra un comportamiento similar al observado y modelado por el Modelo VIC para el periodo 1990/1999 hasta el mes de agosto. Sin embargo, también en todos los escenarios desaparece el máximo de octubre del periodo observado, gráfico 1. Ello se debe atribuir a los campos climáticos generados por el PRECIS, que pueden ser reales o no, ya que el modelo VIC representa para el periodo observado con mucha exactitud las variaciones de los caudales medios a lo largo del año. Como consecuencia de este cambio, la aproximada regularidad en los caudales medios a lo largo del año cambiaría hacia un mayor caudal en la primera parte del año, en el que se registrarían mayores aumentos.

A pesar de los notables incrementos en los caudales medios, los caudales mínimos de cada mes para cada década son consistentemente muy bajos y próximos a cero, con la excepción del mes de julio. En el caso de los caudales máximos, tienden a ser muy altos en todas las décadas para los dos escenarios, en febrero y junio, y en general marcadamente mayores en la primera mitad del año con respecto a la segunda. De esta forma, la variabilidad interanual de los caudales mensuales en la primera parte del año crecería junto con los caudales medios.

2. Río Paraná

En este río se presentan escenarios para Posadas y Corrientes. La primera estación recibe los cambios aguas arriba, en el Alto Paraná y en el Iguazú, en territorios brasileño y paraguayo, lo cual es de importancia para la energía hidroeléctrica en el curso argentino - paraguayo por la actual represa de Yaciretá y la eventual futura presa de Corpus. Corrientes suma los caudales del río Paraguay que aportan, en promedio, un 25 % del total. La falta de ajuste del modelo VIC en el caso del Paraguay deteriora en parte la confianza en los resultados en Corrientes; aunque el estudio de validación del VIC mostró que, en los caudales medios, su error era tan sólo del 2 %.

Como en el caso del río Uruguay, el modelo PRECIS muestra sobre esta cuenca aumentos de la precipitación y de la temperatura a lo largo de todo el siglo, pero en general mayores (mapas 6 a 14), cuyo efecto en los caudales tendería a compensarse. También como en el caso del río Uruguay, el efecto de la precipitación predomina en los caudales, ya que los escenarios muestran aumentos porcentuales

que van del 26 %, en el escenario B2 del 2016/2026, a 70 % en el escenario A2 del 2091/2100, cuadro 7. Este aumento extraordinario hacia fin de siglo es el resultado de aumentos en las precipitaciones, entre el 25 % y el 50 % Berbery y Barros (2002) y Tucci (2003) han mostrado que la respuesta porcentual en los caudales de la Cuenca del Plata se amplifica respecto de los cambios en la precipitación hasta factores superiores a 2. Ello se debe a que sólo un 25 % de la precipitación media llega a los ríos, evaporándose el resto. Este efecto es mas notorio donde las pendientes son menores y el escurrimiento es lento, dando lugar a mayor evaporación como en el caso de la Cuenca del Paraguay.

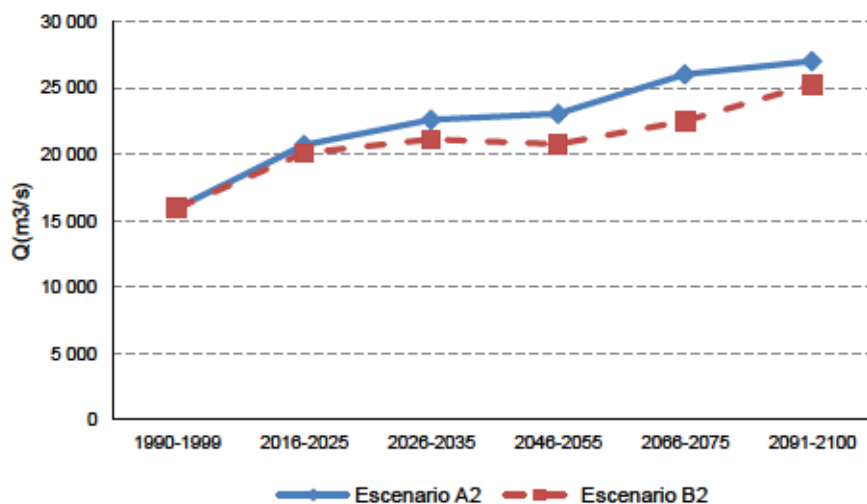
CUADRO 7
ESCENARIOS DE CAUDALES EN POSADAS Y SUS RESPECTIVAS VARIACIONES
CON RESPECTO AL PERÍODO DE REFERENCIA

	Escenario A2 (m ³ /s)	Variación (%)	Escenario B2 (m ³ /s)	Variación (%)
1990-1999	15 929		15 929	
2016-2025	20 695	30	20 098	26
2026-2035	22 592	42	21 121	33
2046-2055	23 043	45	20 757	30
2066-2075	26 012	63	22 494	41
2091-2100	27 007	70	25 269	59

Fuente: Elaboración propia

El gráfico 14 muestra estos datos para cada década. Se aprecia el aumento persistente de los caudales, con poca diferencia entre ambos escenarios, probablemente debido a que, como en el caso del río Uruguay, el mayor efecto de la temperatura en A2 respecto del B2 está acompañado también de mayor precipitación.

GRÁFICO 14
ESCENARIOS DE CAUDAL MEDIO ANUAL EN POSADAS

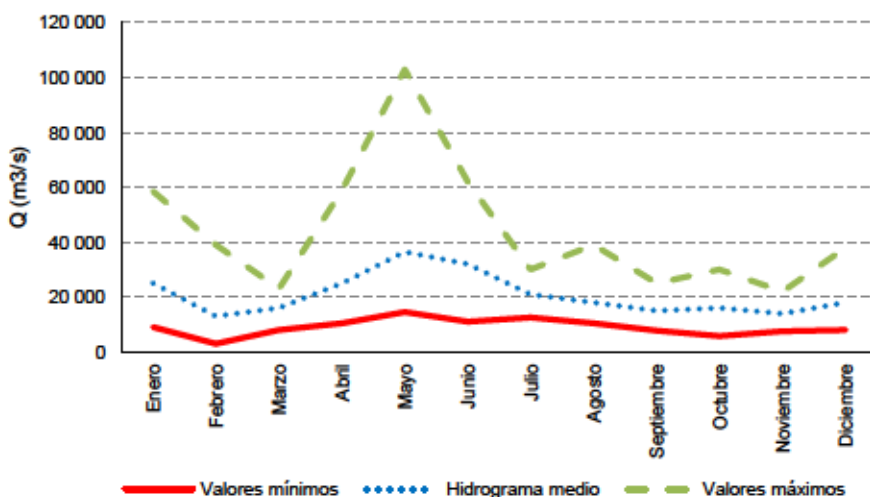


Fuente: Elaboración propia.

Los gráficos 15 a 19 muestran escenarios para el hidrograma medio anual y los caudales medios mensuales, máximos y mínimos, de la respectiva década. Como en el caso del río Uruguay, y por las mismas razones, se presentan algunas de las décadas y escenarios.

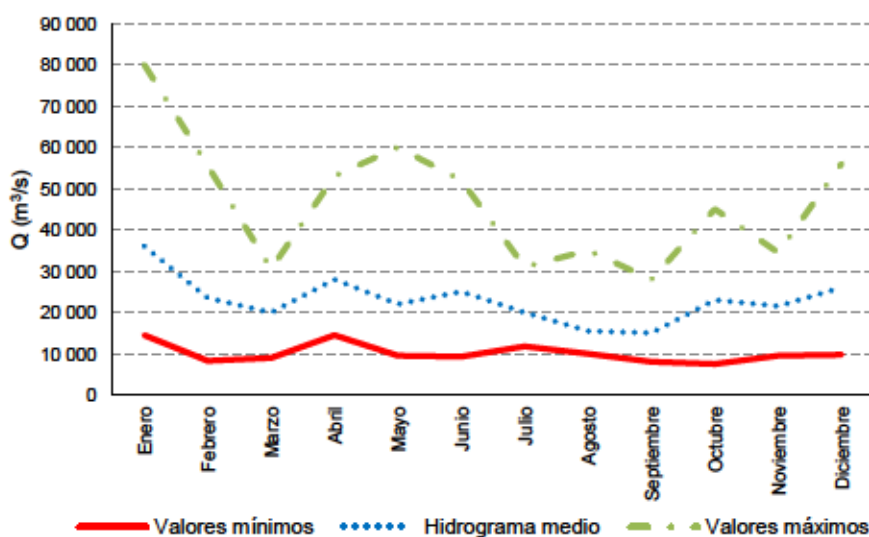
La forma del hidrograma medio del periodo 2046/2055 no es muy distinto del observado en la década de 1980 (Camilloni y Barros, 2000), con escasa variabilidad a lo largo del año. En otros escenarios, incluso para la próxima década de 1916/1925, las diferencias a lo largo del año tienden a incrementarse con un máximo en abril-mayo-junio y uno, menos conspicuo, en enero.

GRÁFICO 15
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS,
DE LA DÉCADA 2016/2025 EN POSADAS
PARA EL ESCENARIO A2



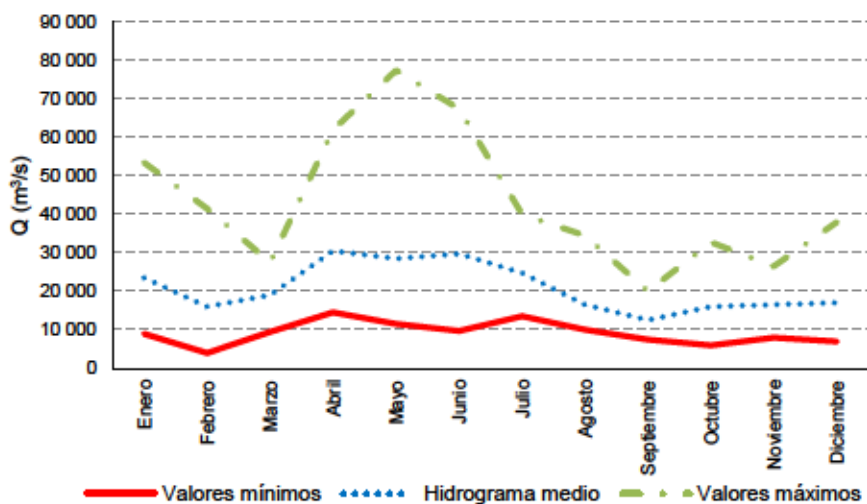
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 16
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS,
DE LA DÉCADA 2046/2055 EN POSADAS
PARA EL ESCENARIO A2



Fuente: Elaboración propia.

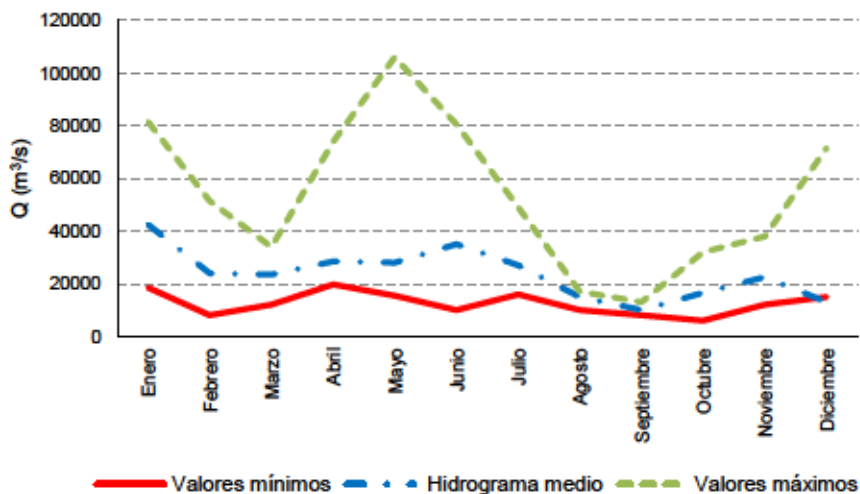
GRÁFICO 17
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS,
DE LA DÉCADA 2046/2055 EN POSADAS
PARA EL ESCENARIO B2



Fuente: Elaboración propia.

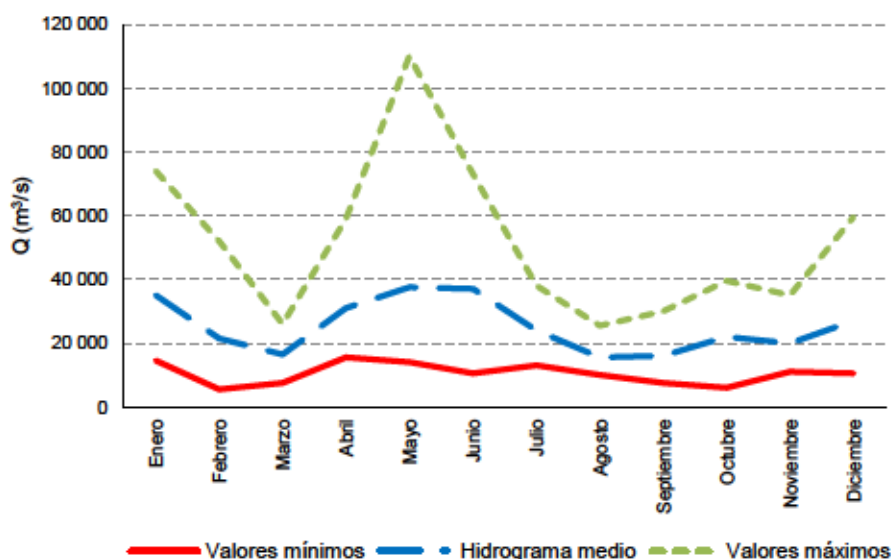
Los caudales mensuales mínimos no presentan casi variación en ninguna de las décadas ni escenarios, excepto en febrero, en que en algunos casos se registrarían valores muy bajos. En consecuencia, la variabilidad interanual de los caudales medios mensuales sigue el comportamiento de los caudales mensuales máximos de cada caso, que además siguen el mismo patrón que los valores medios, siendo más importante en los tres meses del otoño y en diciembre-enero.

GRÁFICO 18
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS,
DE LA DÉCADA 2091/2100 EN POSADAS
PARA EL ESCENARIO A2



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 19
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS,
DE LA DÉCADA 2091/2100 EN POSADAS PARA EL ESCENARIO B2



Fuente: Elaboración propia.

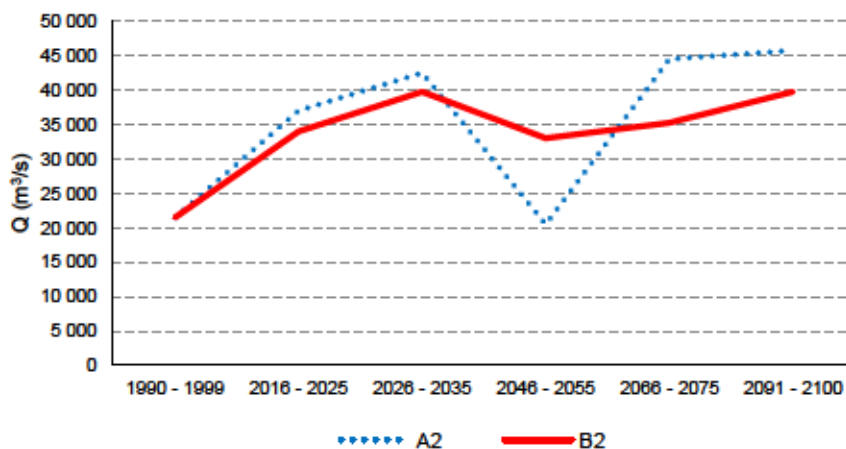
En el caso de Corrientes también predomina el efecto del aumento de la precipitación sobre el de la temperatura, excepto en el escenario A2 del periodo 2045/2055. Los aumentos porcentuales van del 54%, en el escenario B2 en el 2046/2055, a 114% en el escenario A2 del 2091/2100, cuadro 8. Este aumento extraordinario hacia fin de siglo es el resultado de aumentos en las precipitaciones, entre el 25% y el 50% según el modelo PRECIS, y a la enorme sensibilidad de la cuenca a los cambios climáticos, como ya se discutió previamente. Como Corrientes suma los caudales del río Paraguay y éste tiene una cuenca de muy baja pendiente, la amplificación de los caudales respecto de la lluvia es muy importante; esta amplificación se traslada al aporte del Paraguay al Paraná. La singularidad del escenario A2 en la década de 2046/2056 se puede explicar también por la gran sensibilidad climática de los caudales del río Paraguay, esta vez a la temperatura, por lo cual a mediados de siglo ya se alcanzarían valores muy altos, aparentemente apenas compensados por las mayores precipitaciones; gráfico 20.

CUADRO 8
ESCENARIOS DE CAUDALES EN CORRIENTES Y SUS RESPECTIVAS
VARIACIONES PORCENTUALES CON RESPECTO
AL PERÍODO DE REFERENCIA

	Escenario A2 (m³/s)	Variación (%)	Escenario B2 (m³/s)	Variación (%)
1990-1999	21 395		21 395	
2016-2025	37 034	73	33 814	58
2026-2035	42 549	99	39 611	85
2046-2055	20 400	-5	33 004	54
2066-2075	44 292	107	35 299	65
2091-2100	45 855	114	39 840	86

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 20
ESCENARIOS DE CAUDAL MEDIO ANUAL EN CORRIENTES

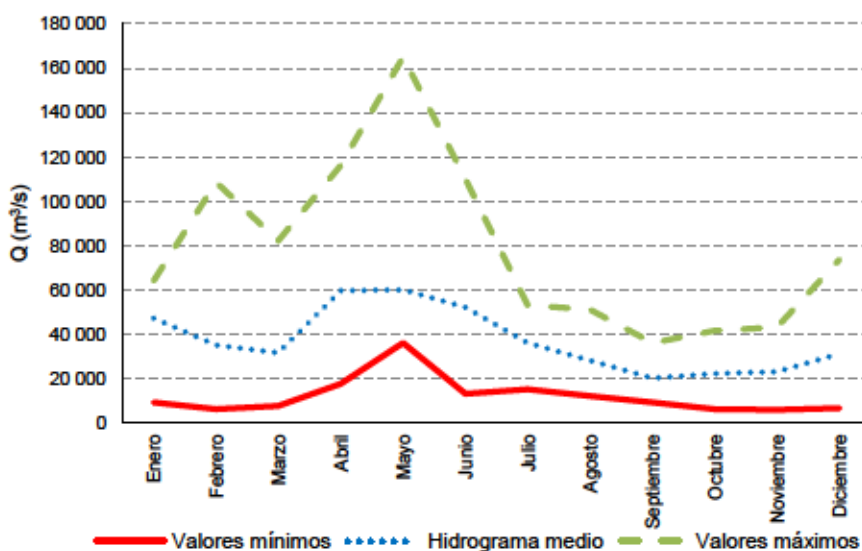


Fuente: Elaboración propia.

Debido a la escasa confianza de los resultados del modelo VIC en el río Paraguay, los valores obtenidos en Corrientes deben ser considerados como portadores de un alto grado de incerteza ya que se agregan a la que ofrece el modelo PRECIS en las precipitaciones.

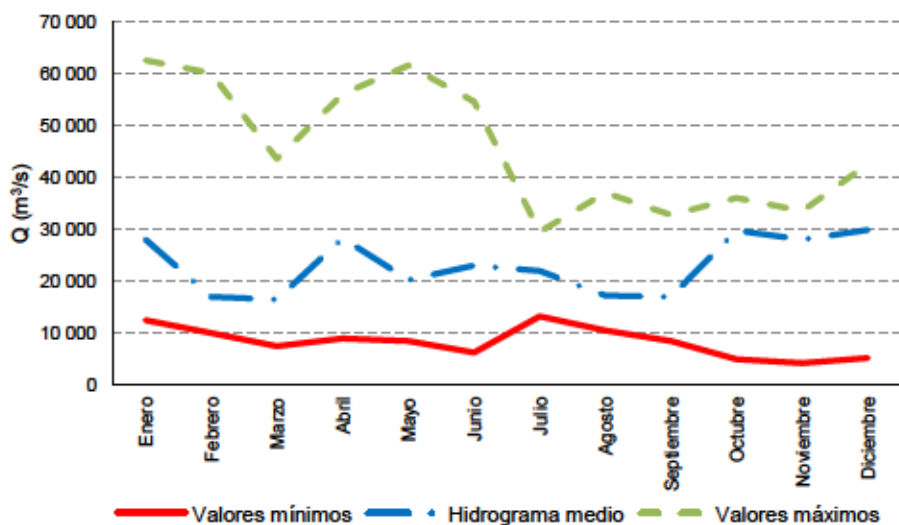
La forma del hidrograma medio, como en el caso de Posadas, es similar a la de la década de 1980 (Camilloni y Barros, 2000), excepto que el máximo caudal se adelanta un mes (abril - mayo - junio) en lugar de mayo - junio. El comportamiento de los caudales mínimos y máximos de cada década es, en los distintos escenarios y décadas, bastante similar a los de Posadas, excepto que el máximo secundario de enero en Posadas se presenta en Corrientes en el mes de febrero.

GRÁFICO 21
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA DÉCADA 2016/2025 EN CORRIENTES PARA EL ESCENARIO A2



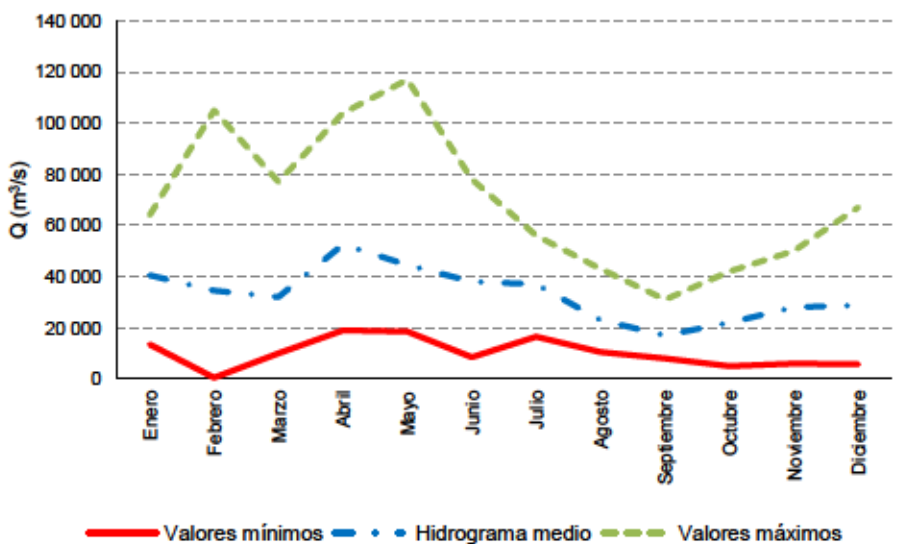
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 22
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS
DE LA DÉCADA 2046/2055 EN CORRIENTES
PARA EL ESCENARIO A2



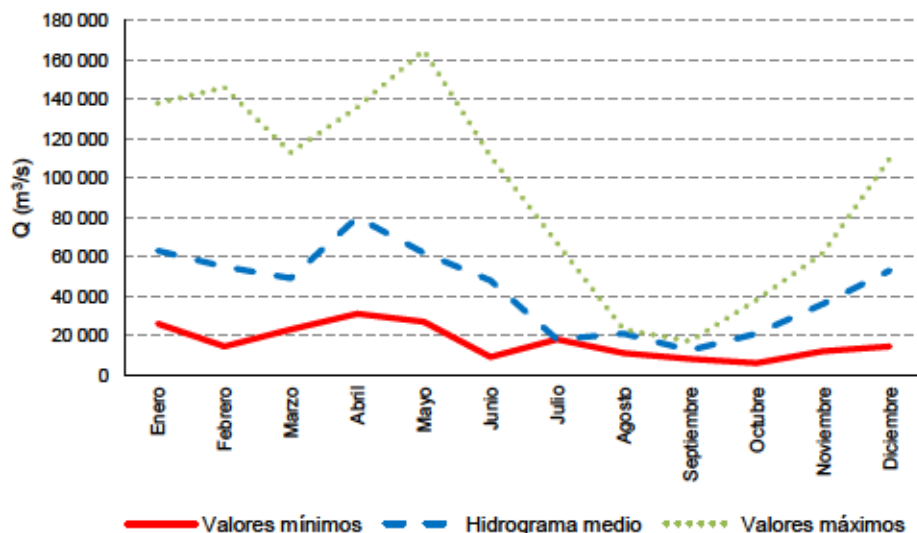
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 23
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS
DE LA DÉCADA 2046/2055 EN CORRIENTES
PARA EL ESCENARIO B2



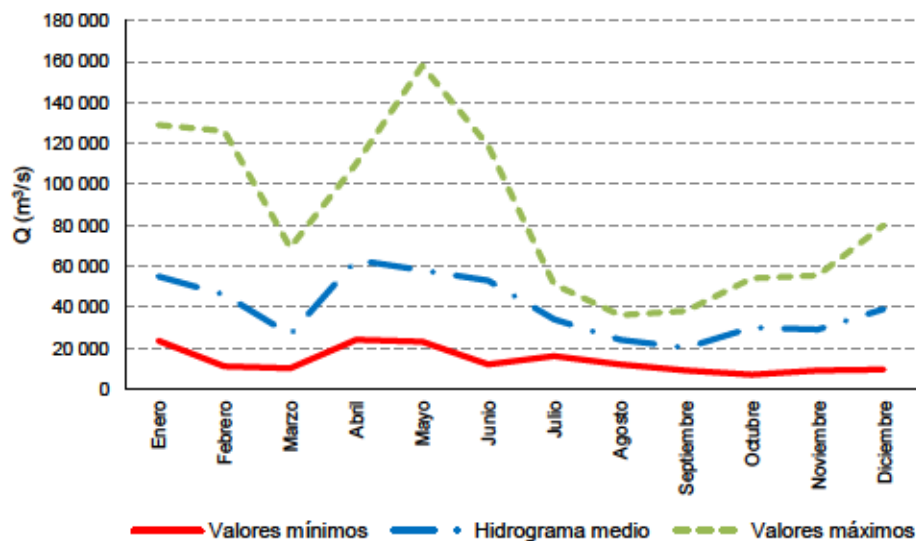
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 24
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS
DE LA DÉCADA 2091/2100 EN CORRIENTES
PARA EL ESCENARIO A2



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 25
HIDROGRAMA MEDIO, VALORES MENSUALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS
DE LA DÉCADA 2091/2100 EN CORRIENTES
PARA EL ESCENARIO B2



Fuente: Elaboración propia.

V. Conclusiones

El modelo climático PRECIS proyecta aumentos de la precipitación, en casi la totalidad de la Cuenca del Plata, muy importantes para todo el siglo y crecientes, entre un 25 % a 50 % en algunas zonas hacia fin de siglo. Varios MCGs proyectan aumentos más moderados y algunos, incluso, prevén reducción de las precipitaciones. Esta es una primera fuente de incertidumbre. Por su parte, el modelo hidrológico VIC representa muy bien los caudales en el río Uruguay en varias escalas de tiempo, y desde luego en la escala de los decenios, no sólo en sus valores medios sino en el hidrograma anual medio. Su comportamiento no es tan bueno en la Cuenca Superior del Paraná, pero mediante ajustes empíricos es capaz de reproducir los valores medios y el hidrograma medio anual. Aún con estos ajustes, no es capaz de representar los caudales del río Paraguay, el cual es de difícil modelado por la baja pendiente que domina su cuenca.

Otra fuente de incertidumbre es que en la Cuenca del Plata, por sus temperaturas y bajas pendientes, las variaciones porcentuales no totalmente compensadas en precipitación y/o temperatura se amplifican notablemente en los caudales, en factores de hasta más 2. Esta amplificación es mayor en las zonas con menor pendiente, por lo cual también es mayor en la Cuenca del Paraguay que en la del Paraná Superior, y de ésta que en la del Uruguay. Esta propiedad, que es inherente a la cuenca, tiende por otra parte a magnificar las incertidumbres en los caudales que se hallan en las proyecciones climáticas. En este caso, y por lo expresado, las incertidumbres debidas a este aspecto serían menores en los caudales del río Uruguay, medias en el Paraná Superior y mayores en el Paraguay. Es decir que tanto esta fuente de incertidumbre, como la debida al modelo VIC, es menor en el Uruguay, mayor en el Paraguay e intermedia en el Paraná Superior.

Como complemento del exhaustivo modelado, usando el modelo climático, se hizo un estudio de sensibilidad al calentamiento, manteniendo constante la precipitación. Estos escenarios deben ser considerados dentro del posible rango de probables escenarios. En el caso del río Uruguay, en un escenario de calentamiento moderado como el que se registraría dentro de 2 o 3 décadas, no habría mayores cambios en los caudales y estos disminuirían en un 15 % hacia fin de siglo. Por el contrario, si se acepta el escenario climático PRECIS con incrementos de lluvia que no estarían totalmente compensados por mayor temperatura, los caudales aumentarían a partir de 2026/2035, desde un 25 % a un 57 %, variando según décadas y escenarios. Como se aprecia, el rango de posibles caudales es muy

amplio; pero según Saurral y otros (2008), estos cambios podrían ser aumentados o sobre compensados por cambios radicales en el uso del suelo por una deforestación o una forestación total de la cuenca.

En el caso del Paraná la brecha entre extremos es aún mayor. El estudio de sensibilidad para Posadas, que ofrece mayor confiabilidad, va de una reducción del 7 % para un calentamiento moderado, hasta 25 % en un escenario más cálido, posible a fin de siglo. A su vez, los resultados derivados del modelo PRECIS van de un 25 % de aumento en el escenario B2 2026/2035 a un 70 % en el escenario A2 del 2091/2100. Aún con las limitaciones que ofrece la estimación en Corrientes, debido a la naturaleza de la cuenca del Paraguay, se debe acreditar que estos extremos serían seguramente mayores que en Posadas.

Resulta evidente que es necesario disminuir las incertezas derivadas de la modelación climática y mejorar la modelación hidrológica, para lograr resultados que permitan avanzar en políticas de adaptación y, dentro de ellas, de planificación a mediano y largo plazo. Es deseable que la nueva generación de MCGs y de experimentos con modelos de alta resolución permitan reducir las actuales incertidumbres y que incluso puedan arrojar luz sobre procesos climáticos de gran impacto en la Cuenca del Plata, como por ejemplo la variabilidad interanual e interdecadal asociada al fenómeno de El Niño - Oscilación del Sur.

Bibliografía

- Barros, V., M. E. Castañeda y M. Doyle (2000), Recent precipitation trends in Southern South America to the East of the Andes: an indication of a mode of climatic variability. Capítulo del libro "Southern Hemisphere Paleo and Neoclimates. Concepts, Methods, Problems", Springer.
- Barros, V., M. Doyle e I. Camilloni (2008), Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation, *Theor. Appl. Clim.* 93, 19-33.
- Berbery, E., H. y V. Barros (2002), The hydrologic cycle of the La Plata Basin in South America, *J. Hydrometeorology*, 3, 630 – 645.
- Camilloni, I. y V. Barros (2000), The Paraná River Response to El Niño 1982-83 and 1997-98 events, *J. Hydrometeorology*, 1, 412 –430.
- Camilloni, I. (2007), Escenarios climáticos futuros capítulo de República Argentina: Vulnerabilidad a cambios climáticos e hidrológicos, V Barros y D Perczyk (eds), Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación – Fundación Di Tella, páginas 97-108.
- Castañeda, E. y V. R. Barros (1994), Las tendencias de la precipitación en el cono Sur de América al Este de los Andes *Meteorológica*, 19, 23-32.
- Cherkauer, K. A. y D. P. Lettenmaier (1999), Hydrologic effects of frozen soils in the Upper Mississippi basin, *J. Geophys. Res.*, 104 (16), 15599-15610.
- Coronel, G. A. Menéndez y L. Chamorro (2006), Fisiografía e hidrología en la Cuenca del Plata, Cap. 4 del libro *El Cambio Climático en la Cuenca del Plata*, 230 pag, Eds V. Barros, R. Clarke y P. Silva Días CIMA, Buenos Aires.
- Doyle, M. y V. Barros (2009), Drivers of streamflows trends in the Plata Basin, en preparación.
- García, N. , y W. M. Vargas (1998), The temporal climatic variability in the 'Río de la Plata' basin displayed by the river discharges, *Climatic Change*, 38, 359-379.
- Genta, J. L., G. Perez-Iribarren y C. R. Mechoso (1998), A recent increasing trend in the streamflow of rivers in southeastern South America, *J. Climate*, 11, 2858-2862.
- Hamlet, A. F. y D. P. Lettenmaier (1999a), Effects of climate change on hydrology and water resources in the Columbia River basin, *Am. Water Res. Assoc.*, 35, 1597-1623.
- _____ (1999b), Columbia River streamflow forecasting based in ENSO and PDO climate signals, *ASCE J. Water Res. Planning and Mgmt.*, 125, 333-341.
- Hansen, M., R. DeFries, J. R. G. Townshend y P. Sohlberg (2000), Global land cover classification at 1 km resolution using a decision tree classifier, *Int. J. Remote Sensing*, 21, 1331-1364.

- Hastings, D. A. y otros (1999), The Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE) Digital Elevation Model, Version 1.0. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center, 325 Broadway, CO, USA URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html>.
- Kimball, J. S., S. W. Running, y R. Nemani (1997), An improved method for estimating surface humidity from daily minimum temperature, *Agricultural and Forest Meteorology*, 85, 87-98.
- Leung, L. R., A. F. Hamlet, D. P. Lettenmaier, y A. Kumar (1999), Simulations of the ENSO hydroclimate signals in the Pacific Northwest Columbia River basin, *Bull. Am. Met. Soc.*, 80 (11), 2313-2329.
- Liang, X., D. P. Lettenmaier, E. F. Wood, y S. J. Burges (1994), A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for GSMs, *J. Geophys. Res.*, 99 (D7), 14415-14428.
- Lohmann, D., E. Rashke, B. Nijssen y D. P. Lettenmaier (1998), Regional scale hydrology II: Application of the VIC-2L model to the Weser River, Germany, *Hydrol. Sci.*, 43 (1), 143-158.
- Monteith, J. L. (1965), Evaporation and environment, *Symp. Soc. Exp. Biol.*, 19, 205-234.
- Müller, I. I., C. M. Krüger y E. Kaviski (1998), Analysis of the stationarity of hydrological series in the incremental basin of Itaipú (In Portuguese) *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 3 (4), 51 – 71.
- Nash, J. E., y J. V. Sutcliffe (1970), River flow forecasting through conceptual models, Part I: a discussion of principles, *J. Hydrology*, 10 (3), 282-290.
- Pasquini, A. I. y P. J. Depetris (2007), Discharge trends and flow dynamics of South American rivers draining the southern Atlantic seaboard: An overview, *J. Hydrology*, 333, 385 – 399.
- Penman, H. C. (1948), Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass, *Proc. R. Soc. Lon., A*, 193, 120-145.
- Santhi, C. y otros (2001), Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources, *J. Amer. Wat. Res. Assoc.*, 37 (5), 1169-1188.
- Sahin, M.J y M. J. Hall (1996), The effects of afforestation and deforestation on water yields, *Journal of Hydrology*, 178, 293 – 309.
- Saurral, R. (2007), Impactos de las variaciones climáticas en la cuenca del Río Uruguay, Tesis de Licenciatura, Director V Barros. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.
- Saurral, R. I., V. R. Barros y D. P. Lettenmaier (2008), Land use impact on the Uruguay River discharge, *Geophys Res Lett*, 35, L12401, doi:10.1029/2008GL033707.
- Shuttleworth, W. J. (1993), Evaporation, en *Handbook of Hydrology*, ed. D. R. Maidment, McGraw-Hill.
- Su, F., y otros (2005), Modeling of land surface processes in La Plata basin Proceedings of the AGU fall meeting, San Francisco, CA, USA.
- Thornton, P. E., y S. W. Running (1999), An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity and precipitation, *Agricultural and Forest Meteorology*, 93, 211-228.
- Tucci, C. E. M., (2003), Variabilidade climática e o uso do solo na bacia brasileira do Prata, en *Clima e recursos hídricos no Brasil*, ed. C. E. M. Tucci e Benedito Braga.

Anexo

Apoyo a las actividades de coordinación

A lo largo de todo el proyecto se cooperó con la coordinación nacional en los proyectos relacionados con los recursos hídricos. Esto es los propios del experto, vulnerabilidad de la costa del río de la Plata al ascenso del nivel del mar y escenarios de caudales medios del Paraná y Uruguay y otros seis: escenarios de inundaciones en los ríos Paraná y Uruguay, escenario de caudales y alturas del Iberá, cambio climático y caudal medio anual en cuencas del Comahue, la oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan, el uso y demanda de agua en los oasis de riego de Mendoza y San Juan y determinación de los impactos esperados sobre los ecosistemas naturales y la biodiversidad de los Esteros del Iberá.

La coordinación aseguró el uso de la misma información climática de base, incluyendo las de los escenarios del modelo PRECIS, debidamente ajustados para filtrar errores sistemáticos. Al respecto de realizaron varias reuniones colectivas de coordinación y múltiples intercambios personales con los responsables de los proyectos.

Por último y en relación a los dos proyectos del experto se suministro amplia información a la coordinación para la valoración económica, facilitando bibliografía y referencias.



NACIONES UNIDAS

Serie

CEPAL

Medio Ambiente y Desarrollo

Números publicados

Un listado completo así como los archivos pdf están disponibles en

www.cepal.org/publicaciones

154. Escenarios hidrológicos de caudales medios del río Paraná y Uruguay, Vicente Barros (LC/L.3741), octubre 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org. Email: erecc.lac@cepal.org.
153. Incidencia distributiva del impuesto a los combustibles en el Gran Santiago, Diego Vivanco Vargas (LC/L.3730), octubre 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org. Email: erecc.lac@cepal.org.
152. Evaluación de los impactos del cambio climático sobre el cosistema natural y la biodiversidad. Esteros del Iberá (Argentina) (LC/L.3728), octubre 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
151. Acceso a la información participación y justicia en temas ambientales en América Latina y el Caribe. Situación actual, perspectivas y ejemplos de buenas prácticas. Valeria Torres, Carlos de Miguel (LC/L.3549-Rev 2), octubre 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
150. Climate change and reduction of CO₂ emissions: the role of developing countries in carbon trade markets. Carlos Ludeña, Carlos de Miguel, Andres Schuschny (LC/L.3608), diciembre 2012. Email: carlos.demiguel@cepal.org. Email: erecc.lac@cepal.org.
149. Disponibilidad futura de los recursos hídricos frente a escenarios de cambio climático en Chile. Ximena Vargas, Álvaro Ayala, Rodrigo Meza, Eduardo Rubio (LC/L.3592), diciembre 2012. Email: carlos.demiguel@cepal.org. Email: erecc.lac@cepal.org.
148. Efecto del cambio climático en la salud pública en Colombia: estudio de caso malaria y dengue. Viviana Cerón y Saha Osorio Mrad (LC/L.3587), marzo 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org. Email: erecc.lac@cepal.org.
147. Desarrollo de una función agroclimática para estimar productividad de los cultivos agrícolas en Colombia. J. Francisco Boshell V. (LC/L.3586), marzo 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org. Email: erecc.lac@cepal.org.
146. Panorama del cambio climático en Colombia. Javier Blanco (LC/L.3585) marzo 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org. Email: erecc.lac@cepal.org.
145. Análisis de la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico frente a escenarios futuros de cambio climático en Chile. James McPhee Eduardo Rubio, Rodrigo Meza, Álvaro Ayala (LC/L.3599), diciembre 2012. Email: carlos.demiguel@cepal.org. Email: erecc.lac@cepal.org.
144. Políticas Fiscales, impactos energéticos y emisiones de CO₂ en Chile. Carlos de Miguel, Raúl O’Ryan, Mauricio Pereira y Bruno Carriquiry (LC/L.3434), diciembre 2011. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
143. Financiamiento para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en un contexto de crisis: Indicadores para Chile. Raúl O’Ryan, Mauricio Pereira y Carlos de Miguel (LC/L.3405), noviembre 2011. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
142. Estimaciones de gasto social en vivienda y desarrollo urbano para algunos países de América Latina y el Caribe. Raquel Szalachman, María Paz Collinao. (LC/L.3169-P) N° de venta: S.09.II.G.142 marzo 2010. Email: aqueel.szalachman@cepal.org.
141. Gasto social en vivienda y desarrollo urbano. Raquel Szalachman, María Paz Collinao. (LC/L.3149-P), N° de venta: S.09.II.G.122, diciembre 2009. Email: Raquel.szalachman@cepal.org.
140. Síndrome holandés, regalías mineras y políticas de gobierno para un país dependiente de recursos naturales: el cobre en Chile. Mauricio Pereira, Andrés Ulloa, Raúl O’Ryan, Carlos de Miguel (LC/L.3139-P), N° de venta: S.09.II.G.112, diciembre 2009. Email: carlos.demiguel@cepal.org.

MEDIO AMBIENTE Y
DESARROLLO

154

MEDIO AMBIENTE Y
DESARROLLO

MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Series

C E P A L

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE
ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN
www.cepal.org