

Escenarios Climáticos de la Provincia de San Luis



Vicente **Barros** / Mario **Núñez** / Inés **Camilloni** / Silvina **Solman**
Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CONICET – UBA)



Escenarios Climáticos de la Provincia de San Luis

Vicente R. Barros / Mario N. Núñez / Inés Camilloni / Silvina Solman
Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CONICET – UBA)

Coordinación General

Nestor Arellano

Coordinación de Contenido

Melina Manzur

Edición

Darío Calderón

Coordinación de Diseño

Natalia Perinetti

Diseño

Rocío Juárez

Fotografía

Archivo ULP

Diseño de tapa

Diego González

1ª edición

ISBN: en trámite

© **Universidad de La Punta, 2010**

Queda hecho el depósito que establece la Ley 11.723

Libro de edición argentina

No se permite la reproducción parcial o total, el almacenamiento, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446



Escenarios Climáticos de la Provincia de San Luis



Prólogo

San Luis Digital: trazando el camino hacia el futuro

El conocimiento pulsó el click de una nueva revolución para la humanidad y en nuestro planeta se viven tiempos exponenciales. Las innovaciones, cada vez más frecuentes, reconfiguran todo lo conocido y las sociedades las adoptan a mayor velocidad.

Atravesamos una tormenta perfecta que afecta todos los aspectos de la vida cotidiana. Y ante su inexorabilidad es necesario prestar atención a los cuatro factores que la componen: la revolución tecnológica, la revolución económica, la revolución social; y la participación de la generación de nativos digitales y jóvenes, que sientan un precedente histórico: por primera vez, ellos saben más de un tema que sus padres.

El futuro no se puede predecir, pero se puede participar en su invención en forma colaborativa, con todos los integrantes de una sociedad formada, capacitada, interesada, que disponga del conocimiento para generar innovaciones que optimicen la productividad y el desarrollo económico.

Queremos que quienes habitan nuestro suelo puedan aprovechar las posibilidades de esta tormenta de categoría 6. Para esto hemos planificado y ejecutamos, en forma sistemática y coherente, un plan a 20 años, San Luis Digital.

Nuestra agenda digital se estructura en seis ejes: Infraestructura, Educativo, Tecnológico, Productivo, Marco Legal y Gobierno Electrónico.

Hoy tenemos más de 235 iniciativas para lograr:

- Exportar más productos con contenido tecnológico.
- Generar una red densa de usuarios de Internet —inclusión digital de toda la población—.
- Contar con más profesionales en ciencia e ingenierías
- Y, sobre todo, tener una base más amplia de trabajadores con educación secundaria completa y con mejores habilidades en matemática, lectura, escritura, ciencia y tecnologías de la información y la comunicación (Tics).

Algunas cifras testimonian elocuentemente el grado de avance de San Luis en materia tecnológica y educativa —políticas clave de cara al futuro—.

- Todas las localidades con más de veinte habitantes tienen internet de banda ancha gratuita a través de Wi-Fi.
- El 70% de los hogares sanluiseños cuentan con al menos una computadora.
- La penetración de Internet es del 74,2%, la más alta del país, por encima de la media nacional que es del 50,3%.

En lo que respecta al sector educativo, las acciones abarcan a docentes y alumnos.

- El 85% de los educadores del sistema educativo provincial han sido formados en las nuevas tecnologías, matemática, astronomía, y geotecnologías.
- El 50% de las escuelas rurales tienen planes de mejoramiento de la enseñanza en las disciplinas estratégicas: matemática, lengua, ciencia y tics.
- Contamos con 42 Centros de Inclusión Digital (CID), distribuidos en todo el territorio, que permiten formar a las comunidades en el uso de las nuevas tecnologías para mejorar su calidad de vida. Los mayores de 16 años pueden asistir a estos centros para completar su escolaridad primaria y secundaria. Durante el 2009 la asistencia a estos centros fue masiva.
- Todos los Chicos en la Red es el plan por el cual todos los alumnos de primero a sexto grado, de treinta localidades, recibieron una computadora, al igual que sus maestros. Tiene como objetivo mejorar la calidad educativa. Alcanza al 14% de los estudiantes de primaria. De este modo, los niños de San Luis estudian con una computadora, con software educativo y conectividad a internet tanto en la escuela como en sus hogares, con docentes que incluyen Tics en sus prácticas pedagógicas.
- Con los estudiantes de este plan se implementa la propuesta colaborativa medioambiental y digital Balance Cero, que consiste en calcular el dióxido de carbono emitido producto de la generación de energía eléctrica que se consume en los hogares. Determinada la cantidad dióxido de carbono se calcula la cantidad de árboles necesarios para capturar ese gas y lograr el balance entre emisión y captura. Con esta iniciativa, 13 localidades izaron la bandera de balance cero, y en otras 17 se está plantando. Este año se sumarán como

parte de Balance Cero, acciones de compensación para el transporte, la calefacción y los residuos.

- Para alentar el esfuerzo y el estudio todos los años se realizan las Olimpiadas Sanluiseñas del Conocimiento, dirigidas a estudiantes de primaria y secundaria. Se compete en forma virtual resolviendo tareas en la plataforma digital de aprendizaje (e-learning) de la Universidad. Los ganadores reciben importantes premios. En su edición de 2009, los ganadores del secundario viajaron a Italia a conocer los lugares donde Galileo Galilei estudió y enseñó.
- También alentamos la lectura por su crucial importancia en el desarrollo de habilidades intelectuales. Como es sabido, el pensamiento se estructura con palabras y la capacidad lingüística hace la diferencia a la hora de interpretar y comprender el mundo. Por ello, desarrollamos el plan de lectura Contextos en instituciones educativas y centros de salud. Actualmente, se trabaja con chicos de nivel inicial y hasta segundo grado del primario, en espacios de lectura con bibliografía especializada y personal que lee para introducir a los pequeños en el mundo de las letras. Con esta propuesta se ha llegado al 50% de los niños de nivel inicial.
- Con un enfoque centrado en amigar a los jóvenes con el mundo de la programación informática, e interesarlos por carreras tecnológicas, se organiza el certamen Gaming.NET junto con Microsoft. En su edición 2009 este concurso de programación contó con 604 inscriptos, provenientes de 57 escuelas, de 23 localidades. Con el mismo objetivo, este año se añade Fútbol Robot, que implica el uso de herramientas de programación para el desempeño en la robótica autónoma móvil.
- Para despertar el interés de los puntanos por la ciencia creamos el Parque Astronómico La Punta (PALP). Este espacio de divulgación científica está compuesto por dos planetarios, uno fijo y otro itinerante, un observatorio con dispositivos de última generación, y el Centro Interactivo de Ciencias, con doce módulos donde se explican diferentes nociones científicas. Se añade un observatorio a ojo desnudo conformado por instrumentos de observación utilizados por diferentes pueblos en la antigüedad. El

40% de la población sanluiseña ha visitado el PALP y participado de sus propuestas.

Estudios neurocientíficos han demostrado el beneficio de algunos juegos para conseguir un mejor coeficiente intelectual y una mayor velocidad de procesamiento cerebral. En cinco localidades se ha comenzado con talleres que incorporan estos juegos específicos, complementados con arte y música para incentivar en los chicos la expresión creativa, artística y sensorial.

Estas acciones están dirigidas a preparar a las nuevas generaciones sanluiseñas en las habilidades que necesitarán para afrontar el mundo del mañana. Para estar preparados ante las nuevas tendencias es importante desarrollar: el diseño (la forma sobre la función), la narración, la sinfonía (multicapacidad), la empatía (entendimiento del otro), el sentido (por sobre la acumulación) y el juego, que marcarán las pautas del crecimiento socio-económico para los próximos 50 años.

Nuestra agenda también busca que se radiquen en la provincia empresas tecnológicas. Con ese fin creamos por ley el Parque Informático La Punta (PILP), que actualmente cuenta con 13 firmas de relevancia nacional e internacional. La tecnópolis puntana se emplaza en el campus de la ULP donde confluyen el Estado, la academia y la industria.

En cuanto al gobierno electrónico se planifica digitalizar todo el sistema gubernamental para lograr mejores servicios, que permitan a los ciudadanos agilizar las gestiones en forma virtual. San Luis dio un paso decisivo con la implementación de la infraestructura de clave pública (PKI) que posibilita la firma digital. Su aplicación en expedientes de organismos del Estado provincial ya es un hecho en varias reparticiones.

El éxito de nuestros programas se respalda en los porcentajes citados. Estas cifras muestran los logros y avances de una agenda digital que se desarrolla de modo integral, con la mirada atenta a un mundo que vive tiempos interesantes.

Estamos inmersos en una revolución científico-tecnológica y se abren grandes oportunidades para todas las sociedades. Nosotros en San Luis queremos aprovecharlas. Trabajamos para que los habitantes del territorio puntano mejoren su calidad de vida y disfruten de los beneficios de la sociedad de la información.

Construimos un presente próspero, siempre pensando en mañana. Planificamos, ejecutamos y hacemos las inversiones necesarias, porque estamos convencidos de que este es el camino para participar en la invención del futuro.

Alberto Rodríguez Saá, Abril 2010



Índice

1. Introducción	11
1.1 Contexto institucional	
1.2 Metodología	
1.2.1 El modelado climático	
1.2.2 El horizonte temporal	
2. Elección del modelo de gran escala	15
2.1 Modelos analizados	
2.2 Validación de la presión regional estimada por los MCGs	
2.3 Validación regional de la precipitación y temperatura de superficie estimadas por los MCGs	
3. Downscaling con un modelo de alta resolución	21
4. Proyección de los cambios de precipitación. Escenario A1B	23
4.1 Precipitación media para el período de referencia 1980 – 1999	
4.2 Cambios en la precipitación porcentual media para el período 2011 – 2030	
4.3 Escenarios de la precipitación media para el período 2011 – 2030	
4.4 Cambios en la precipitación porcentual media para el período 2046 - 2065	
4.5 Escenarios de la precipitación media para el período 2046 – 2065	
5. Proyección de los cambios de temperatura. Escenario A1B	37
5.1 Temperatura media para el período de referencia 1980 – 1999	
5.2 Cambios en la temperatura media para el período 2011 – 2030	
5.3 Escenarios de temperatura media para el período 2011 – 2030	
5.4 Cambios en la temperatura media para el período 2046 – 2065	
5.5 Escenarios de temperatura media para el período 2046 – 2065	

6. Conclusiones

49

Referencias

51



1. Introducción

1.1 Contexto institucional

De acuerdo con el convenio firmado entre el CONICET y la Universidad de La Punta (ULP), el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) ha elaborado escenarios climáticos para la provincia de San Luis, para los períodos (2011-2030) y 2046-2065. Estos escenarios incluyen los valores medios anuales de precipitación y temperatura de superficie y de su variación estacional, y son de utilidad en las actividades de planificación y prospectiva, en particular en el caso del manejo de los recursos hídricos y la forestación.

1.2 Metodología

Los pasos seguidos para la confección de los escenarios climáticos son los clásicos de este tipo de desarrollos. Como San Luis se encuentra próxima a un gran accidente geográfico, como es la Cordillera de los Andes, y cuenta además con una orografía importante, las salidas de los Modelos Climáticos Globales (MCGs) con resolución de más de 200 Km no son adecuados para la simulación del clima. Por ello, se debe recurrir a un modelo de alta resolución (del orden de 40 Km) y a partir de las salidas de uno o varios MCGs realizar el proceso llamado *downscaling* dinámico.

Los resultados de este *downscaling* dinámico, combinados con los datos de una densa red de observación en la provincia, permitieron mejorar la resolución espacial de los escenarios climáticos.

| 11

1.2.1 El modelado climático

El sistema climático está definido como un sistema compuesto por la atmósfera, la hidrósfera, la criósfera, la superficie de la Tierra y la biósfera. El clima tal como lo conocemos es producto de la interacción de los componentes antes señalados. Algunos de ellos de rápida reacción a los forzantes externos al sistema como la radiación solar, tal es el caso de la atmósfera, y otras como la superficie de la Tierra con cambios en términos de millones de años. Los cambios y las interacciones producen el clima con sus variaciones de corto y muy largo plazo. Los cambios del clima de origen natural se dieron en la historia de nuestro planeta por cientos de miles de años, y es en años recientes que se inicia un cambio no natural debido a la acción del hombre. A este cambio por efecto de la emisión de gases de invernadero se denomina Cambio Climático.

Cualquier modelo climático es un intento de simular los múltiples procesos que producen el clima. El objetivo es comprender estos procesos y predecir los efectos de los cambios y las interacciones en el sistema climático. Los modelos climáticos intentan describir el sistema climático y sus interacciones en términos de leyes físicas básicas. Por lo tanto, estos modelos están compuestos por una serie de ecuaciones que expresan estas leyes y se los conoce en la jerga científica como Modelos de Circulación General.

Es importante señalar que los modelos actuales, en el presente estado del conocimiento, presentan incertidumbres fruto de la aún incompleta representación de los procesos físicos que tienen lugar en la atmósfera, en particular los distintos mecanismos que conducen a la formación de la lluvia. La familia de los distintos modelos desarrollados en diferentes centros de investigación en el mundo, en general, coinciden en sus proyecciones sobre los cambios en la temperatura y también en los cambios en la circulación de la atmósfera. Sin embargo, aún persisten diferencias entre los distintos modelos en la obtención de la distribución y evolución de la lluvia, siendo conveniente realizar ensambles con los resultados de varios modelos para indicar los valores posibles de la lluvia, principalmente, y la dispersión entre los distintos modelos como una medida del error posible en las proyecciones de los cambios en el clima.

En 2001, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) publicó un informe en el cual se evaluó la sensibilidad, la capacidad de adaptación, y la vulnerabilidad de sistemas ambientales y humanos al cambio climático, así como también las consecuencias potenciales del mismo. Las predicciones presentadas en el trabajo se basan principalmente en resultados obtenidos a partir de Modelos de Circulación General (MCG). Los MCG se han utilizado extensamente para predecir el efecto que el incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, tendría en el clima global. Varios de estos modelos

existen actualmente y están basados en diversas consideraciones y representaciones del sistema climático. Debido a que los MCG simulan características climáticas de gran escala, todos estos modelos producen resultados comparables, a escala global (IPCC, 2001). Sin embargo, los resultados de los MCG difieren, considerablemente, cuando se utilizan para las predicciones de patrones climáticos regionales.

El clima de la Argentina está determinado por la interacción entre los forzantes regionales y la circulación en un amplio rango de escalas espaciales, desde la gran escala, la escala regional y la escala local, como así también en una amplia gama de escalas temporales, desde escalas inferiores a un día hasta multidecadal. Es, por lo tanto, evidente el grado de dificultad que representa simular el clima regional y los posibles cambios regionales asociados al cambio climático global. Hasta la fecha, un nivel relativamente alto de incertidumbre ha caracterizado la información regional del cambio climático. Esto es debido a la complejidad de los procesos que determinan el cambio regional del clima y a la dificultad en extraer información regional en alta resolución de los Modelos Acoplados de Circulación General de la Atmósfera y los Océanos.

Los Modelos Acoplados de Circulación General son usados para generar las proyecciones de cambio climático debido a los forzantes entrópicos. La resolución atmosférica horizontal de estos modelos sigue siendo relativamente baja (del orden de varios cientos de kilómetros). Sin embargo, los forzantes y las circulaciones que ocurren en la escala menor a la correspondiente a la resolución del modelo afectan el clima regional. Por lo tanto, por definición, los Modelos Acoplados de Circulación General no pueden proporcionar información directa en escalas más pequeñas que su resolución, ni son capaces de capturar el efecto detallado de los forzantes que actúan en escalas espaciales menores, a menos que éstos estén parametrizados.

Una de las metodologías con mayor grado de aceptación para la resolución de este tipo de problema científico, lo constituyen las técnicas de “downscaling” (palabra inglesa para indicar el concepto de pasar de una escala global a una escala regional), utilizadas para mejorar el detalle regional de los modelos globales. Las mismas han mejorado substancialmente en los últimos años y han sido aplicadas extensamente por distintos grupos de investigación. Pueden clasificarse en dos y hasta tres categorías, según el patrón de definición utilizado: a) Modelos Atmosféricos de Circulación General con resolución variable en áreas geográficas de interés, b) Downscaling Dinámico mediante la utilización del “anidado” de modelos regionales de alta resolución en Modelos Climáticos Globales de menor resolución; y c) downscaling estadístico, que consiste en la obtención de parámetros o funciones estadísticas que relacionan patrones climáticos de gran escala con variables en escalas regionales o locales.

Esta última metodología es ventajosa en aquellos casos en que la región de estudio tiene una gran densidad de estaciones de medición meteorológica. El concepto downscaling implica que el clima regional está condicionado, pero no totalmente determinado por las condiciones de gran escala. De hecho, las características regionales asociadas a una misma situación de gran escala pueden variar substancialmente.

La técnica de modelado regional anidado consiste en usar condiciones de inicio, condiciones meteorológicas laterales dependientes del tiempo, y condiciones de borde en la superficie para conducir los Modelos Climáticos Regionales de alta resolución. Los datos que alimentan al modelo regional provienen de los modelos globales (o de análisis de observaciones), y pueden incluir forzantes como incremento de concentración de gases de efecto invernadero o aerosoles.

Los estudios realizados con Modelos Atmosféricos de Circulación General de alta resolución y/o de re-

solución variable han demostrado que la calidad de las simulaciones mejora al aumentar la resolución. En algunos casos, sin embargo, los errores sistemáticos son mayores que los obtenidos con modelos de baja resolución, aunque solamente muy pocos resultados se han documentado.

Los Modelos Climáticos Regionales mejoran considerablemente el detalle espacial del clima simulado comparado a los modelos de circulación general. Los forzantes superficiales de alta resolución resueltos por los modelos regionales pueden modificar la señal de cambio climático superficial en escala regional. En consecuencia, y de acuerdo a los resultados de estudios regionales, para escalas más finas los cambios simulados por los modelos regionales pueden ser sustancialmente diferentes en magnitud o signo, respecto de los obtenidos con los Modelos Atmosféricos de Circulación General de baja resolución. Esto hace necesario la determinación de escenarios de cambio climático, recurriendo al uso de modelos regionales de alta resolución en lugar de intentar conclusiones locales a partir de escenarios generados por modelos globales, con una pobre representación de los climas regionales.

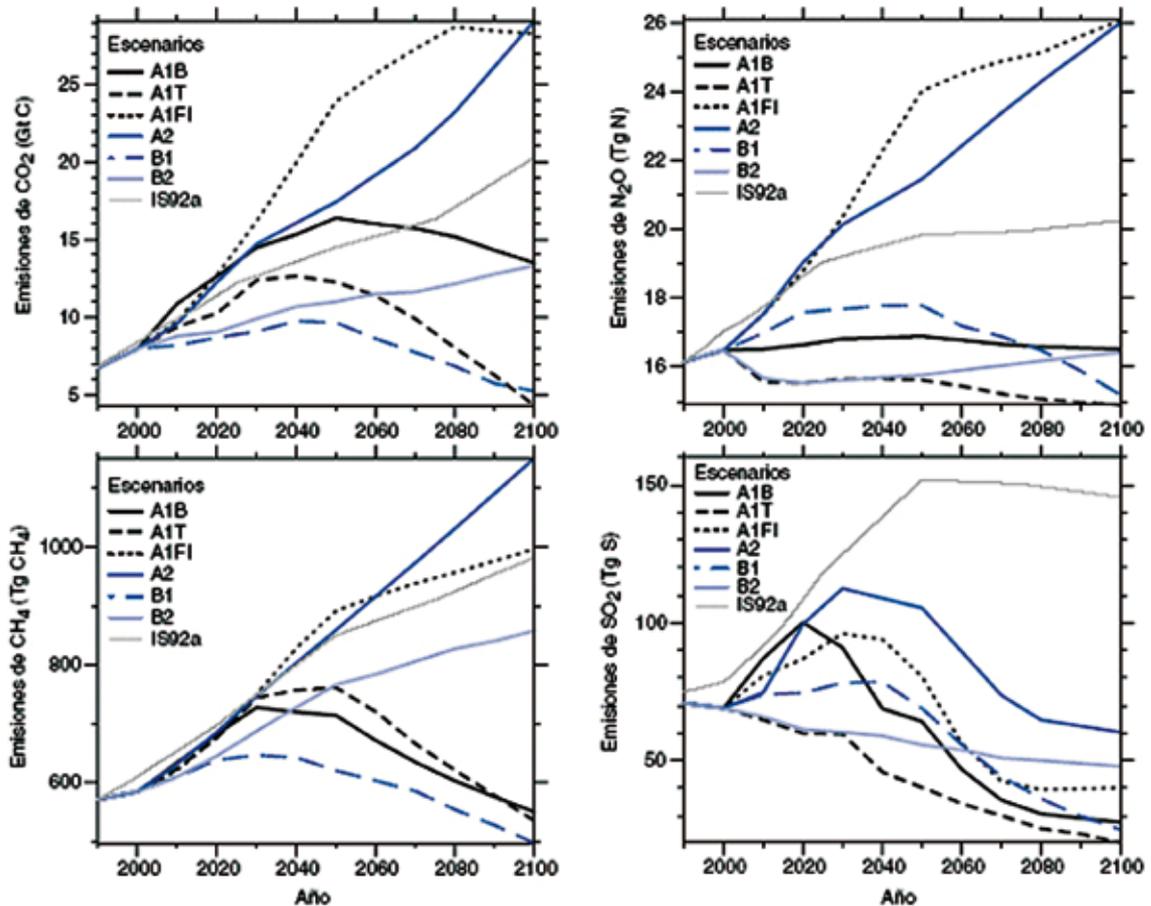
En nuestro caso se presentan resultados obtenidos con las simulaciones de un único modelo climático regional, forzado con condiciones límites y del inicio, por el modelo climático inglés del Centro Hadley. La elección de ambos modelos se basó en una adecuada representación del clima presente para la región de estudio por ambos, siendo el modelo regional el que permitió obtener mejores detalles de las variables climáticas, por una mejor representación de la geografía de la región. Los resultados de las simulaciones numéricas fueron sometidos a ensayos estadísticos para indicar el grado de confiabilidad de las proyecciones. En el presente trabajo se hizo uso de un modelo climático regional para evaluar proyecciones climáticas para Argentina y para dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. Fueron elegidos los es-

cenarios de emisiones SRES IPCC A1B y A2. Los escenarios de emisiones son los provistos por el Informe especial del IPCC sobre escenarios de emisión (IPCC SRES: IPCC Special Report on Emissions Scenarios). La figura 1 muestra la evolución de las emisiones de gases de invernadero desde el presente hasta el año 2100, de acuerdo a los escenarios propuestos en el IPCC. Los escenarios son propuestos en estimaciones futuras del comportamiento y estado de los factores determinantes de las emisiones, como el cambio demográfico, el desarrollo social y económico, el uso de los recursos o la gestión de la contaminación.

1.2.2 El horizonte temporal

Además de las incertidumbres sobre la evolución del clima, existen otras muy importantes sobre el desarrollo de la tecnología, de los procesos productivos y del sistema socioeconómico que se incrementan, cuanto más lejano es el horizonte prospectivo. Las necesidades de adaptación al cambio climático más urgentes son las que están dentro del horizonte de planificación de algunas actividades como el planeamiento territorial, diseño de infraestructura, forestación, etc., que es en general de 20 a 40 años. Por eso, los resultados que se presentan en este informe son sobre los posibles cambios del clima para los periodos comprendidos entre los años 2011 – 2030 y 2046 – 2065.

Figura 1. Emisiones antrópicas de CO₂, CH₄, N₂O y dióxido de azufre en seis escenarios del IPCC: A1B, A2, B1 y B2, A1FI, A1T y IS92a.





2. Elección del modelo de gran escala

El conocimiento de la circulación atmosférica en niveles bajos y su variabilidad interanual es particularmente relevante en regiones como el Sur de Sudamérica, donde depende fuertemente de los anticiclones del Atlántico y Pacífico Sur. La ubicación de estos sistemas de alta presión varía durante el transcurso del año y, en consecuencia, también la dirección del viento sobre toda la región de influencia. Durante los últimos años, muchos autores han presentado evidencias acerca de cambios en la circulación atmosférica en los niveles bajos de la atmósfera tanto en escala global como regional. Por ejemplo, Minetti y Vargas (1987, 1990) estudiaron las fluctuaciones del anticiclón del Atlántico Sur sobre la costa de América del Sur. Camilloni (1999) y Camilloni y otros (2005) mostraron resultados que indican un desplazamiento hacia el sur del centro de alta presión del Atlántico Sur. Por otra parte, Barros y otros (2000) encontraron también un desplazamiento hacia el sur de la circulación atmosférica regional sobre el sudeste de Sudamérica. Sin duda, estas tendencias observadas a nivel regional forman parte de un comportamiento hemisférico más general. Gibson (1992) mostró un desplazamiento de 3° de latitud en dirección hacia los polos de los vientos máximos en 500 hPa, durante el período 1976-91. Van Loon y otros (1993) calcularon la latitud media del cinturón subtropical de alta presión del hemisferio sur y encontraron una tendencia de desplazamiento hacia el sur de 2°. Más recientemente, Gillet y otros (2003) utilizando simulaciones provistas por MCGs encontraron que el patrón global de tendencias de la presión a nivel del mar del período diciembre-febrero durante 1948-96 podría ser atribuido al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles. El patrón observado por Gillet y otros (2003) muestra, predominantemente, tendencias positivas en la banda de latitudes 30° S-45° S y una tendencia de más de 2 hPa en el Atlántico Sur, a cierta distancia de la costa argentina.

| 15

Como paso previo a la realización del downscaling dinámico, es necesario elegir el o los MCGs que mejor representan el clima actual, porque ello constituye de por sí la mejor base para el subsiguiente proceso de downscaling. La elección del mismo se basó en su habilidad para representar los campos de presión en la región del sur de América del Sur y de temperatura y precipitación en la región central de Argentina que incluye a la provincia de San Luis. Aquellos modelos que representaron en forma adecuada los campos regionales de la presión a nivel del mar y, en consecuencia, de la circulación en los niveles bajos de la atmósfe-

ra fueron posteriormente evaluados para analizar su capacidad de representar los campos mensuales, estacionales y anuales de temperatura y precipitación en la región central de Argentina. Los MCGs considerados son de la última generación que se elaboraron para la preparación del Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

2.1 Modelos analizados

Se utilizaron los promedios mensuales de presión al nivel del mar correspondientes a los reanálisis del NCEP/NCAR disponibles en una malla de 2.5° latitud por 2.5° longitud. Asimismo, se consideran los mismos promedios provistos por un conjunto de MCGs para el área comprendida entre 20° S y 45° S y 130° W y 0°. Se consideró a 1978-2000 como período asociado con el "clima presente". La elección de este período relativamente corto se debe a que los reanálisis tienen mayor habilidad para representar los datos observacionales sobre áreas oceánicas recién a partir de 1978 cuando los datos satelitales comenzaron a ser utilizados en forma completa (Sturaro 2003).

Para evaluar la habilidad de los MCGs para representar los campos medios de temperatura y precipitación correspondientes al período de "clima presente" se utiliza como base de datos observada la de la Universidad de Delaware (Willmott y Matusura, 2001) elaborada a partir de información de termómetros y pluviómetros de un conjunto de estaciones, disponible en una malla de 0.5° latitud x 0.5° longitud para el período 1950-99. En este caso, el período analizado es más largo dado que esta parte del estudio se restringe a una región continental donde la información tiene cobertura espacial y temporal adecuada con anterioridad a las de las áreas oceánicas. La validación se realiza considerando las salidas de MCGs para el área comprendida entre 27.5° S y 40° S y 72.5° W y 60° W.

El grupo de MCGs analizado es de acceso limitado y está formado por un conjunto de modelos y experimentos que forman parte de un esfuerzo internacional para el análisis y comparación de MCGs (Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison-PCMDI) utilizados para la preparación del AR4 del IPCC. Estos modelos son acoplados entre el océano y la atmósfera con diferente número de niveles verticales en el componente atmosférico que oscila entre 9 en el CNRM-CM3 y 38 en el UKMO-HadGEM1. La resolución horizontal de estos modelos también varía, pero en general oscila entre 1.25° y 4° de latitud y 1.875° y 5° de longitud. La evaluación de las simulaciones correspondientes al clima presente se realizaron utilizando los experimentos denominados "Climate of the 20th Century (20C3M)". En la Tabla 1 se presenta la lista de los MCGs analizados en el presente trabajo, indicando para cada uno de ellos la institución donde fue generado, el nombre y número de experimentos disponibles y el período analizado.

MODELO	INSTITUCIÓN	PERÍODO ANALIZADO
CNRM-CM3 (1)	Météo-France / Centre National de Recherches Météorologiques FRANCIA	1978-2000
CSIRO-Mk3.0 (1)	CSIRO Atmospheric Research AUSTRALIA	1978-1999
ECHAM5/MPI-OM (3)	Max Planck Institute for Meteorology ALEMANIA	1978-1999
GFDL-CM2.0 (1)	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory ESTADOS UNIDOS	1978-2000
GFDL-CM2.1 (1)		1978-2000
GISS- EH (5)	NASA / Goddard Institute for Space Studies ESTADOS UNIDOS	1978-2000
GISS-ER (5)		1978-2000
IPSL-CM4 (1)	Institut Pierre Simon Laplace FRANCIA	1978-2000
UKMO-HadCM3 (2)	Hadley Centre for Cli-mate Prediction and Re-search / Met Office REINO UNIDO	1978-1999
UKMO-HadGEM1 (2)		1978-1999

| 17

Tabla 1. Lista de MCGs analizados. Entre paréntesis se indica el número de simulaciones disponibles para cada modelo.

2.2 Validación de la presión regional estimada por los MCGs

Las figuras 1a y 1b muestran los coeficientes de correlación espacial a nivel mensual entre los campos de presión a nivel del mar de un conjunto de simulaciones de MCGs y los de los reanálisis NCEP/NCAR. Todos los modelos representan en forma adecuada los campos de presión del nivel del mar durante la mayor parte del año mostrando las peores correlaciones durante el otoño (marzo, abril y mayo). Particularmente deficientes son las representaciones correspondientes a los modelos CSIRO-MK3.0 y GFDL-CM2.1. Los modelos que mejor representan los campos medios mensuales de la presión son UKMO-HadGEM1, UKMO-HadCM3, ECHAM5/MPI-OM y IPSL-CM4 con coeficientes de correlación superiores a 0.75 en todos los meses. En consecuencia, estos MCGs fueron seleccionados para el análisis de sus campos de precipitación y temperatura.

18 |

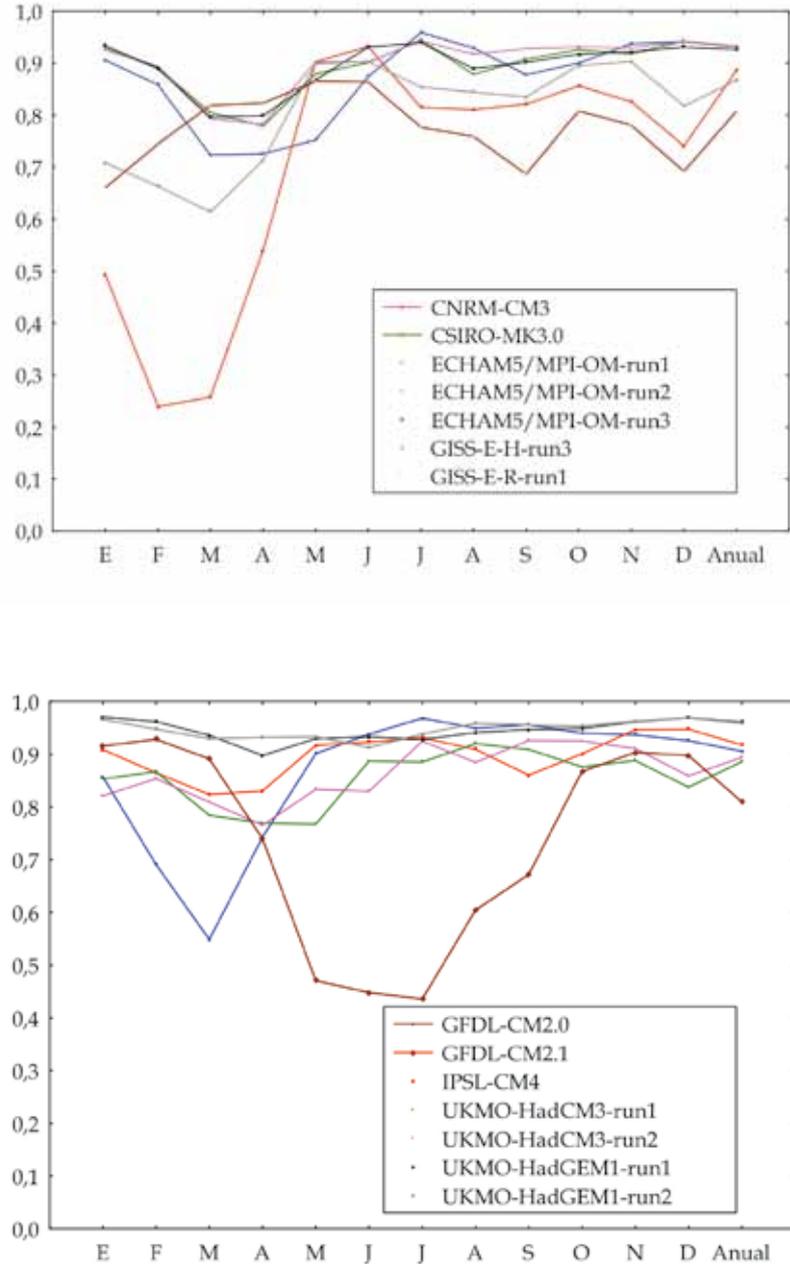


Figura 2: Coeficientes de correlación espacial entre los campos medios mensuales y anual de la presión a nivel del mar de un conjunto de MCG y los reanálisis de NCEP/NCAR.

2.3 Validación regional de la precipitación y temperatura de superficie estimadas por los MCGs

Los resultados de distintos experimentos numéricos con un dado MCG, con distintas condiciones de inicio, pero idénticas condiciones de forzamiento, indican que no es necesario tener en cuenta un promedio o ensamble de los mismos; pues las diferencias entre experimentos son mínimas. Por lo tanto, es suficiente contar con un solo experimento para la determinación de los valores medios.

El modelo que mejor describe el campo de precipitación regional es el UKMO-HadCM3. Ello, a pesar de que la correlación espacial es mejor en el caso del ECHAM5/MPI-OM, porque este último subestima muy fuertemente la precipitación en San Luis y no se puede descartar que estos errores se trasladen al modelo regional. Por esta razón, es que se considera que el modelo UKMO-HadCM3 es el más conveniente para ser utilizado como ingreso para el modelo regional.

Las simulaciones del campo de temperatura indican resultados similares a los de la precipitación en las correlaciones espaciales, lo que sirve para confirmar el descarte del modelo IPSL-CM4. Igualmente, las diferencias entre los campos medios simulados y observados presentan valores difícilmente explicables en el Este de San Luis y en la Pampa húmeda, en el caso del modelo ECHAM5/MPI-OM.

En conclusión, se consideró que el modelo UKMO-HadCM3 es el más apropiado para el proceso de downscaling.



3. Downscaling con un modelo de alta resolución

El uso de resultados de Modelos Climáticos Globales (MCG) no es un método más recomendable, dado que su baja resolución espacial no permite representar las condiciones climáticas para regiones con topografías complejas. Tal es al caso de San Luis, que se encuentra próxima a un gran accidente geográfico como es la Cordillera de los Andes y cuenta además con una orografía importante. Por ello, se llevaron a cabo proyecciones climáticas con un modelo de alta resolución de los llamados Modelos Climáticos Regionales (MCR) mediante la técnica conocida como downscaling dinámico.

Para los experimentos llevados a cabo para el clima de San Luis, se usaron los datos producidos por el Modelo Climático Global acoplado UKMO-HadCM3, siendo este modelo el que mejor simula el campo de precipitación regional. En conclusión, se consideró que el modelo UKMO-HadCM3 era el más apropiado para la aplicación de la técnica de downscaling.

La secuencia para la obtención de los escenarios regionales es la siguiente: el experimento inicial se llevó a cabo en el Hadley Centre del Reino Unido, con un modelo de baja resolución global. Se rea-

lizó una simulación extendida de 240 años y con una resolución de 300 Km. Las informaciones obtenidas del experimento señalado se usaron como condiciones de inicio y de superficie para realizar experimentos con un modelo de circulación general de la atmósfera (no acoplado con el mar) de 100 Km de resolución por períodos de 30 años. Estos experimentos se llevaron a cabo también en el mencionado centro inglés.

A su vez, la información obtenida de los experimentos anteriores es usada como condición inicial y de borde para los experimentos con un modelo regional de alta resolución. Estos experimentos se llevaron a cabo en el CIMA con el modelo climático regional PRECIS, cedido por el Hadley Centre, con una resolución de 25 Km. También se usaron datos de los reanálisis NCEP/NCAR como condiciones de inicio y de borde para la validación del modelo en el periodo del clima observado en el pasado reciente. Las proyecciones climáticas de los distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, hasta mediados del siglo, no son muy diferentes y recién en la segunda mitad del siglo presentan diferencias, que al principio no son muy importantes. Véase al

respecto el Tercer Informe. Por ello, y dada la cadena de incertidumbres actuante se consideró que sólo es necesario presentar un escenario, el que mayor cambio presenta, es decir dentro de la familia SRES el A1b. La posibilidad de contar con datos de una densa red de observación en la provincia de San Luis, permitió mejorar la resolución de los escenarios climáticos incorporando las singularidades locales.



4. Proyección de los cambios de precipitación. Escenario A1B

4.1 Precipitación media para el período de referencia 1980 – 1999

Los cambios proyectados por el modelo son respecto del periodo de referencia 1980 –1999. Para arribar al campo del periodo 2011 – 2030 debiera conocerse el campo de precipitación del periodo de referencia. Del mismo, sólo se puede tener un campo de gran escala a partir de las pocas estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) existentes, que muestran un gradiente general este-oeste. Esta no es información suficiente, especialmente en el norte provincial, donde las serranías imponen fuertes variaciones espaciales en los campos meteorológicos, y en particular en la lluvia.

La aproximación que se hace aquí es utilizar los datos de la Red de Estaciones Meteorológicas (REM) de San Luis, en el periodo de un año en el que se contó con datos chequeados, y superponerlos al campo diferencial de 1980 – 1999 – 2008 de la red oficial del SMN para generar lo que sería el campo de precipitación del periodo de referencia 1980/1999 que retendría a su vez la variación geográfica detectada por la REM en el 2008 y la variación entre ese año y el periodo de referencia.

En consecuencia, el mapa del periodo de referencia se construyó como:

Precip. San Luis 1980 – 1999= Precip1980 – 1999 SMN- Precip. 2008 SMN + REMP 2008 (1)

La figura 3 muestra el mapa anual medio que retiene el gradiente Este – Oeste, pero introduce la mayor precipitación de la zona serrana de La Punta y el Valle de Conlara. La figura 4 muestra los correspondientes mapas estacionales.

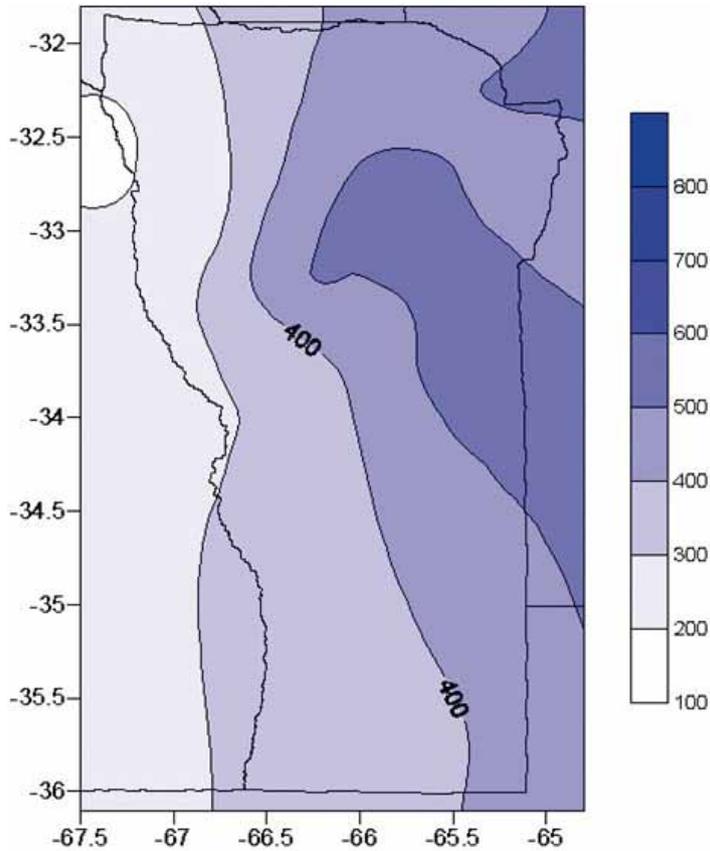


Figura 3: Precipitación media anual estimada del periodo de referencia 1980 - 1999.

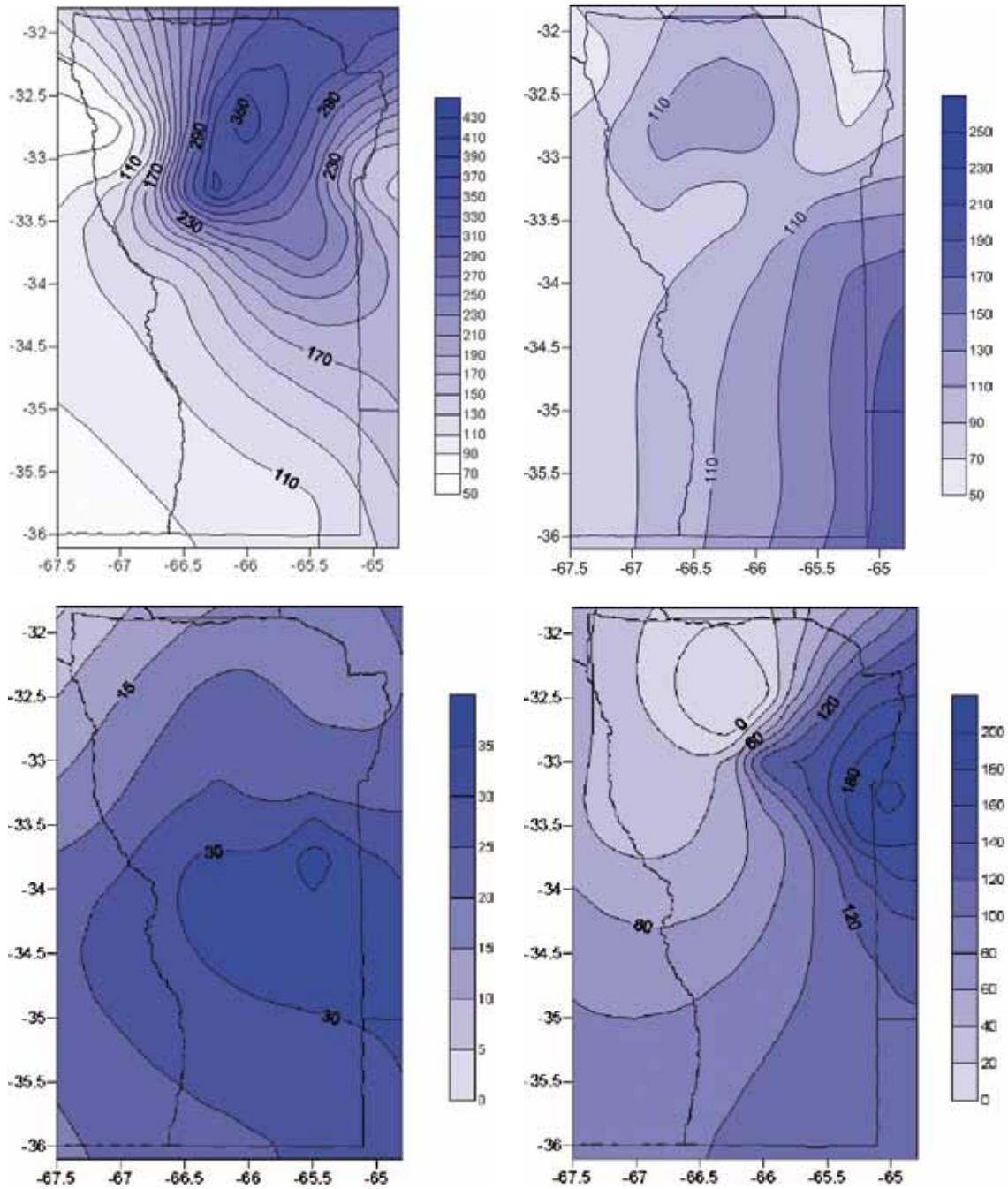


Figura 4: Precipitación media estacional estimada del periodo de referencia 1980 – 1999.

Verano (arriba a la izquierda), otoño (arriba a la derecha), invierno (abajo izquierda) y primavera (abajo derecha).

4.2 Cambios en la precipitación porcentual media para el período 2011 – 2030

La figura 5 presenta los cambios porcentuales de la precipitación proyectados para el período 2011 – 2030, supuesto un escenario de emisiones A1B. La referencia es el clima presente representado por el período 1980 – 1999.

En este escenario se proyecta un aumento leve de la precipitación media anual, en prácticamente toda la provincia, que alcanza al 5 %. Puede esperarse un bolsón de cambio positivo en el centro de la provincia que excede el 5%.

Si se analiza la variabilidad estacional, se ve que los aumentos medios anuales no se dan a lo largo de todo el año, sino que los cambios en la lluvia dependen de la estación del año, figuras 6 y 7.

26 |

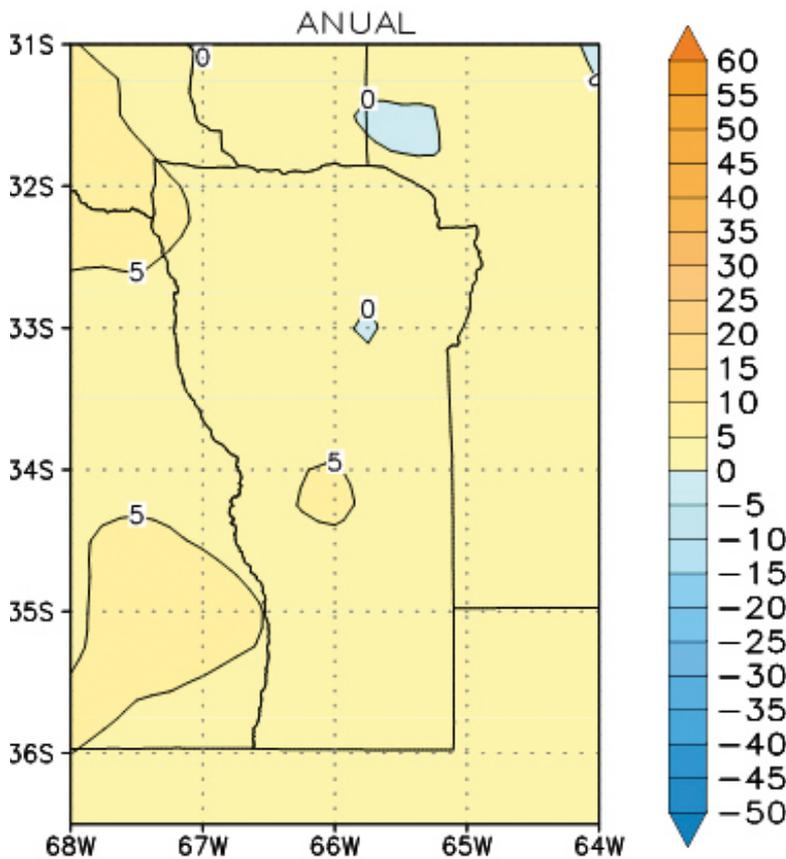


Figura 5: Cambio en la precipitación media anual para el escenario de emisiones A1B para el período 2011 y el 2030 con respecto al período 1980 – 1999.

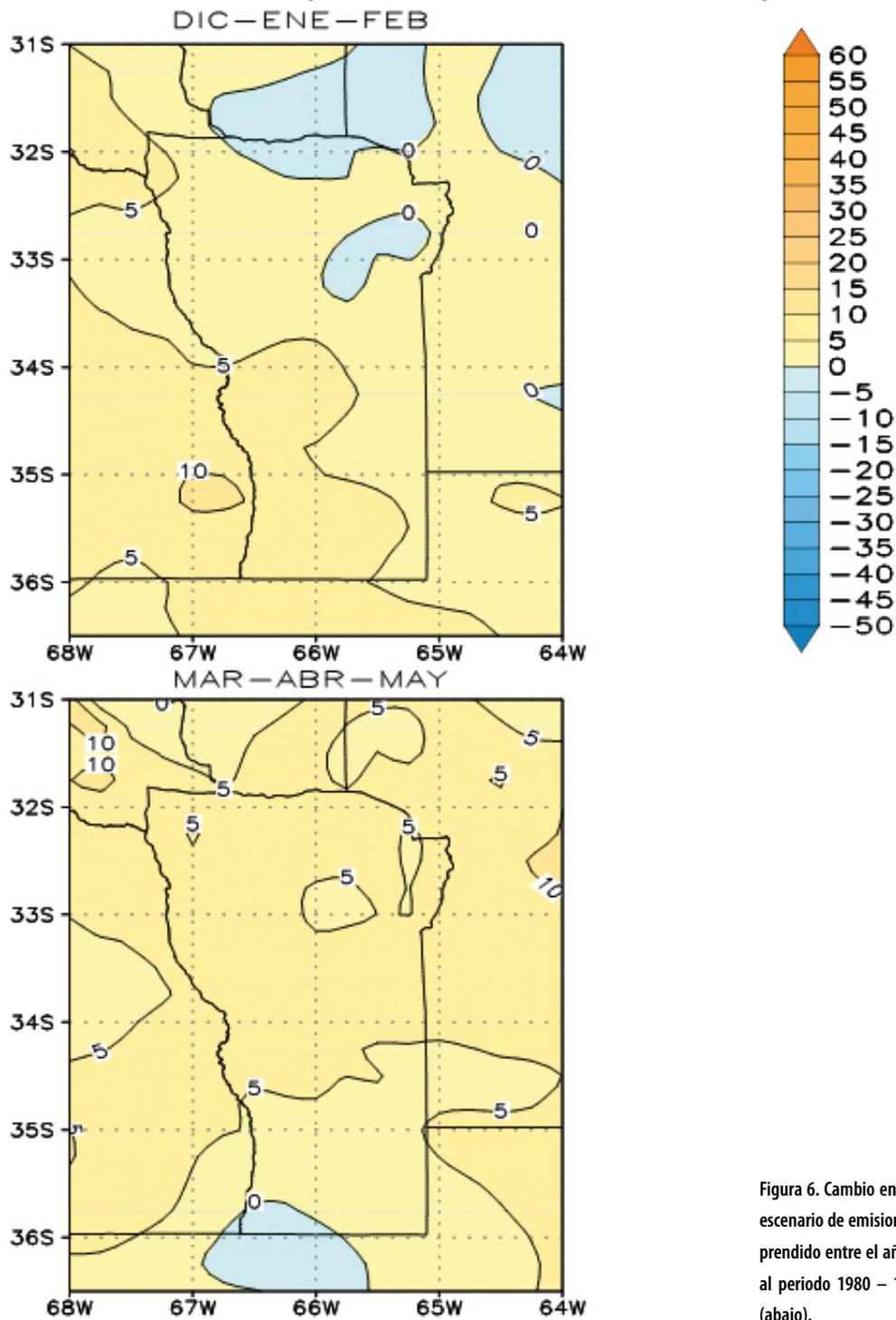


Figura 6. Cambio en la temperatura media para el escenario de emisiones A1B y para el período comprendido entre el año 2011 y el 2030 con respecto al periodo 1980 – 1999. Verano (arriba) y otoño (abajo).

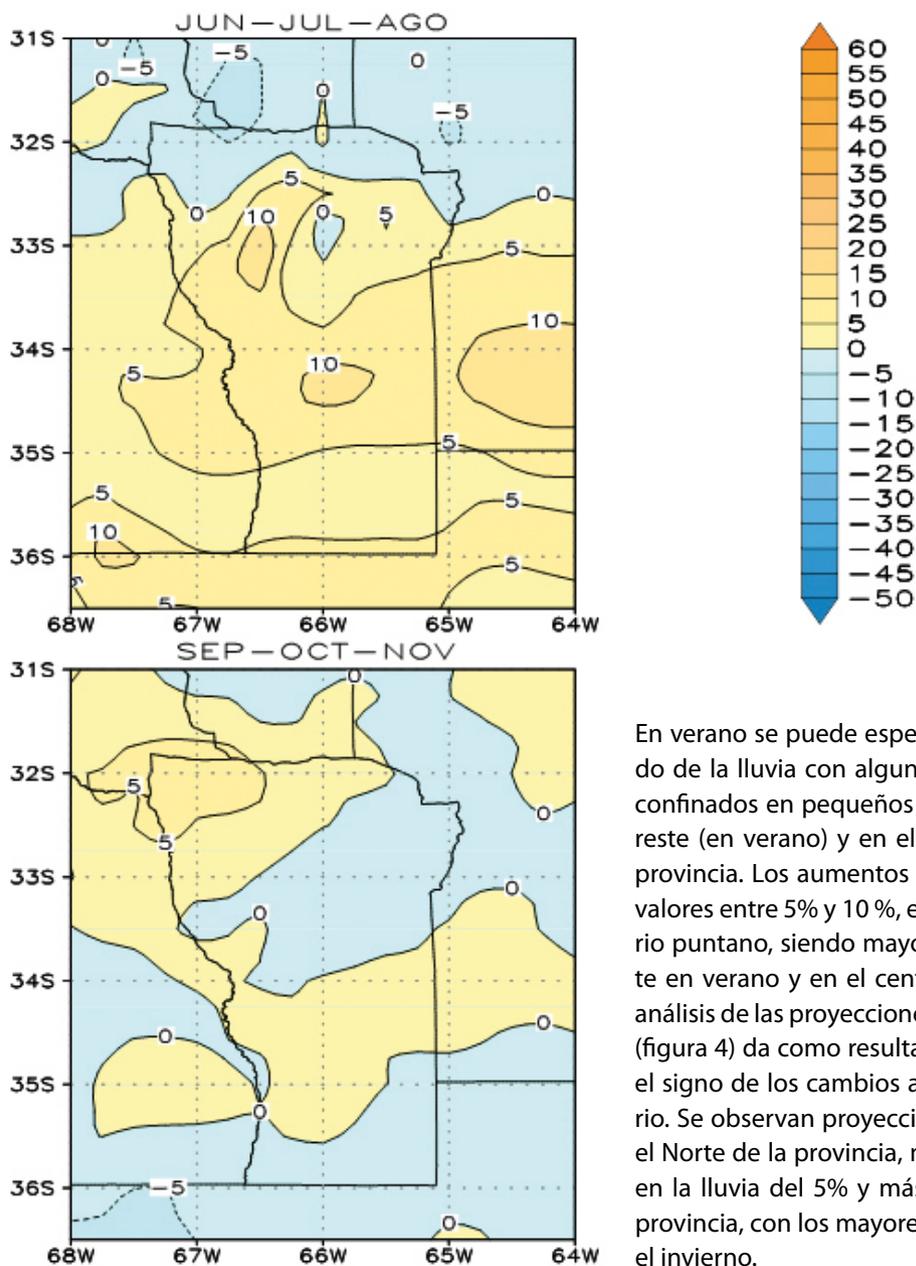


Figura 7. Cambio en la temperatura media para el escenario de emisiones A1B y para el período comprendido entre el año 2011 y el 2030 con respecto al período 1980 – 1999. Invierno (arriba) y primavera (abajo).

En verano se puede esperar un aumento generalizado de la lluvia con algunos valores negativos (-5 %) confinados en pequeños bolsones en el Norte y Noroeste (en verano) y en el Sudoeste (en otoño) de la provincia. Los aumentos de la precipitación llegan a valores entre 5% y 10 %, en la mayor parte del territorio puntano, siendo mayores en el centro y Sudoeste en verano y en el centro y Norte en invierno. Un análisis de las proyecciones para invierno y primavera (figura 4) da como resultado una heterogeneidad en el signo de los cambios a lo largo de todo el territorio. Se observan proyecciones negativas (-5 %) hacia el Norte de la provincia, mientras que hay aumentos en la lluvia del 5% y más del 10% en el resto de la provincia, con los mayores cambios en el centro para el invierno.

Las mayores pérdidas en la precipitación se esperan en la primavera, particularmente con valores de -5 % en el centro, Noroeste y Sur del territorio. Precipitaciones entre +5% y +10% se proyectan para el Noroeste de la provincia.

4.3 Escenarios de la precipitación media para el período 2011 – 2030

El cálculo de los escenarios de precipitación se hace agregando al campo de precipitación de referencia, ecuación (1) y figura 6, la fracción porcentual de los escenarios de cambio. Como los cambios proyectados por el modelo para el periodo 2011/2030 son porcentualmente pequeños (figura 7), la precipitación media anual no cambiaría significativamente (figura 8). Lo mismo ocurre con las lluvias estacionales, en las que los mayores cambios estarían en los meses de invierno (figura 9).

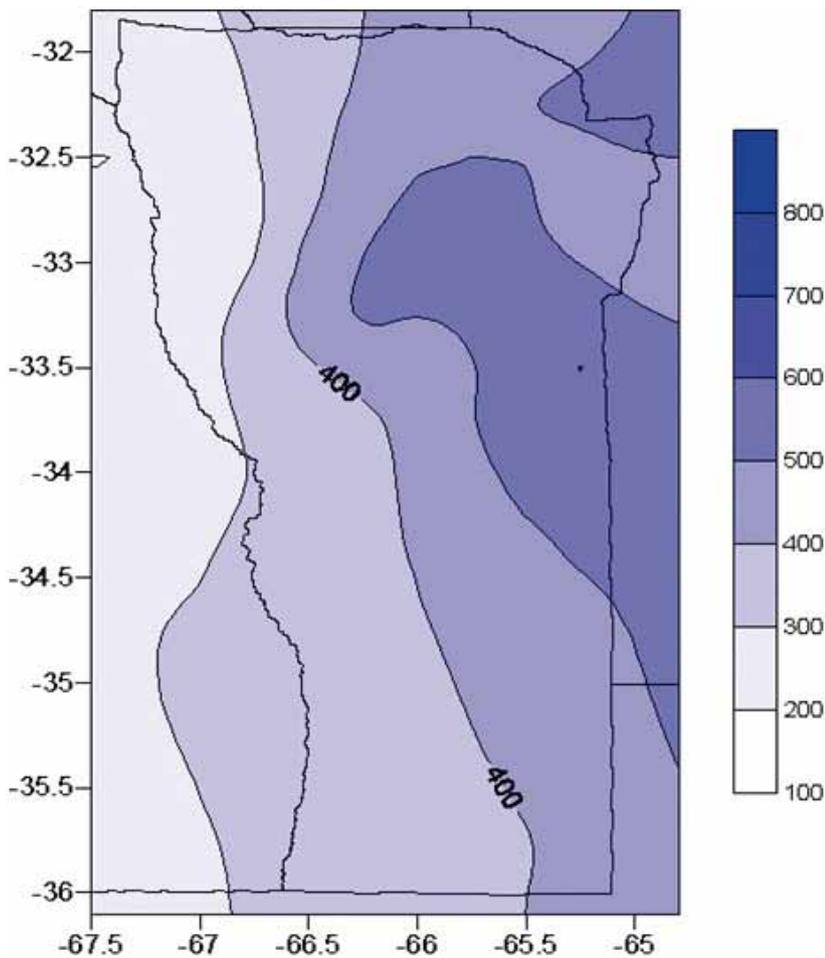


Figura 8. Escenario de precipitación media anual para el periodo 2011/2030.

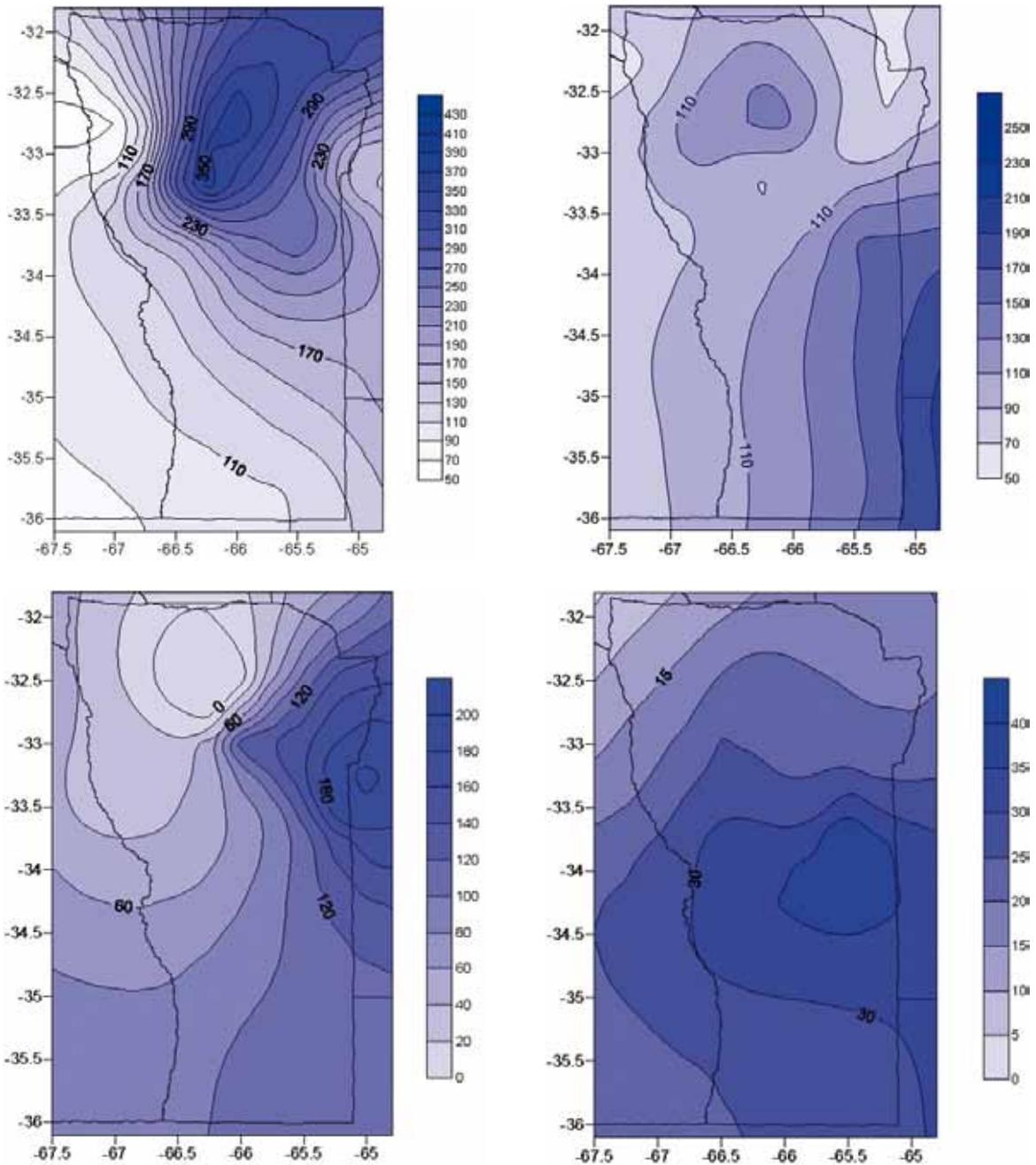


Figura 9. Escenarios de precipitación estacional media para el periodo 2011/2030. Verano (arriba a la izquierda), otoño (arriba a la derecha), invierno (abajo izquierda) y primavera (abajo derecha.)

4.4 Cambios en la precipitación porcentual media para el período 2046 – 2065

La figura 10 presenta los cambios porcentuales de la precipitación proyectados para el período 2046 – 2065, con referencia al período 1980 – 1999. Puede notarse que en este horizonte temporal más lejano, los cambios se intensifican con valores que exceden el 15 % anual en el centro y Noroeste de San Luis. Puede observarse también menores cambios y un bolsón de pérdidas en la lluvia hacia el Noreste.

Si se analiza la variabilidad estacional, nuevamente se ve que

los aumentos medios anuales no se dan a lo largo de todo el año, sino que los cambios en la lluvia dependen de la estación del año. En verano se puede esperar un aumento generalizado de la lluvia con algunos valores negativos (-5 %) confinados en pequeños bolsones en el Norte y Noreste y en el Sudoeste, en otoño, de la provincia. En contraste los aumentos de la precipitación llegan a valores entre 5% y más de 30%, en el centro y Sudoeste en verano y en el centro y Norte en invierno, hasta 20 % (figura 11).

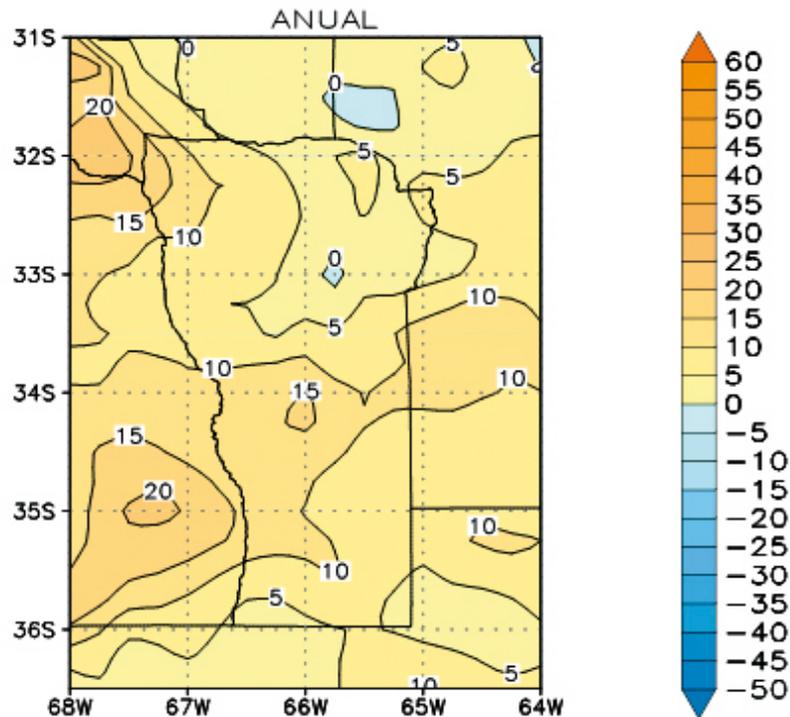


Figura 10. Cambio en la precipitación media anual para el escenario de emisiones A1B y para el período comprendido entre el año 2046 y el 2065 con respecto al período 1980 – 1999.

Las proyecciones para invierno y primavera (figura 12) son heterogéneas en el signo de los cambios a lo largo de todo el territorio. Se observan proyecciones negativas (superior a -10 %) hacia el Norte de la provincia en invierno, mientras que hay aumentos en la lluvia superiores a 40% también en invierno en el centro Oeste. Es notable el fuerte gradiente meridional de cambios en la lluvia que va de -5 % a más de + 40 % hacia el Norte, indicando la influencia de la topografía.

Este detalle fue posible por la alta resolución (25 Km.) del modelo utilizado y no se observa en las proyecciones dadas por los modelos globales, como se mostró en los resultados del Segundo Informe. Para San Luis no se obtienen proyecciones detalladas de cambios de lluvia con un modelo global. Las mayores pérdidas en la precipitación se esperan en la primavera, particularmente con valores de -5 % en el centro, Noreste y Sur del territorio. Precipitaciones entre +5 % y +15 % se proyectan para el Noroeste de la provincia.

32 |

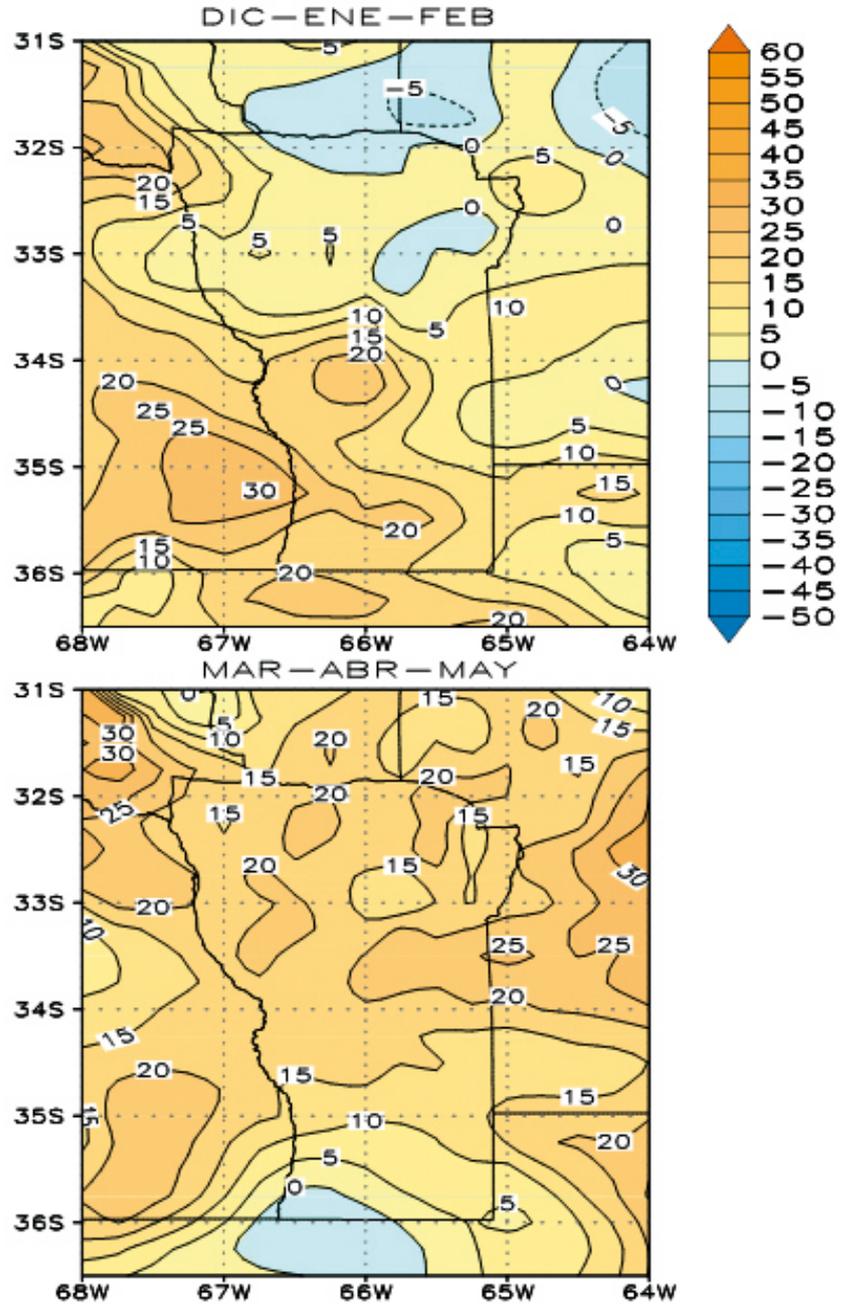


Figura 11. Cambio en la precipitación media estacional para el escenario de emisiones A1B y para el período comprendido entre el año 2046 y el 2065 con respecto al periodo 1980 – 1999. Verano (arriba) y oñoño (abajo).

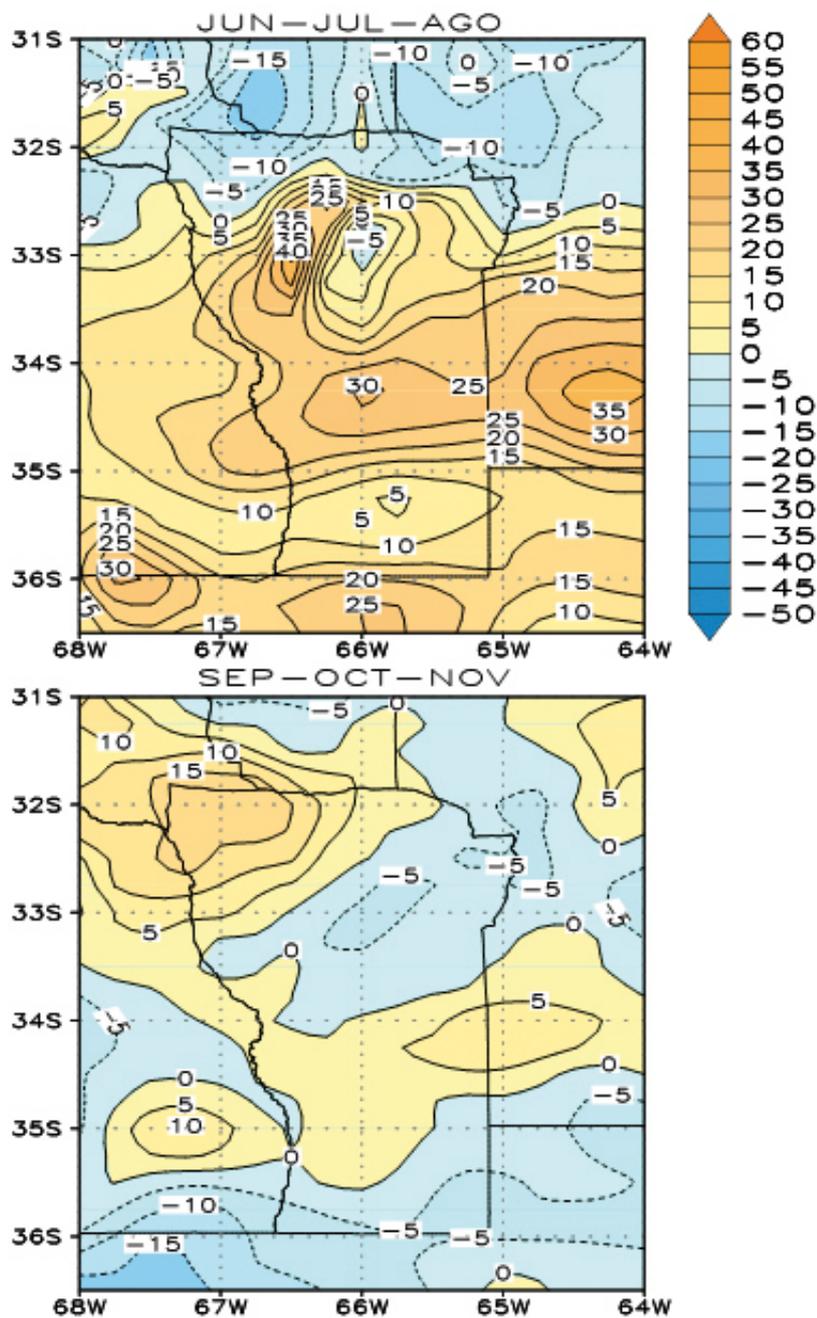
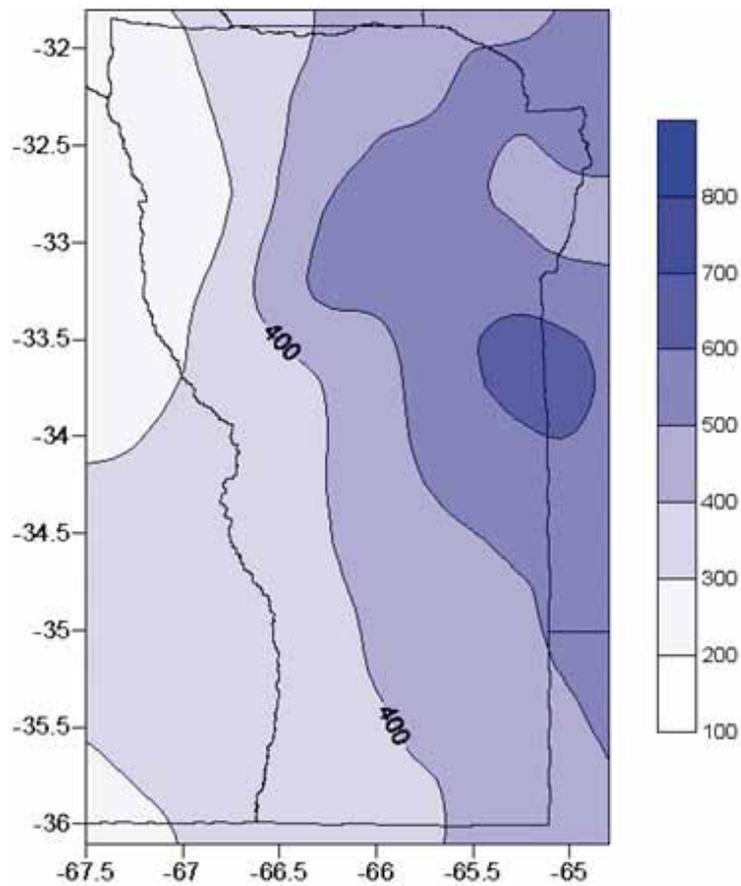


Figura 12. Cambio en la precipitación media estacional para el escenario de emisiones A1B y para el período comprendido entre el año 2046 y el 2065 con respecto al período 1980 – 1999. Invierno (arriba) y primavera (abajo).

4.5 Escenarios de la precipitación media para el período 2046 – 2065

La figura 13 muestra el escenario de precipitación para el periodo 2046 – 2065 donde las mayores precipitaciones en el centro de la provincia se aprecian claramente en el Este.



34 |

Figura 13. Escenario de precipitación media anual para el periodo 2046 – 2065

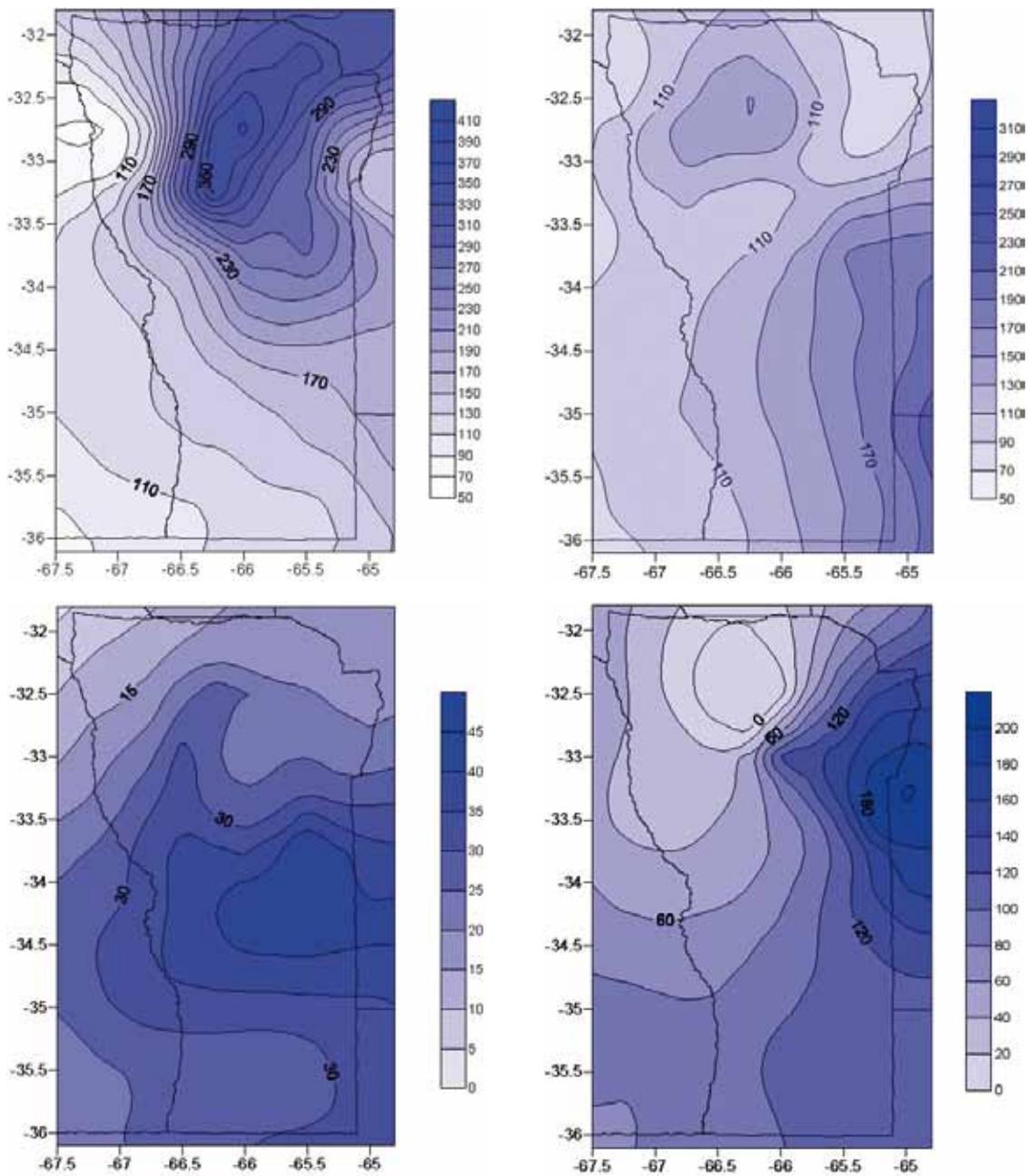


Figura 14. Escenarios de precipitación estacional media para el periodo 2046 – 2065. Verano (arriba a la izquierda), otoño (arriba a la derecha), invierno (abajo izquierda) y primavera (abajo derecha.)



5. Proyección de los cambios de temperatura. Escenario A1B

5.1 Temperatura media para el período de referencia 1980 – 1999

El procedimiento seguido para elaborar los escenarios de temperatura media anual y estacional es el mismo que para la precipitación. De forma que el mapa del periodo de referencia se construyó como:

$$\text{Temp San Luis 1980/1999} = \text{Temp 1980/1999 SMN} - \text{Temp 2008 SMN} + \text{REMT 2008 (2)}$$

Lo que cambia es la forma en que se construye el campo de temperatura observado por las estaciones de la REM. En la zona Noreste de San Luis, al Norte de 33,5° S y al Este 66,5° W las diferencias de altura son la primera fuente de variación espacial de la temperatura. En esa región, la interpolación espacial de esta variable carece de sentido porque la temperatura está determinada por la altura y eventualmente en forma secundaria por la posición relativa respecto de la topografía que condiciona los flujos de aire.

Por ello, en lugar de hacer una interpolación espacial lo que se hizo fue determinar la temperatura como una función de la altura media para un retículo de ¼ de grado en latitud y longitud. Esta es

una función que varía con el mes del año y que se determinó empíricamente con las observaciones de todas las estaciones con datos de la región Noroeste. La figura 15 ejemplifica cómo en cuatro de los meses la temperatura de lunas de 20 estaciones se distribuye linealmente con la altura. Ello es más exacto en los meses de verano y primavera y menos en invierno. De todos modos, como lo que se busca es representar, no la temperatura de un determinado punto, sino el promedio para un área de ¼ de grado de lado, donde las alturas son muy variables, la función lineal de cada mes es una buena aproximación.

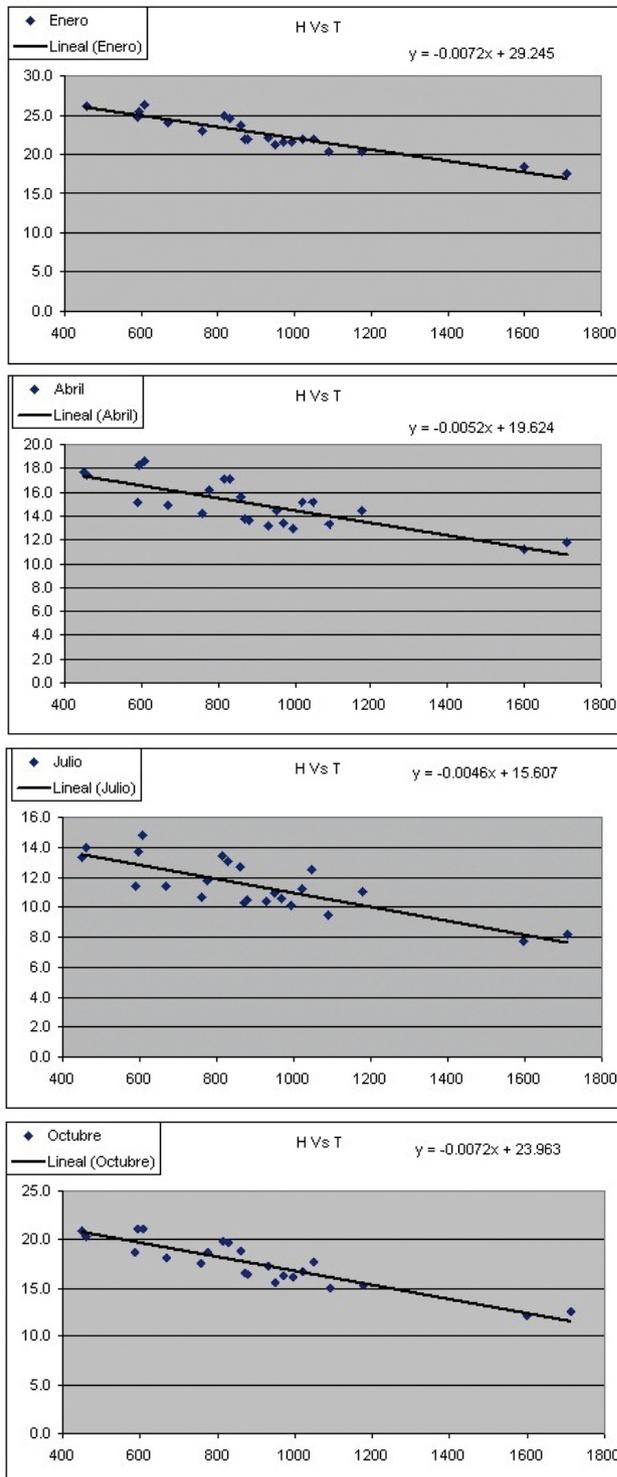


Figura 15. Temperatura media mensual de las estaciones REM del Noreste de San Luis en función de su altura para los meses indicados en los paneles.

Para el resto de la provincia y alrededores se procedió como en el caso de la interpolación de la precipitación mediante el método Krigging. A partir de ese campo, se calculó el valor al centro de retículos del mismo tamaño que los de la zona Noreste. Lo mismo se hizo con los dos primeros términos de la derecha de la ecuación (2). De este modo, se hace una presentación gráficamente homogénea.

La figura 15 muestra la temperatura media anual para el periodo de referencia y la 16 las temperaturas medias estacionales del mismo periodo (1980 – 1999).

Como es de esperar, el campo de temperatura presenta un gradiente meridional en las zonas llanas y menores temperaturas en la región montañosa por el efecto de la altura. Esta característica se presenta sin muchas variantes, excepto por la magnitud de la temperatura en las cuatro estaciones (figura 17).

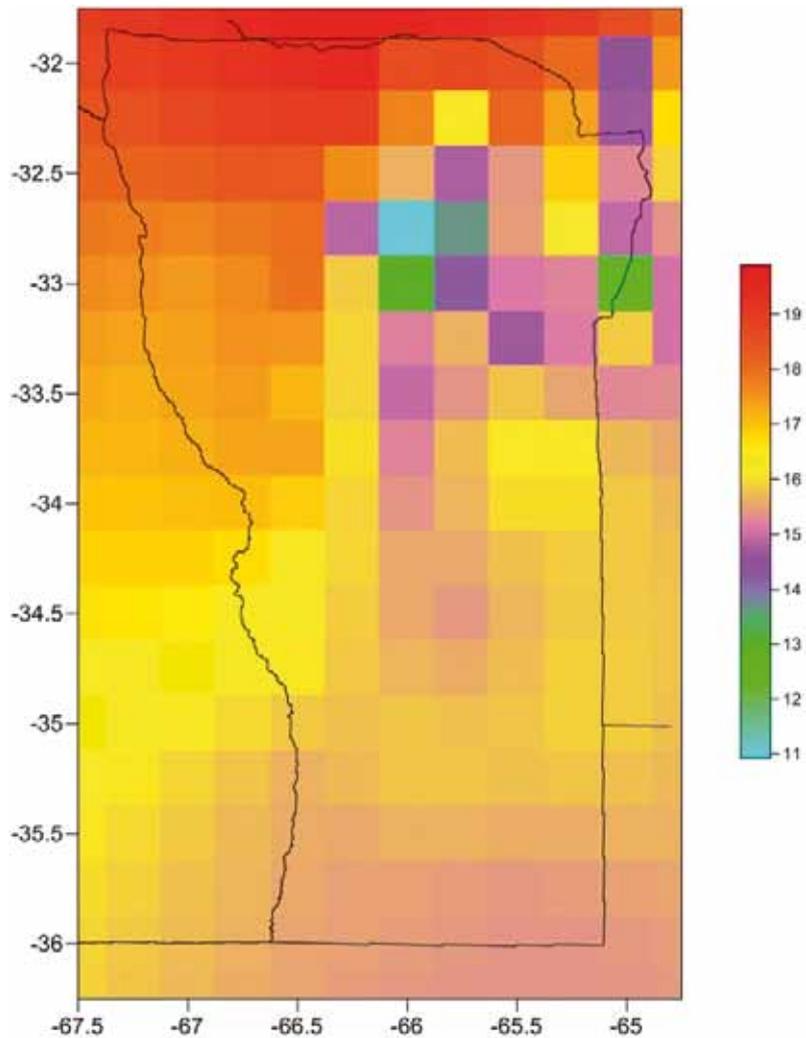


Figura 16. Temperatura media anual estimada del periodo de referencia 1980 – 1999.

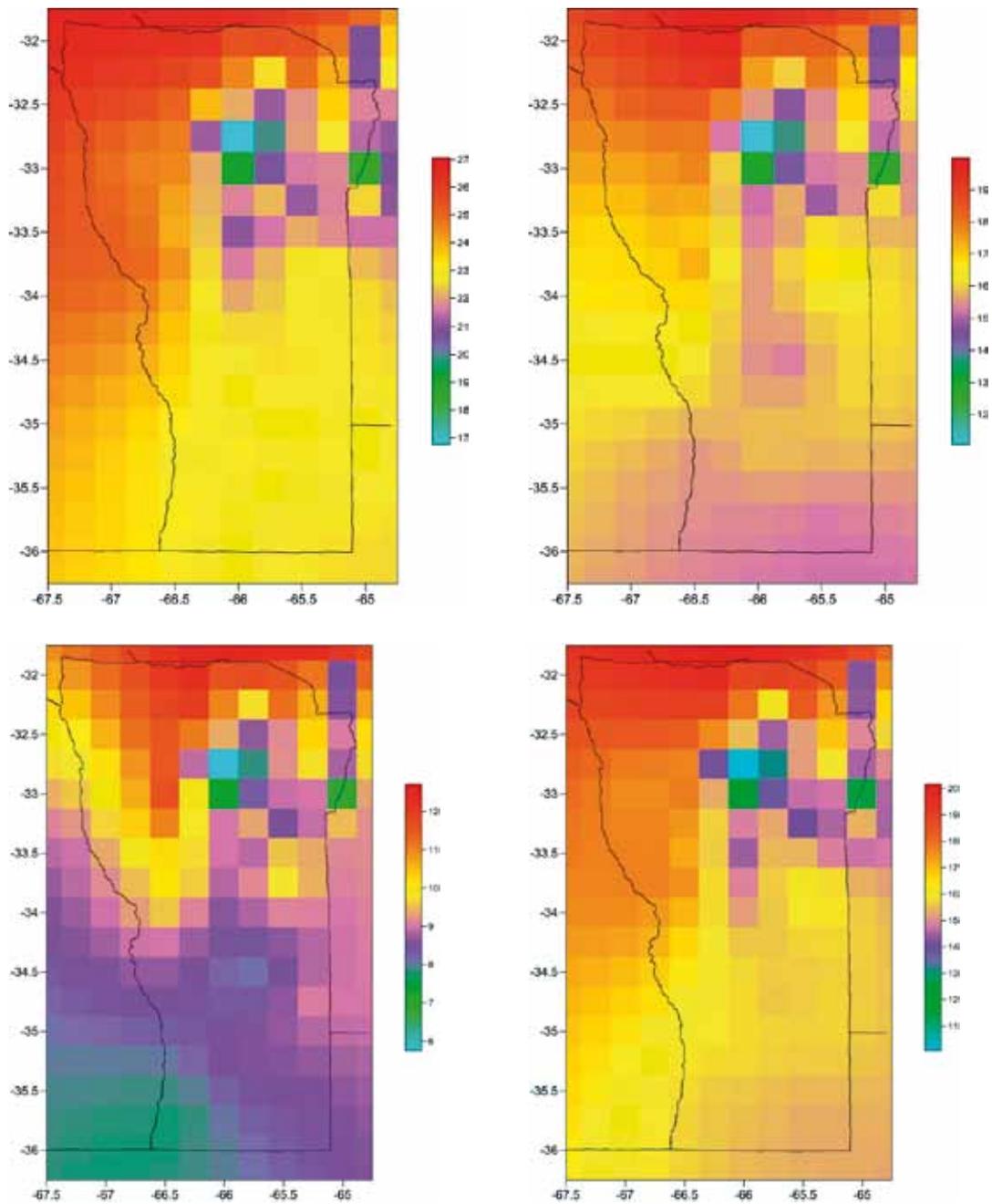


Figura 17. Temperatura media estacional estimada del periodo de referencia 1980 – 1999.

Verano arriba a la izquierda, otoño (arriba al derecha), invierno (abajo izquierda) y primavera (abajo derecha).

5.2 Cambios en la temperatura media para el período 2011 – 2030

La figura 18 muestra el cambio de la temperatura media para el periodo 2011 – 2030.

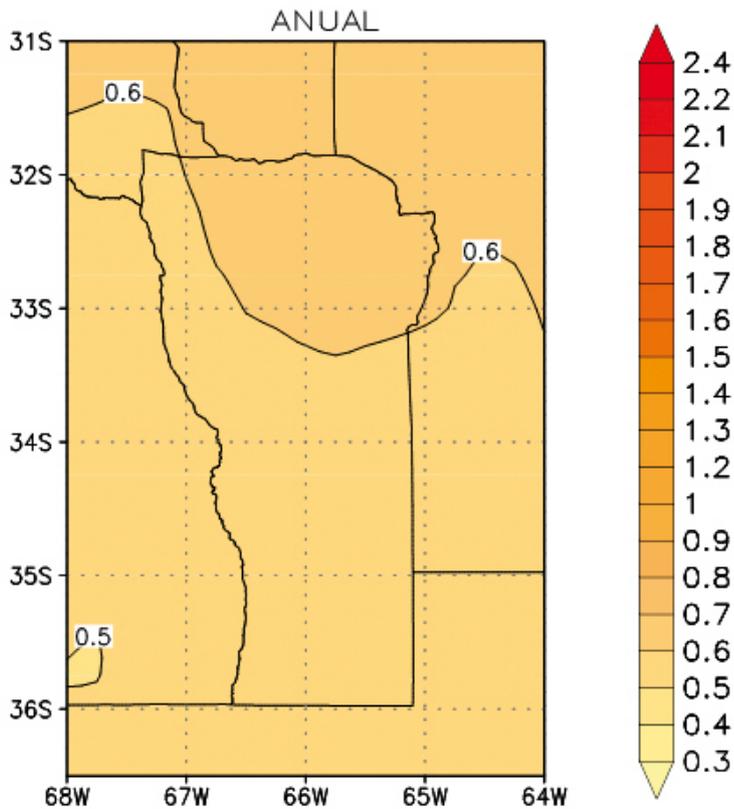


Figura 18. Cambio en la temperatura media para el escenario de emisiones A1B y para el período comprendido entre el año 2011 y el 2030 con respecto a 1980 – 1999.

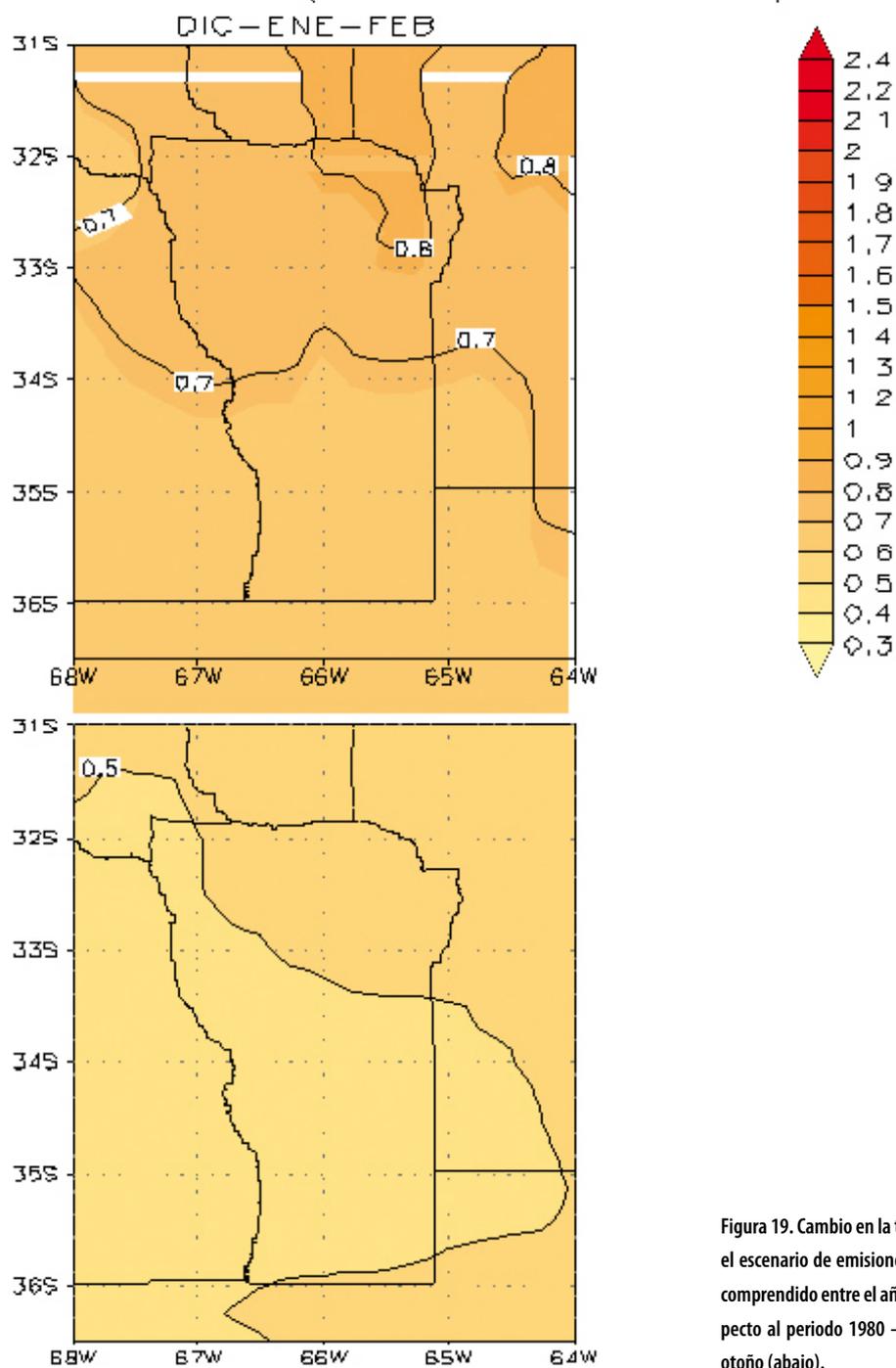
| 41

El cambio de temperatura media anual en San Luis sería de 0,5 a 0,6° C para todo el Sur y centro de la provincia, mientras que en el Norte los cambios esperados podrían ser mayores a 0,6° C. Estos cambios son tomados con referencia al período 1980 – 1999.

Si se consideran los cambios estacionales para el mismo período y escenario, las figuras 19 (verano y otoño) y 20 (invierno y primavera) muestran que los ma-

yores aumentos de temperatura para la provincia se dan para el verano con valores de cambio mayores a 0,7° C y 0,8° C para el centro y Noreste de la provincia. Las proyecciones para el invierno muestran cambios mayores a 0,7° C en el extremo Noreste provincial.

Cambio de la Temperatura Media(C) Escenario: A1B
Periodo 2011-2030 (Referencia: 1980-1999)



42 |

Figura 19. Cambio en la temperatura media para el escenario de emisiones A1B y para el período comprendido entre el año 2011 y el 2030 con respecto al período 1980-1999. Verano (arriba) y otoño (abajo).

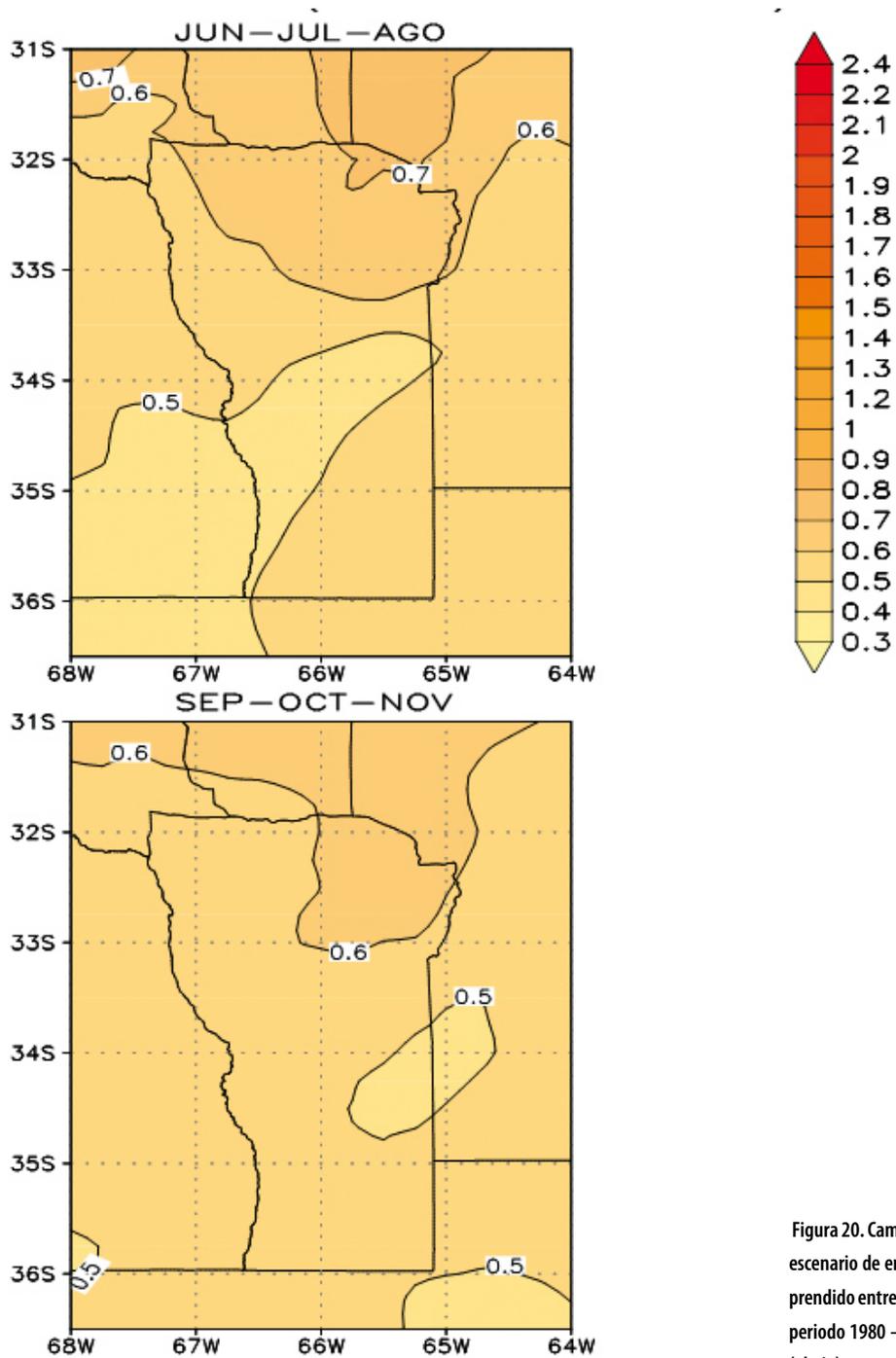


Figura 20. Cambio en la temperatura media para el escenario de emisiones A1B y para el período comprendido entre el año 2011 y el 2030 con respecto al período 1980–1999. Invierno (arriba) y primavera (abajo).

5.3 Escenarios de temperatura media para el período 2011 – 2030

La figura 21 muestra el escenario de la temperatura media anual para el periodo 2011—2030, y la 22 las cuatros estaciones respectivas. Como se puede apreciar los cambios son menores y se mantienen las características mencionadas para el periodo de referencia. Obviamente, los cambios son mejor apreciados en las figuras 18 a 20.

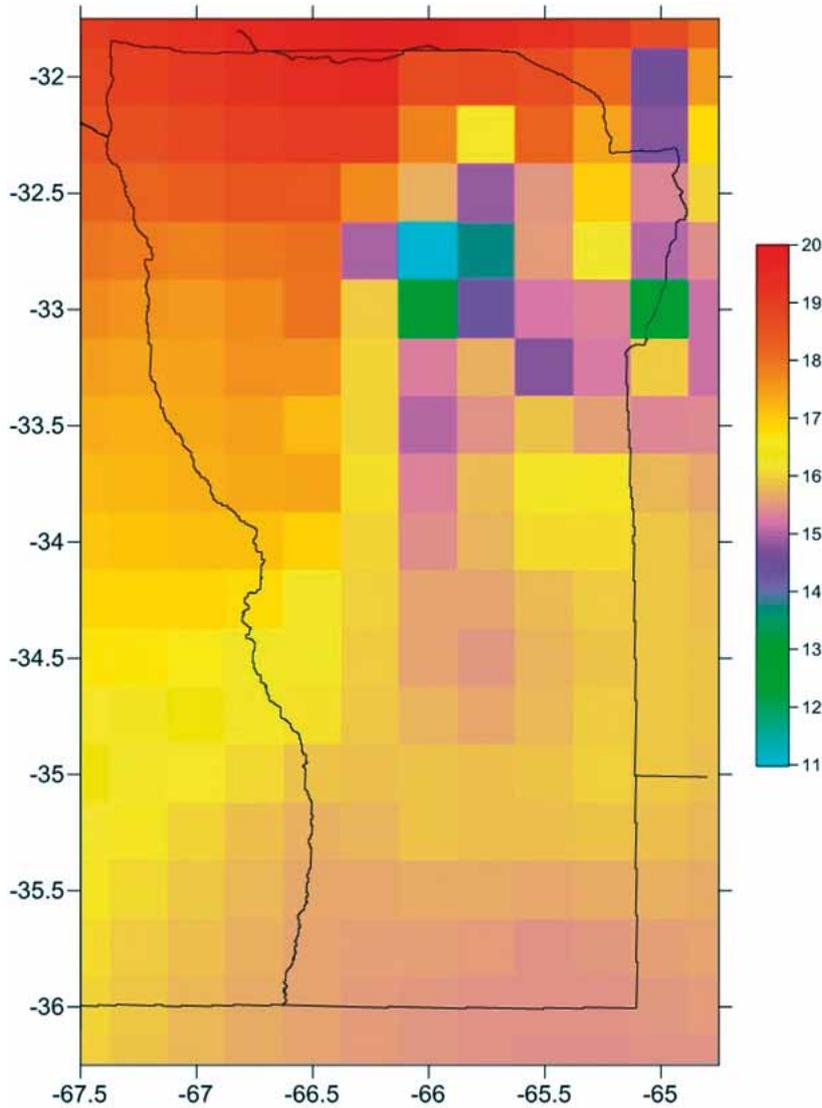


Figura 21. Escenario de temperatura media anual para el periodo 2011 – 2030.

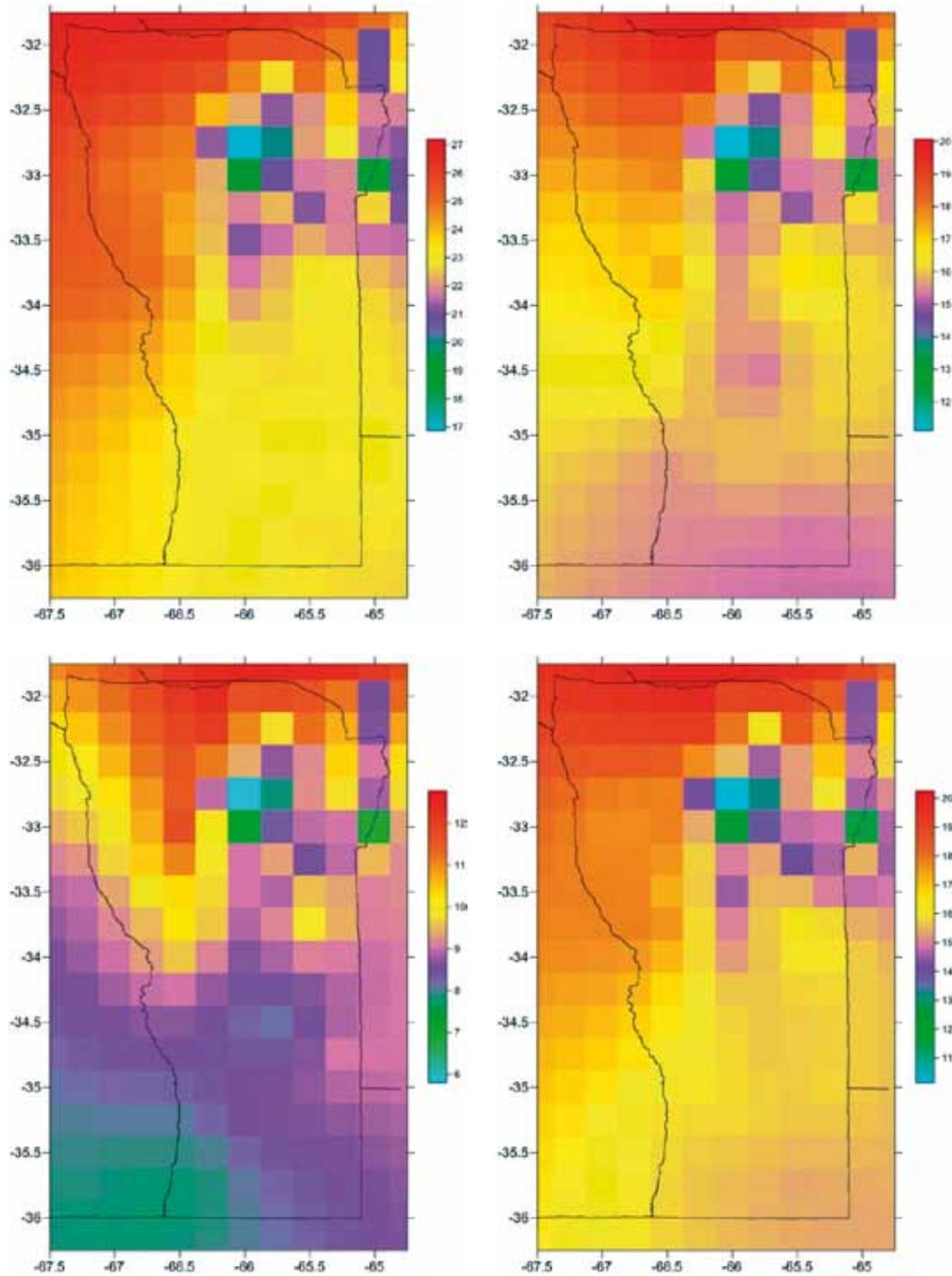


Figura 22. Escenarios de temperatura estacional media para el periodo 2011 – 2030. Verano (arriba a la izquierda), otoño (arriba a la derecha), invierno (abajo izquierda) y primavera (abajo derecha.)

5.4 Cambios en la temperatura media para el período 2046 – 2065

En la figura 23 se muestra la proyección del cambio de temperatura media anual en San Luis para el escenario A1B y para el período 20462 – 2065. En la misma se observa que el gradiente del cambio desde el Sur al Norte es más abrupto que el proyectado para el período 2011 – 2013 y el mismo va desde + 1,5 ° C en el Sur, mientras que en el Norte los cambios esperados podrían ser mayores a 1,9° C. Nuevamente, estos cambios son tomados con referencia al período 1980 – 1999 que es considerado el clima presente.

Si se consideran los cambios estacionales para el mismo período y escenario, las figuras 24 (verano y otoño) y 25 (invierno y primavera) muestran que los mayores aumentos de temperatura para la provincia se dan también para el verano con valores de cambio que superan los 2,2° C hacia el Norte de la provincia. Las proyecciones para el invierno señalan aumentos de hasta 2,0° C en el Sur de la provincia.

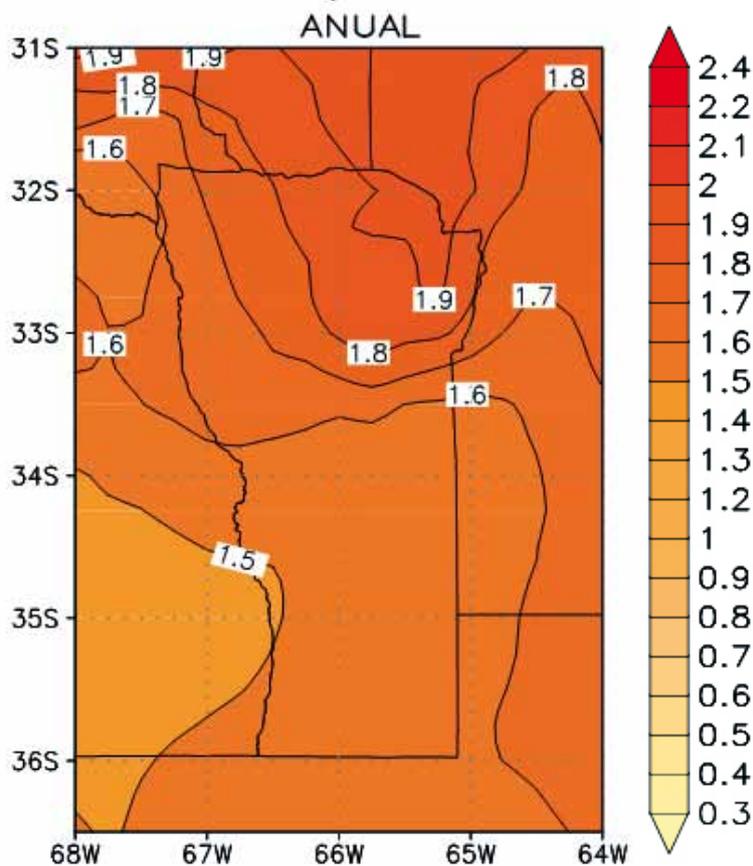


Figura 23. Cambio en la temperatura media para el escenario de emisiones A1B y para el período comprendido entre el año 2046 y el 2065 con respecto al período 1980—1999.

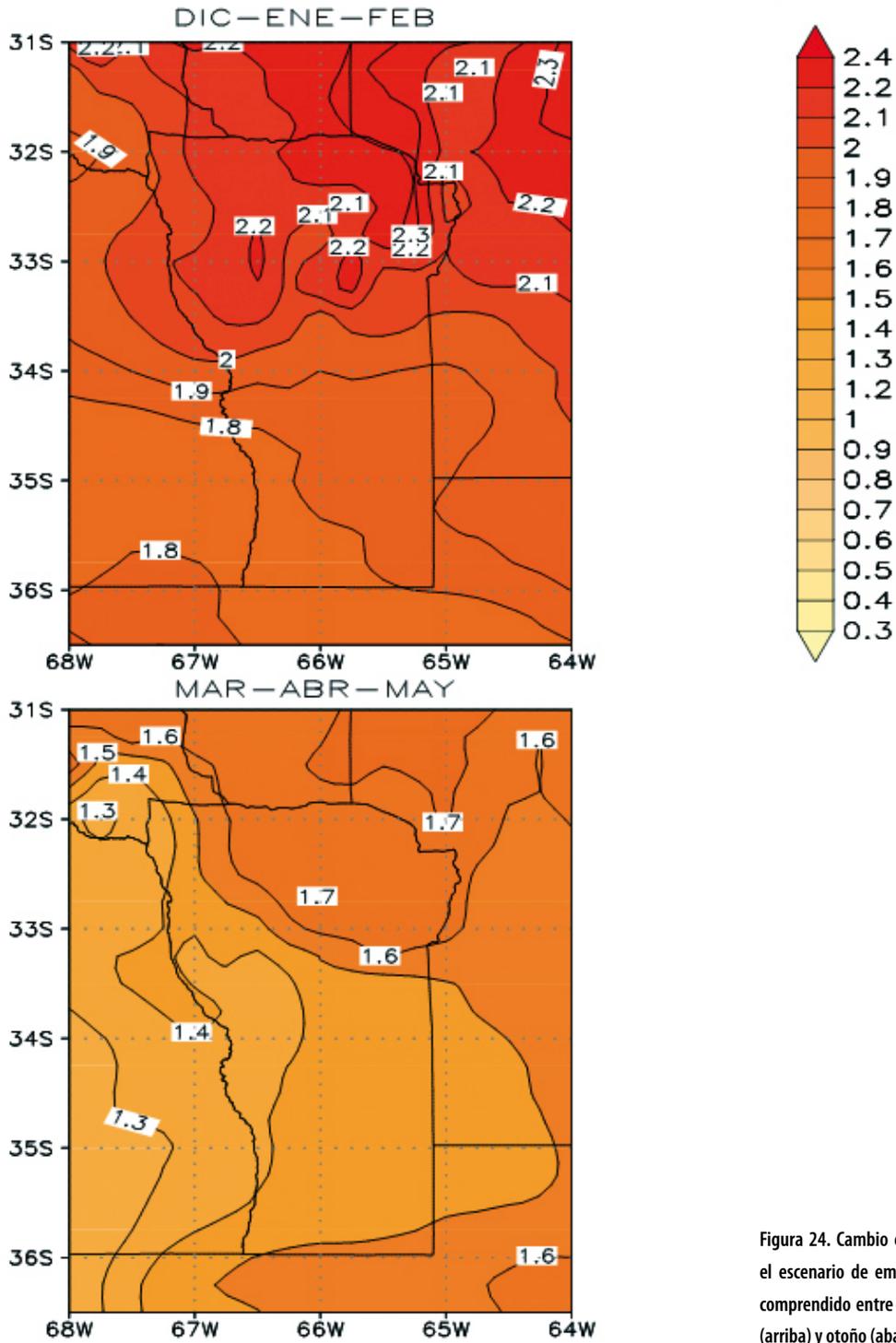


Figura 24. Cambio en la temperatura media para el escenario de emisiones A1B y para el período comprendido entre el año 2046 y el 2065. Verano (arriba) y otoño (abajo).

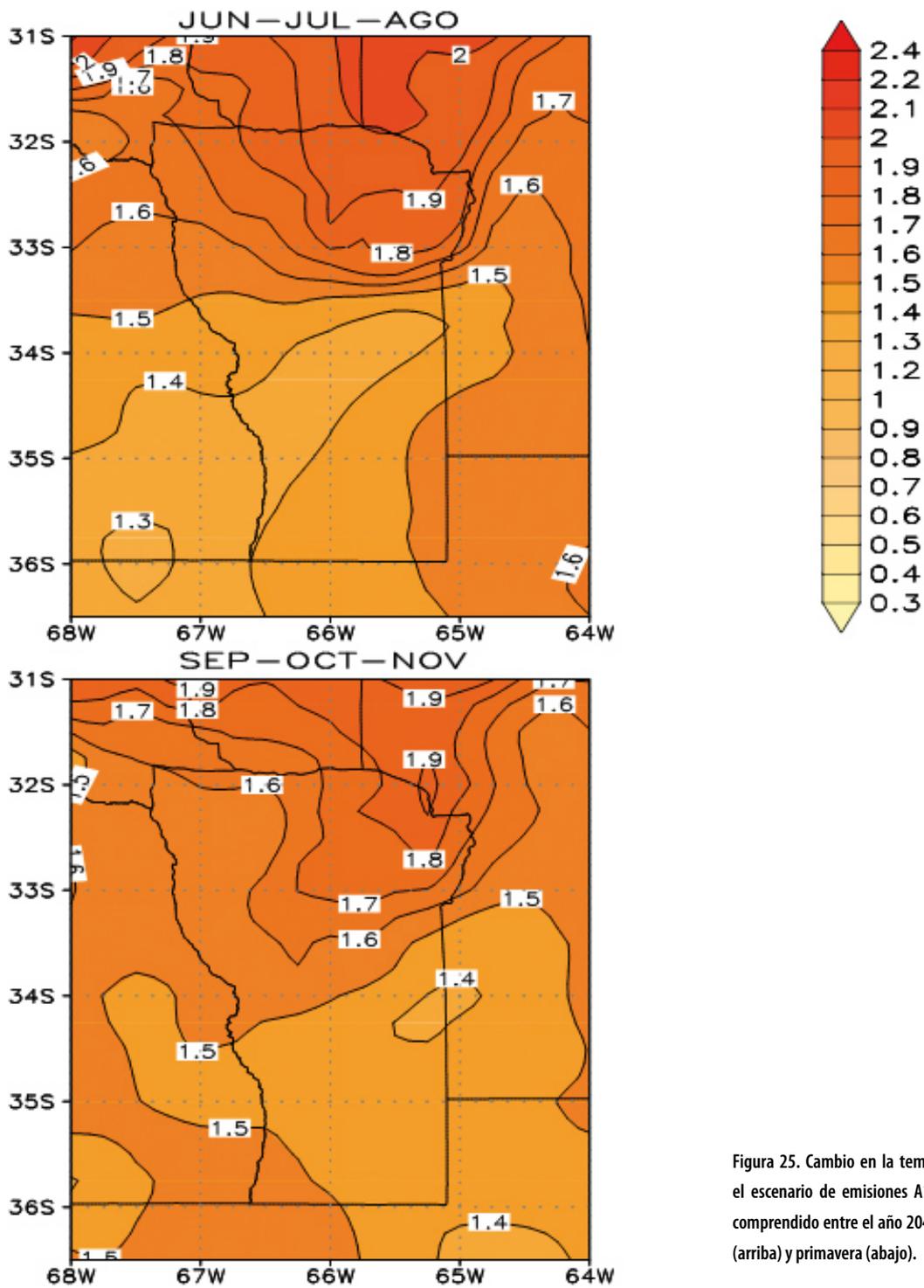


Figura 25. Cambio en la temperatura media para el escenario de emisiones A1B y para el período comprendido entre el año 2046 y el 2065. Invierno (arriba) y primavera (abajo).

5.5 Escenarios de temperatura media para el periodo 2046 – 2065

La figura 26 muestra el escenario de la temperatura media anual para el periodo 2046—2065 y la 27 el de las cuatros estaciones. A pesar que los cambios ya son más importantes se siguen manteniendo las características espaciales del periodo de referencia.

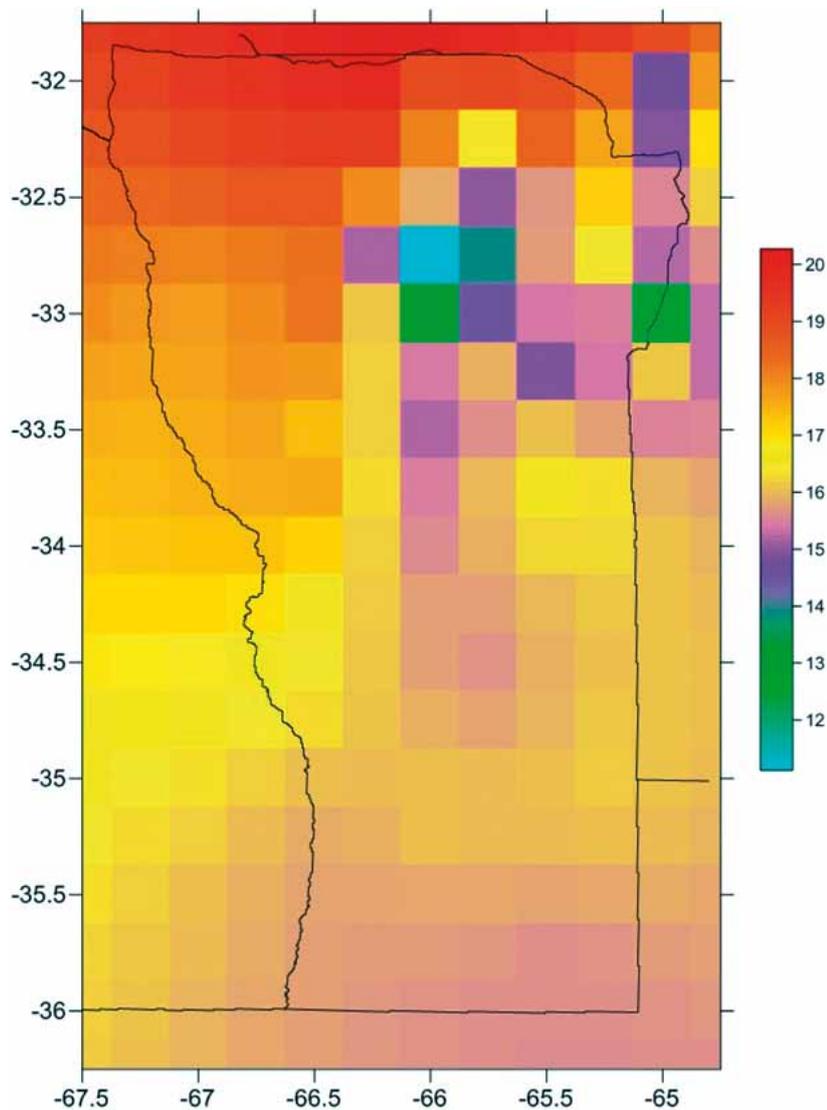


Figura 26. Escenario de temperatura media anual para el periodo 2046 – 2065.

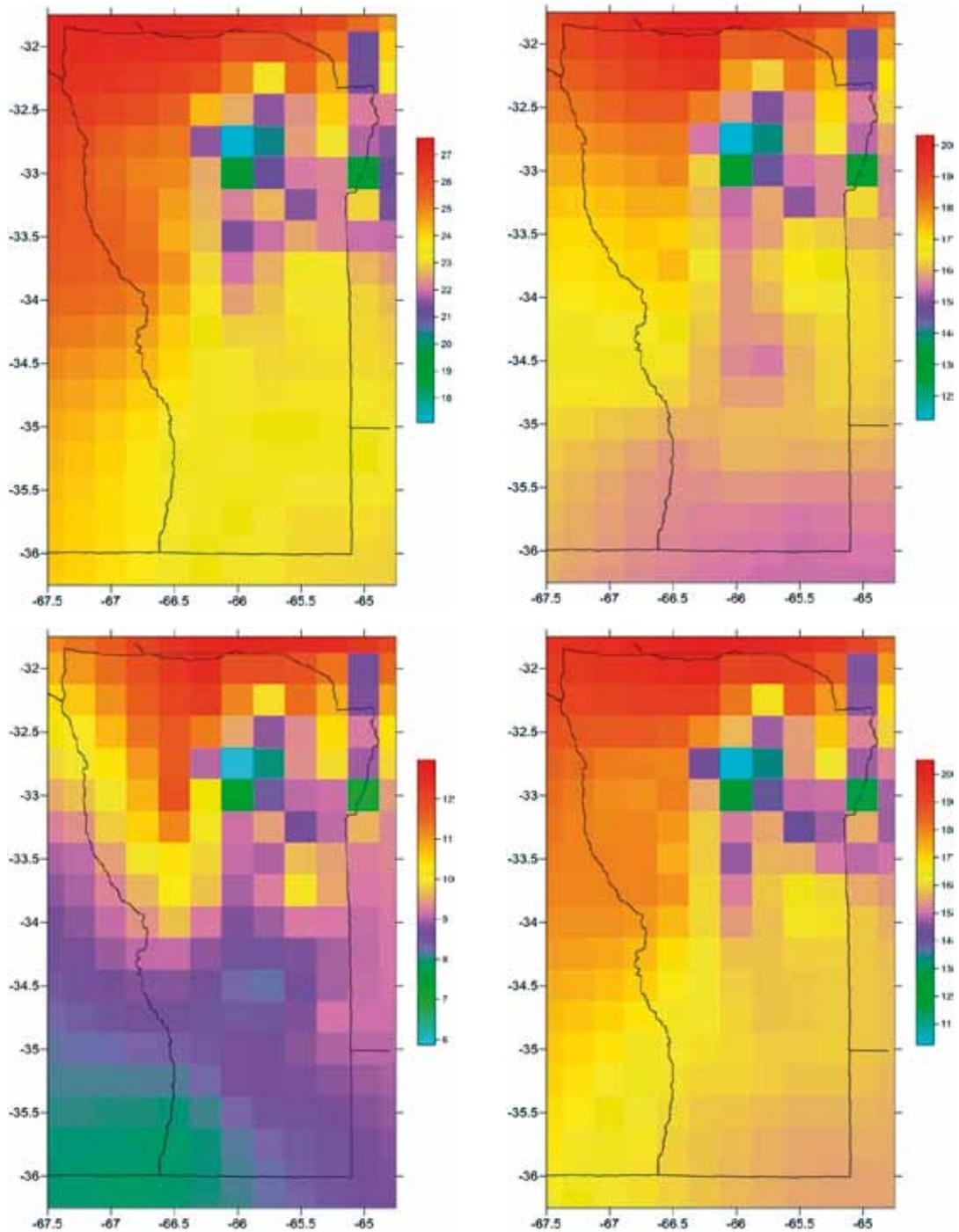


Figura 27. Escenarios de temperatura estacional media para el periodo 2046 – 2065.

Verano (arriba a la izquierda), otoño (arriba a la derecha), invierno (abajo izquierda) y primavera (abajo derecha).



6. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos con un downscaling dinámico para la provincia de San Luis, adoptando los escenarios de emisiones del IPCC A1B y A2 (Informe 3), los aspectos más importantes son:

- No hay diferencias para un horizonte cercano, cualquiera sea el escenario de emisiones de gases de efecto invernadero supuesto. Es decir, los cambios en temperatura y precipitación proyectados son prácticamente iguales. Esto es coincidente con los valores globales de calentamiento e indicativo de que no importa lo que la humanidad haga en el futuro cercano con sus emisiones, los cambios climáticos en el corto plazo serán casi los mismos y por lo tanto se debe ya pensar en procesos de adaptación. Las diferencias entre los distintos escenarios de emisión se manifiestan a partir de la mitad de la centuria y hacia fines de la misma.
- La temperatura media aumentará en las cuatro estaciones del año. El aumento de la temperatura media anual varía entre 1,5° C y 1,9° C para un horizonte de 50 años, siendo algo mayor en el Noreste de la provincia y menor al Sur de las sierras.
- Menores aumentos de la temperatura media son proyectados para el otoño y la primavera.
- Mayores aumentos de la temperatura se esperan para verano e invierno, alcanzando a más de 2,2 ° C en el Norte provincial durante el verano en el escenario de 50 años.
- Los cambios en la precipitación varían sustancialmente de estación a estación y a lo largo del territorio.
- El aumento de la precipitación media anual sería mayor en el Sur, del orden del 10 al 20 %, que en el Norte donde sería del 5%.
- Los aumentos estacionales en San Luis se proyectan para verano, otoño e invierno alcanzando 40% en el invierno en el centro Oeste de la provincia.
- Para el invierno se proyectan cambios en la precipitación en la región montañosa y sus proximidades que van desde -5% (Este) hasta +40% (Oeste).

- Para primavera se espera una disminución de la precipitación del orden de hasta -10% en el centro-Noreste de la provincia.
- La resolución del modelo (25 Km) permite observar el impacto de la topografía sobre el clima, en especial sobre los cambios en precipitación a barlovento y sotavento de cadenas montañosas (sietras de San Luis).

De acuerdo con estos resultados en un escenario de 50 años aumentaría el estrés hídrico en el Noreste y en gran parte de la zona serrana, y disminuiría en el Sur. La distribución estacional de los cambios haría que el aumento del estrés hídrico no fuera tan importante en la zona afectada porque se daría en la época del año en la que hay buena oferta de agua. Igualmente, la disminución del estrés en el sur se potenciaría por la distribución estacional de los cambios. En un escenario más cercano, el de las próximas dos décadas, estos cambios tienen el mismo signo. Pero mucho más morigerados.

Finalmente, cabe señalar que a la luz de estos escenarios, cobran más relevancia los planes de manejo y cuidado del recurso hídrico.



Referencias

- Barros, V., E. Castañeda and M. Doyle, 2000: Recent precipitation trends in Southern South America to the east of the Andes: an indication of a mode of climatic variability. *Southern Hemisphere Paleo and Neoclimates Key - Sites, Methods, Data and Models*. P. Smolka and W. Wolkheimer, Eds., Springer-Verlag. Pp. 187 – 207.
- Camilloni, I. 1999. Temporal variability of the Buenos Aires' urban heat island intensity. *International Conference on Urban Climatology ICUC'99, Sydney Australia*.
- Camilloni, I.; V. Barros and A. Di Luca. 2005. Trends in the position of the South Atlantic high and its representation by Global Climate Models: impacts over the Río de la Plata estuary and adjacent ocean Preprints of IX Congreso Argentino de Meteorología (CD-ROM). Buenos Aires, Argentina.
- Gibson, T. 1992. An observed poleward shift of the Southern Hemisphere Subtropical wind maximum: A greenhouse symptom. *Int. J of Climatol* 12, 637-640
- Gillett, N; F. Zwiers, A. Weaver and P. Stott. 2003. Detection of human influence on sea-level pressure. *Nature* 422, 292-294.
- Minetti J. y W.Vargas. 1987. Comportamiento del borde anticiclónico subtropical en Sudamérica: Parte I. *Meteorológica* 14, 645-657.
- Minetti, J. y W. Vargas. 1990. Comportamiento del borde anticiclónico subtropical en Sudamérica: Parte II. *Revista Geofísica* 33, 180-190.
- Van Loon H, J. Kidson and A. Mullan. 1993. Decadal variation of the annual cycle in the Australian Data Sets. *J. of Climate* 6, 1227-1231.
- Sturaro, G. 2003. A closer look at the climatological discontinuities present in the NCEP/NCAR reanalysis temperature due to the introduction of satellite data. *Climate Dynamics* 21, 309-316.
- Willmott, C.J. and K.Matsura. 2001. Terrestrial air temperature and precipitation monthly and annual time series (1950-1999) Version 1.02. (Disponible en <http://climate.geog.udel.edu/~climate>).



ATLAS | Geográfico
Digital de San Luis



REM | Red de Estaciones
Meteorológicas

Escenarios Climáticos de la Provincia de San Luis

Vicente **Barros** / Mario **Núñez** / Inés **Camilloni** / Silvina **Solman**
Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CONICET – UBA)

Elija una ciudad en el mapa

BATAVIA: Capturando Datos. sin transmisión on line.

www.clima.edu.ar

