

Proyecto
“Desarrollo de escenarios climáticos para Paraguay”

Informe Final
“Escenarios Climáticos Regionales Futuros
para Paraguay”

Mario Bidegain

Asunción - Paraguay

Noviembre de 2008

Introducción

Este informe final presenta los escenarios climáticos regionales futuros de temperatura, precipitación, humedad relativa y radiación solar, para la República del Paraguay. Se utiliza la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) para la elaboración de los escenarios climáticos regionales futuros más probables. Esta metodología de elaboración se basa en la utilización de salidas de Modelos Climáticos Globales. Estos modelos han sido forzados con los escenarios socioeconómicos futuros SRES y se presentan para los horizontes temporales centrados en las décadas de 2020, 2050 y 2080. Estos escenarios climáticos para la región, deberían servir de base para la elaboración de las propuestas de mitigación y adaptación al cambio climático en los sectores seleccionados por el Programa Nacional de Cambio Climático en Paraguay.

En este último informe se presentan, con ayuda de técnicas de “downscaling” climático dinámico (mejora de la resolución espacial), escenarios climáticos en alta resolución para el territorio paraguayo de temperatura, precipitación, humedad relativa y radiación solar así como en áreas adyacentes de interés,

INDICE

Introducción	2
1. Objetivo del Informe Final.....	4
2. Escenarios	4
2.1. Escenarios Socioeconómicos	4
2.2 Descripción de los dos escenarios socioeconómicos utilizados	6
3. Climatología regional de base.....	8
3.1. Precipitación.....	9
3.2. Temperatura	9
3.3. Humedad Relativa.....	9
3.4. Radiación Solar.....	10
4. Escenarios Climáticos Futuros.....	11
4.1 Modelos Climáticos Globales.....	11
4.2 Descripción de los Modelos Climáticos Globales seleccionados.....	12
5. Escenarios Climáticos regionales.....	13
5.1 Escenarios climáticos regionales futuros para la precipitación.....	13
5.2 Escenarios climáticos regionales futuros para la temperatura.....	16
5.3 Escenarios climáticos regionales futuros para la humedad relativa.....	19
5.4 Escenarios climáticos regionales futuros para la radiación solar.....	21
6. Downscaling climático dinámico sobre Paraguay (Sistema PRECIS).....	25
6.1 Escenarios climáticos futuros de alta resolución para la temperatura.....	27
6.2 Escenarios climáticos futuros de alta resolución para la precipitación.....	30
6.3 Escenarios climáticos futuros de alta resolución para la humedad.....	34
6.4 Escenarios climáticos futuros de alta resolución para la radiación.....	37
7. Conclusiones	41
8. Bibliografía.....	41
Anexo: Escenarios climáticos futuros sobre localidades de interés.....	43

Reporte final

Escenarios Climáticos Futuros regionales para Paraguay

Mario Bidegain

Consultor

1. Objetivo

Uno de los principales objetivos de este informe final ha sido presentar los escenarios climáticos futuros no sólo de temperaturas y precipitaciones en forma integrada como una visualización sobre el centro-sur de Sudamérica y en particular sobre la región del Paraguay. Otros de los objetivos han sido incorporar otras dos variables climáticas como son la humedad relativa y la radiación solar global en superficie. La herramienta fundamental para la construcción de todos estos escenarios han sido las salidas de los Modelos Climáticos Globales (MCG) recomendados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). De manera de abarcar el mayor rango posible de escenarios más probables, en la construcción de estos escenarios, se han tomado los dos escenarios socioeconómicos A2 y B1 que presentan los dos extremos del rango más probable de variaciones de emisiones a nivel mundial de gases de efecto invernadero.

Otro aspecto novedoso de este informe es la incorporación de los escenarios climáticos de alta resolución espacial, que con ayuda de un proceso de downscaling climático dinámico fue obtenido para la región centrada sobre Paraguay. Este proceso de downscaling fue realizado con la ayuda del sistema PRECIS del Hadley Centre (U. K.). Este sistema está basado en las corridas de un modelo atmosférico numérico de mesoescala meteorológica (HadAM3).

2. Escenarios.

2.1 Escenarios Socioeconómicos.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue creado conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con la finalidad de evaluar la información científica, técnica y socioeconómica pertinente para la comprensión del riesgo de cambio climático inducido por los seres humanos. Desde su creación, el IPCC ha producido una serie de completos Informes de Evaluación sobre el estado de nuestros conocimientos acerca de las causas del cambio climático, sus efectos potenciales, y las opciones en cuanto a estrategias de respuesta.

El IPCC decidió en 1996 desarrollar un nuevo conjunto de escenarios de emisiones que servirán de base para su Tercer Informe de Evaluación. Contienen unos valores de referencia mejorados con respecto a las emisiones, así como información actualizada sobre la reestructuración económica en todo el mundo, examinan diferentes tasas y

tendencias del cambio tecnológico, y amplían el repertorio de trayectorias diferentes de desarrollo económico, y en particular las tendientes a reducir las desigualdades de ingresos entre países desarrollados y en desarrollo. Para conseguir ese fin, se adoptó un nuevo planteamiento que incorporaba una gran diversidad de perspectivas científicas y de interacciones entre diversas regiones y sectores. Los resultados indican que diferentes acontecimientos sociales, económicos y tecnológicos producen un fuerte impacto sobre las tendencias de las emisiones, sin presuponer explícitamente intervenciones en forma de políticas sobre el clima. Los nuevos escenarios proporcionan también importantes ideas sobre los vínculos existentes entre la calidad del medio ambiente y el tipo de desarrollo elegido, y constituirán sin duda un útil instrumento para los expertos y responsables de decisiones.

El autor principal del Informe sobre escenarios socioeconómicos del IPCC fue Nebojsa Nakicenovic, así como su equipo del Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA) de Laxenburg, Austria.

Para cada línea evolutiva, se han desarrollado varios escenarios distintos basados en diferentes planteamientos de los modelos, con objeto de examinar todos los posibles resultados que se obtendrían de una serie de modelos basados en unos supuestos similares sobre los factores determinantes.

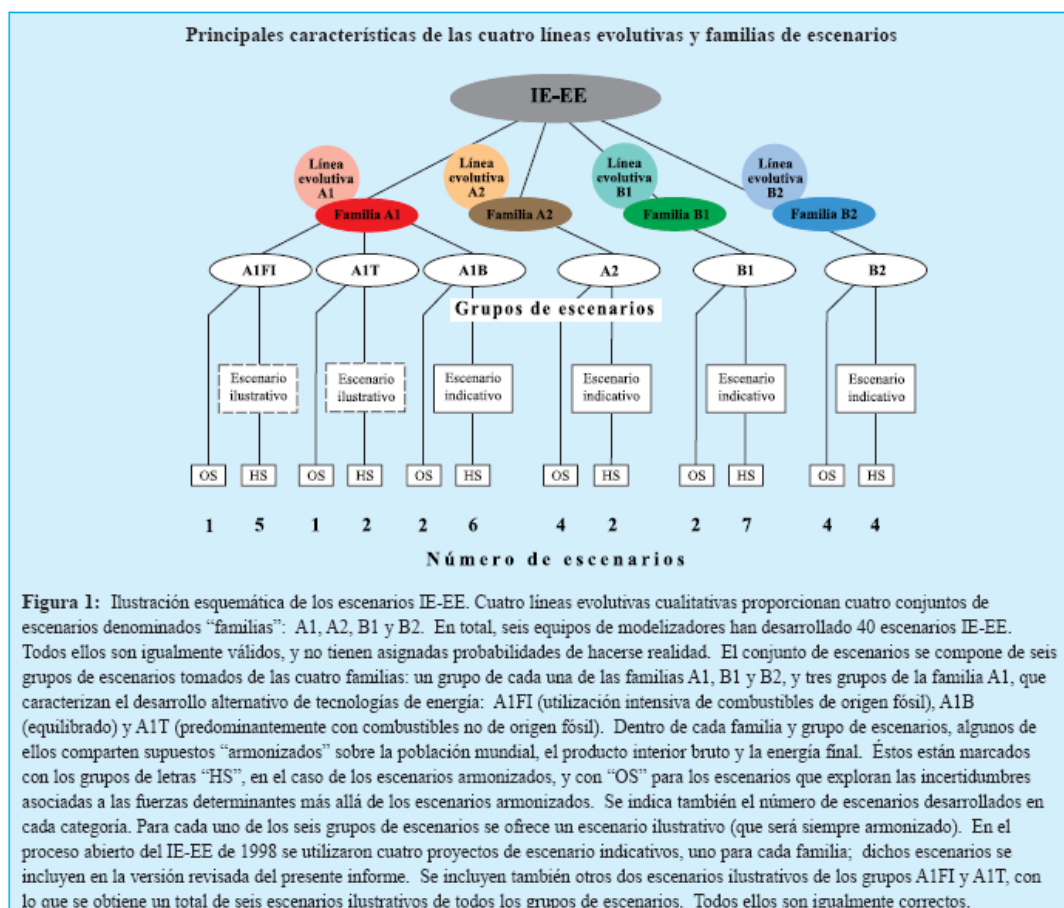


Figura 1. Esquema de los escenarios socioeconómicos SRES

2.2 Descripción de los escenarios socioeconómicos utilizados en este informe.

- **La familia de líneas evolutivas y escenarios A2** describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación

de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

- **La familia de líneas evolutivas y escenarios B1** describe un mundo convergente con una misma población mundial que alcanza un máximo hacia mediados del siglo y desciende posteriormente, como en la línea evolutiva A1, pero con rápidos cambios de las estructuras económicas orientados a una economía de servicios y de información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y de la introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos. En ella se da preponderancia a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sustentabilidad económica, social y medioambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima.

Es de gran importancia estimar los futuros cambios climáticos que podríamos experimentar en las próximas décadas. El cambio en las emisiones de dióxido de carbono de fuentes energéticas/industriales para el año 2100 varía desde una disminución del 4 por ciento (escenario B1) a un aumento de alrededor de 320 por ciento (escenario A2), si se compara con lo estimado para el año 2000 para estos cuatro escenarios. De acuerdo a estas estimaciones en futuras emisiones, se asume que no existe reducción de emisiones de acuerdo a la aplicación de acuerdos climáticos internacionales (Ej.: Protocolo de Kioto). Las emisiones de dióxido de carbono atmosférico aumentarían desde una emisión de 6 GtC/año en 1990 a una emisión de 30.3 GtC/año para el escenario A1F1 en el año 2100, y de 4.3 GtC/año para el escenario A1T. Las emisiones de otros gases invernadero también aumentarían.

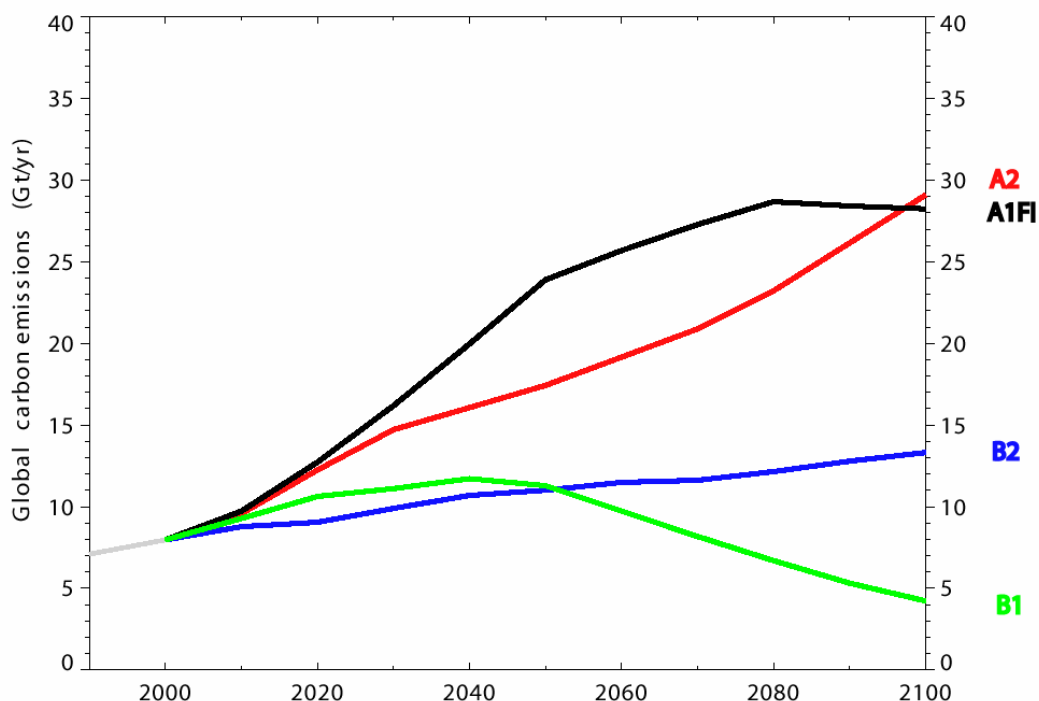


Figura 2. Emisiones totales de CO₂ acumuladas mundiales según los escenarios SRES A1, A2, B1, B2.

1980	1990	SRES	2020			2050			2080		
Temp °C	Temp °C		CO ₂ ppmv	Temp °C	NMM cm.	CO ₂ ppmv	Temp °C	NMM cm.	CO ₂ ppmv	Temp °C	NMM cm.
0.13	0.28	B1-bajo	421	0.6	7	479	0.9	13	532	1.2	19
0.13	0.28	B2-med	420	0.9	20	402	1.5	36	561	2.0	53
0.13	0.28	A1-med	418	1.0	21	555	1.8	39	646	2.8	58
0.13	0.28	A2-alto	440	1.4	38	559	2.6	68	721	3.9	104

Tabla N° 1 Resumen de los cambios en el medio ambiente global para las décadas de 2020,2050 y 2080 para los cuatro escenarios socioeconómicos. Los cambios han sido calculados con respecto al promedio de 1961-1990. Los efectos de las partículas de sulfato sobre el clima no se calcularon. Los cambios en la temperatura media global para los años 1980 y 1990 son los que se observan (ppmv = partes por millón por volumen).

En la figura 3 se observa la evolución de la temperatura media global según los diferentes escenarios socioeconómicos SRES adoptados por el IPCC. Se destaca el escenario A1F1 como el más extremista en relación al aumento de la temperatura con un incremento de casi 5° C para el año 2100. Para los restantes escenarios se estiman aumentos de entre 2.1° C para el B1 hasta 4.4° C para el A2.

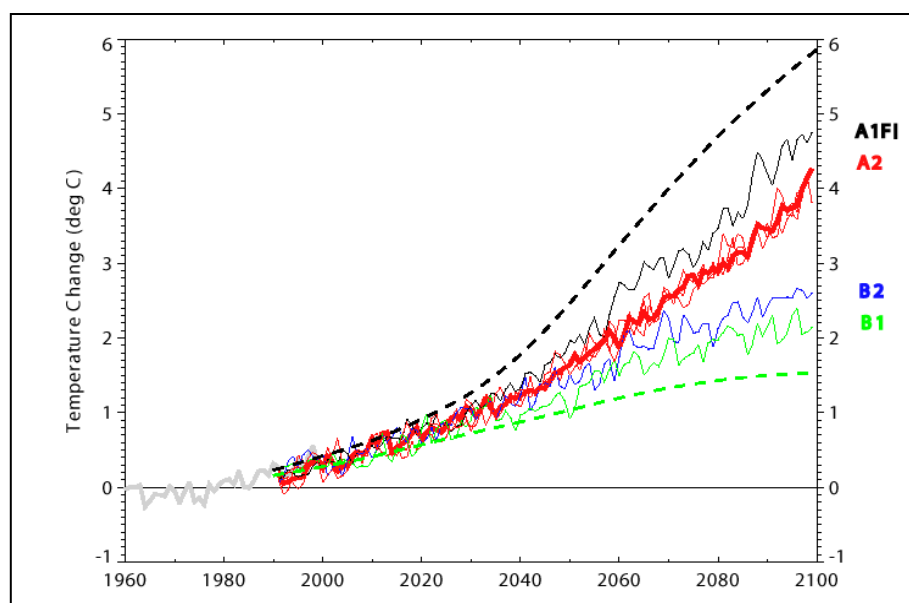


Figura 3 Diferentes estimaciones de aumento de la temperatura durante el siglo XXI en función de los cuatro escenarios (A1F1,A2,B1 y B2)

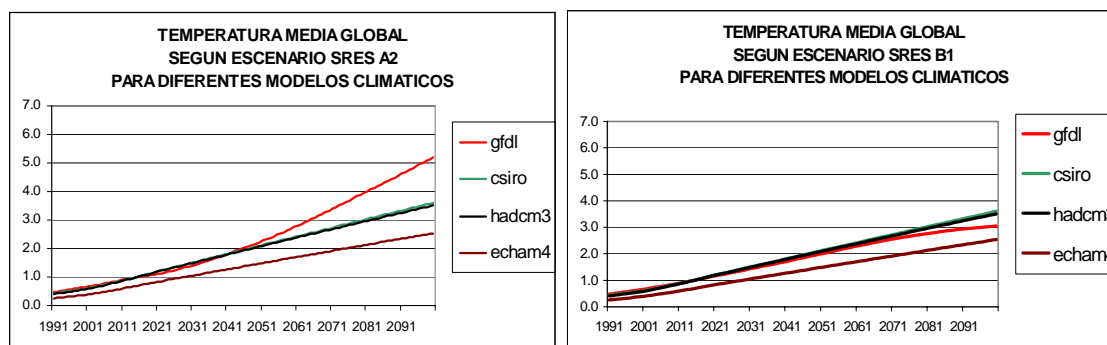


Figura 4. Evolución de la temperatura media global durante el siglo XXI según los diferentes escenarios SRES A y B1

Los escenarios climáticos están basados en los esquemas IPCC-*SRES A2 (alto)* y *B2 (bajo)* y obtenidos de las salidas de los Modelos Climáticos Globales avalados por el IPCC, de los cuales se utilizarán los modelos que mejor reproducen los escenarios climáticos de base en nuestra región.

3.0 Climatología Regional de base.

3.1. Precipitación

La precipitación media anual sobre Paraguay varía entre 1.600 mm. y 600 mm. Los máximos anuales se registran sobre el sureste de la región oriental en la frontera con Brasil mientras que el mínimo se registra sobre el Chaco en la región noroeste del País (ver figura 5). Dentro de la región comprendida entre las latitudes 10° S y 30° S y las longitudes 67° W y 47° W se observan lluvias acumuladas anuales máximas sobre la región central de Bolivia (región del Beni) con lluvias de 4000 mm anuales, asimismo la región de la cuenca del Río Iguazú sobre la frontera de Brasil y Argentina presenta un máximo relativo de 2200 mm. Los mínimos absolutos se registran como ya mencionamos sobre el Chaco paraguayo y en la región del altiplano boliviano y las estribaciones andinas sobre Argentina. (Willmott C.J., Matura K. (2001))

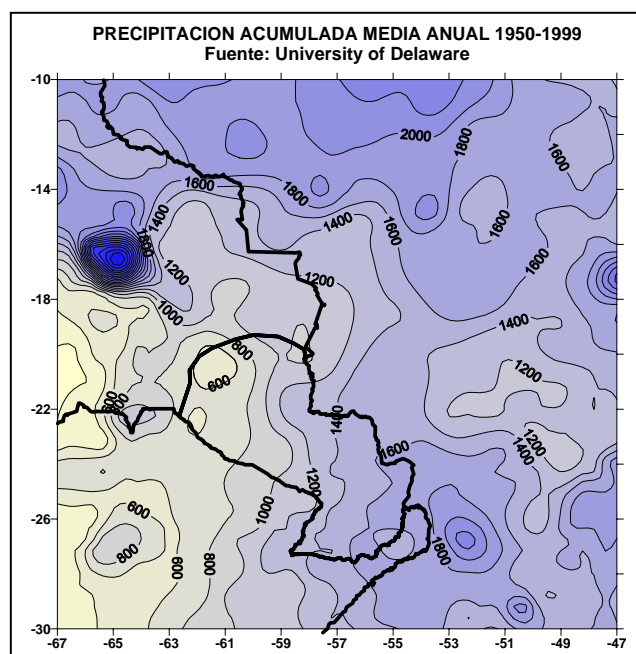


Figura 5. Precipitación acumulada media anual en la región (mm.)

3.2 Temperatura

La temperatura media anual en Paraguay varía desde 20° C en el sureste a 26° C en la región norte del Chaco (ver figura 6). En la parte sur de la región en estudio la meseta de altura del estado de Río Grande do Sul muestra temperaturas más bajas que en los alrededores. La misma situación ocurre en la zona del altiplano boliviano y argentino donde las temperaturas en superficie son muy bajas debido a la altura sobre el nivel del mar. La temperatura media sobre la región noroeste llega a los 28° C (parte central de Bolivia), mientras que sobre el sur del Brasil se registran temperaturas medias de 14° C. Las estribaciones de los Andes también muestran temperaturas medias que llegan a 0° C en función de la altura sobre el nivel del mar. (Willmott C.J., Matura K. (2001).

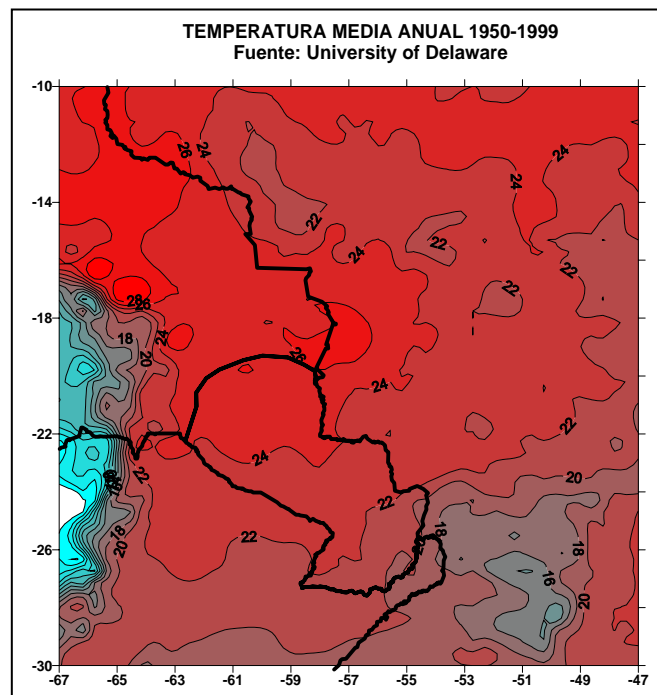


Figura 6. Temperatura media anual en la región (° C)

3.3 Humedad Relativa

La humedad relativa media anual en Paraguay varía desde 85% en el sureste a 70% C en la región norte del Chaco (ver figura 7). En la parte sur de la región en estudio, sur de Brasil y zonas costeras del océano Atlántico presentan humedades sustancialmente más altas que en el interior del continente. Por el contrario la situación opuesta ocurre en la zona del chaco paraguayo, sur de Bolivia y norte argentino donde las escasas precipitaciones inducen bajas humedades relativas medias anuales. La humedad relativa anual tiene un gradiente oeste-este sobre la región (Fuente: Reanalysis NCEP).

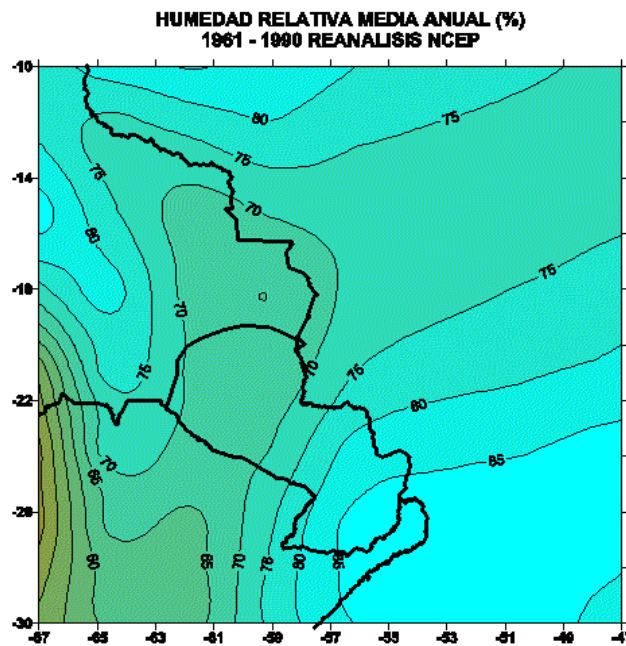


Figura 7. Humedad Relativa media anual en la región (° C)

3.4 Radiación solar global

La radiación solar global media anual en Paraguay varía desde 320 w/m^2 en el sur de la región oriental a 340 w/m^2 en la región norte del Chaco (ver figura 8). La parte sureste de la región en estudio muestra los menores montos anuales de radiación solar global debido a la latitud más austral. Sin embargo se observan incrementos en la radiación solar global en la medida que nos elevamos en altura (altiplano boliviano y argentino) donde las mayores alturas provocan una menor reducción de la radiación y también hacia el noreste de la región, sobre el centro de Bolivia donde disminuye la latitud y existe una estación seca invernal que facilita el incremento de la radiación en superficie. (Reanalysis-2 NCEP).

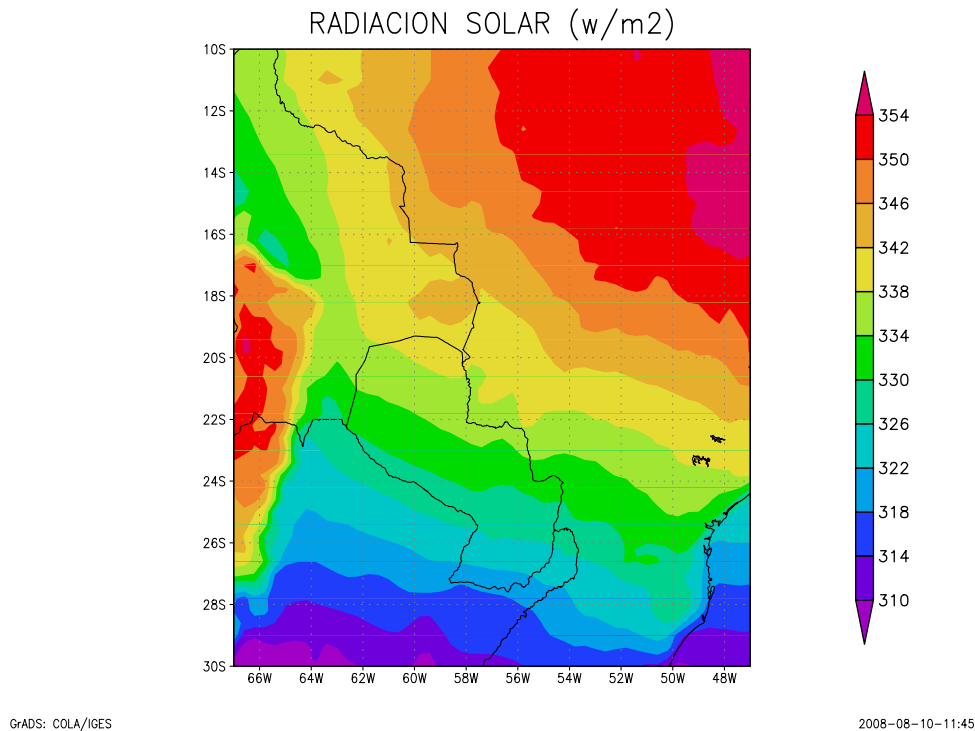


Figura 8. Radiación solar global media anual en la región (W/m^2)

4 Escenarios Climáticos Futuros

4.1. Modelos Climáticos Globales

La única herramienta de que disponemos para estimar los escenarios climáticos futuros, con objetividad y con coherencia física en sus resultados son las salidas de los Modelos Climáticos Globales (GCMs).

Un modelo climático global es una representación matemática (un sistema de ecuaciones) de los principales procesos físicos que ocurren dentro de los componentes del sistema climático y las interacciones entre ellos. Los principales componentes del sistema climático son la atmósfera, hidrosfera, criósfera, litosfera y biosfera.

Las interacciones entre los componentes se manifiestan como intercambios o flujos de energía y materia a través de las superficies que limitan los componentes. El conocimiento de la(s) solución(es) del sistema de ecuaciones del modelo permitiría una descripción detallada del estado del sistema en el espacio y el tiempo. Pero en la práctica sólo pueden obtenerse soluciones aproximadas, utilizando métodos de cálculo numérico que requieren el uso de computadoras de gran capacidad de procesamiento.

Una solución particular de estas ecuaciones, para determinados valores de los parámetros climáticos (por ejemplo: composición de los gases y partículas que forman la atmósfera, cantidad de energía proveniente del sol, etc.) es un experimento o simulación climática. De este modo pueden obtenerse simulaciones del clima actual (experimentos de control o escenarios de base), las que comparadas con los datos de mediciones permiten controlar la validez del modelo. También pueden realizarse simulaciones del clima resultante de un cambio en cualquiera de estos parámetros (por

ejemplo: una duplicación de la actual concentración de CO₂). La comparación de estadísticas basadas en estas simulaciones permite obtener estimaciones de los cambios climáticos proyectados por los modelos.

Grupos de científicos en diferentes países realizan investigaciones climáticas con modelos climáticos globales de características similares. Cada uno de ellos actualizan los métodos de modelado de los procesos físicos y de resolución numérica de las ecuaciones, a medida que avanza el conocimiento científico y se mejora la capacidad computarizada. Esto origina diferencias entre los resultados de distintos modelos, que reflejan el grado actual de incertidumbre en el modelado del clima.

Tabla 2. Modelos Climáticos Globales (GCMs) considerados en este estudio

Modelo	Institución
HadCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research (U.K.)
CSIRO-MK3	Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (Australia)
ECHAM5	Max Planck Institute für Meteorologie (Alemania)
GFDL 2.0	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (U.S.A.)

4.2. Descripción de los Modelos Climáticos Globales

El **HadCM3** es un modelo acoplado atmósfera-océano de circulación general (AOGCM) desarrollado en el Centro Hadley (UK). La componente atmosférica del HadCM3 tiene 19 niveles con una resolución horizontal de 2.5° de latitud por 3.75° de longitud. La componente oceánica de HadCM3 tiene 20 niveles con una resolución horizontal de 1.25° x 1.25°. A esta resolución es posible representar detalles importantes de los movimientos atmosféricos y de las corrientes oceánicas. El modelo es inicializado directamente desde un estado no perturbado del océano, con una adecuada condición inicial de la atmósfera y los hielos marinos. El intercambio de información entre la atmósfera y el océano se hace una vez por ida. Los flujos de calor y humedad son conservados exactamente en la transferencia entre las diferentes grillas.

El modelo global acoplado **ECHAM5_MPI-OM** fue desarrollado por el Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI) en Hamburgo, Alemania. La componente atmosférica (ECHAM5) tiene 19 niveles con una resolución horizontal de 2.8° de latitud por 2.8° de longitud.

El **CSIRO mk3** fue desarrollado por el Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization de Australia (CSIRO). Es un modelo de tipo espectral con una resolución en su modelo atmosférico de: 1.8° latitud por 1.8° longitud, resultando en aproximadamente 200 km entre puntos de grilla y 18 niveles en la vertical. El modelo oceánico consta de 31 niveles verticales y una resolución horizontal equivalente al modelo atmosférico, pero duplicado en los trópicos con una resolución de 100 km. para mejorar la simulación del Fenómeno de El Niño.

El **GFDL 2.0** es un modelo climático acoplado océano-atmósfera (AOGCM) desarrollado por el Geophysical Fluid Dynamics Laboratory de NOAA en Princeton

(U.S.A.). Sus cuatro mayores componentes son: un modelo atmosférico de tipo espectral (AM2P13) un modelo oceánico (OM3P4), un modelo de procesos en superficie (LM2) y un modelo simple de hielo marino (SIS). La resolución espacial del modelo atmosférico es de 2.5 ° longitud por 2.0 ° latitud y consta de 24 niveles en la vertical

5. Escenarios Climáticos regionales.

Para la construcción de los escenarios de cambio climático futuro sobre Paraguay hemos seleccionado la región 10° S – 30° S y 67° W – 47° W, de manera de incluir también las principales cuencas hidrográficas de interés. Seleccionaremos las salidas para los horizontes temporales de las décadas centradas en **2020** (2010-2039) y **2050** (2040-2069), para los dos escenarios socioeconómicos **SRES A2 (alto)** y **B1 (bajo)**, de los cuatro modelos climáticos de mejor ajuste sobre la región: **HADCM3** (Modelo del Hadley Centre – Reino Unido), **ECHAM5** (Modelo del Max Planck Institute – Alemania), **CSIRO-mk3** (CSIRO – Australia) y **GFDL 2.0** (GFDL – USA). Estos modelos han mostrado tener la mejor performance en la región en relación a variables como precipitación, temperatura y presión atmosférica en superficie (Bidegain 2004, Hoftadter 1997).

Se presentan la *temperatura media anual*, *precipitación media anual*, *radiación solar global* y la *humedad relativa en superficie*. La resolución espacial fue llevada a 2.5° latitud x 2.5° longitud lo que permite emplear una resolución común a los cuatro modelos sin emplear interpolación espacial.

5.1 Composición de los Escenarios climáticos regionales futuros para la precipitación

Los futuros cambios en la precipitación sobre Paraguay y región de interés fueron estimados basados en un conjunto de cuatro modelos climáticos globales: HADCM3 del Hadley Centre (Reino Unido), ECHAM5 del Instituto Max Planck (Alemania), CSIRO-mk3 (Australia) y GFDL-2.0 (USA). Los modelos fueron forzados con los escenarios socioeconómicos A2 (medio alto) y B1 (bajo), fijados por el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). La resolución espacial común utilizada fue de 2.5° latitud x 2.5° longitud.

El cambio de precipitación previsto en la década del 2020 (ver mapa en figura 7.1 y valores en Anexo I) va desde incrementos de 4-5% a reducciones de 5% sobre Paraguay.

Los mayores contrastes se registran dentro del escenario A2. Dentro del mismo las mayores reducciones (6%) se ubican sobre el Chaco y sur de Bolivia y parte de la cuenca del río Paraguay. Por otro lado los mayores incrementos (5%) se darían hacia el sur de la región oriental en la cuenca sur del Río Paraguay y Río Paraná.

El cambio de precipitación previsto en la década del 2050 (ver mapa en figura 7.3 y valores en Anexo I) va desde incrementos de +9% a reducciones de -10% sobre Paraguay. El patrón de variación de la precipitación es el mismo que para la década del 2020 con los mayores incrementos en el sur de la región oriental y las mayores reducciones al norte del Chaco y sur de Bolivia.

También se verifica que la variación del campo de precipitación previsto para la región en la década del 2020 bajo el escenario B1 (ver mapas en figura 7.2 y valores en Anexo I) es menos contrastante que en el escenario A2, las mayores diferencias van entre una reducción del -2% a +3%.

En general se prevén reducciones de la precipitación al norte de la región en estudio, mientras que los mayores incrementos se ubicarían al sur.

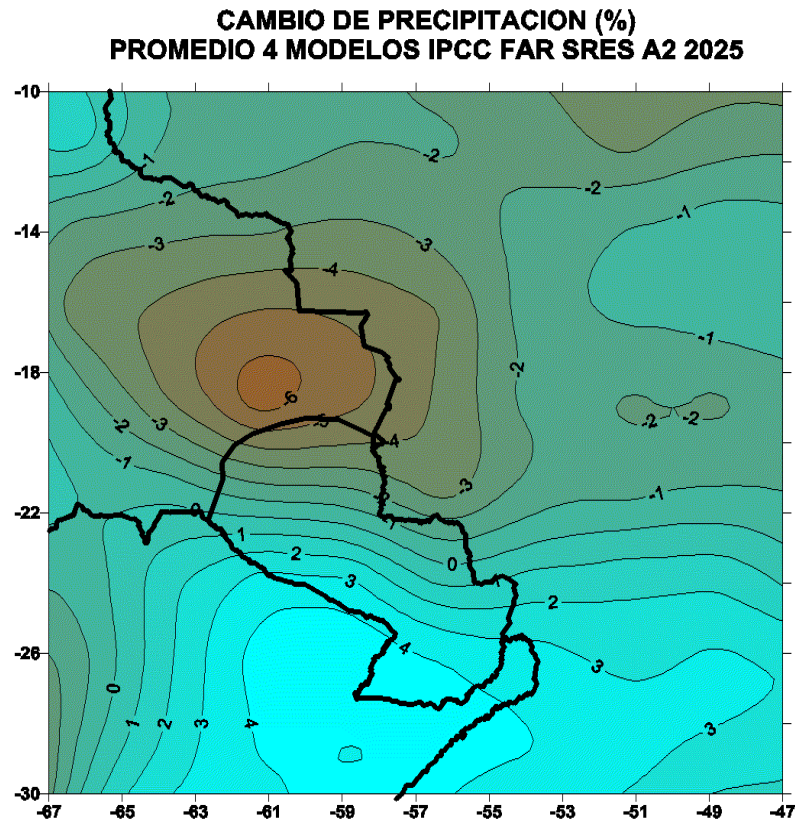


Figura 7.1 Cambios en la precipitación (%) para la década de 2020 sobre el Paraguay y región de interés (SRES A2)

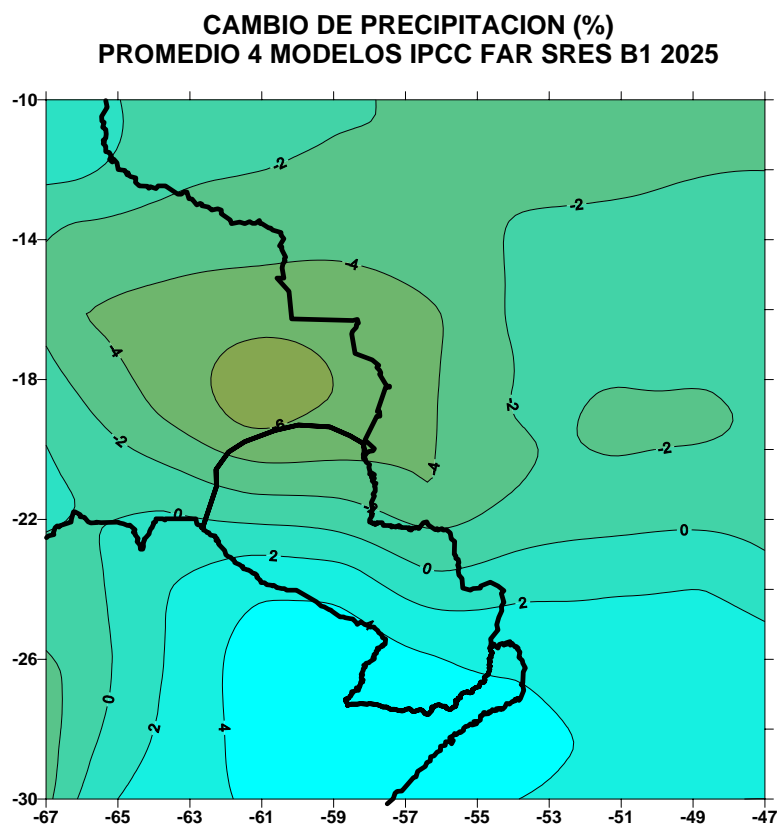


Figura 7.2 Cambios en la precipitación (%) para la década de 2020 sobre el Paraguay y región de interés (SRES B1)

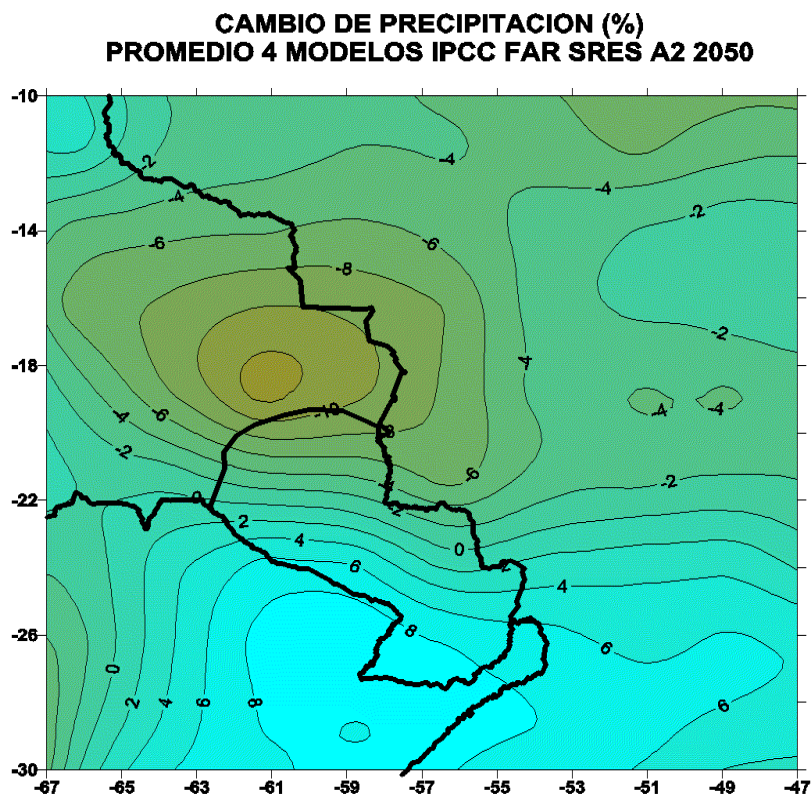


Figura 7.3 Cambios en la precipitación (%) para la década de 2050 sobre el Paraguay y región de interés (SRES A2)

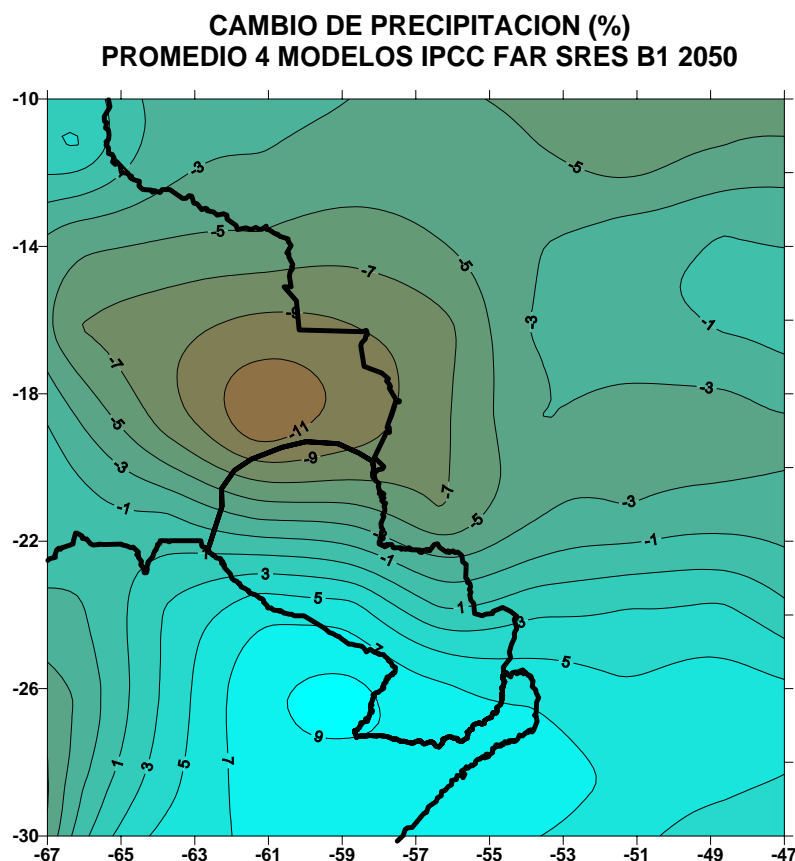


Figura 7.4 Cambios en la precipitación (%) para la década de 2050 sobre el Paraguay y región de interés (SRES B1)

5.2 Escenarios climáticos futuros para la temperatura

Los futuros cambios en la temperatura media anual sobre Paraguay fueron estimados basados en un conjunto de los cuatro modelos climáticos globales de mejor performance sobre la región: HADCM3 del Hadley Centre (Reino Unido), ECHAM5 del Instituto Max Planck (Alemania), CSIRO-mk3 (Australia) y GFDL 2.0 (USA). Los modelos fueron forzados con el escenario socioeconómico A2 (media alta) y B1 (bajo), fijados por el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático).

El escenario A2 determina incrementos de la temperatura media anual ligeramente superiores al escenario B2. Se esperan, según el escenario A2, tasas de incremento sobre la región que irían entre 0°C a 2.0°C para la década centrada en el 2020. (ver mapas en figura 8.1). Se observa en los dos escenarios un mayor calentamiento de la región más norteña y continental (Chaco y cuenca del río Paraguay) y los menores calentamientos sobre el sur y litoral atlántico del continente sudamericano. El territorio del Paraguay por su ubicación en el centro del continente experimentaría tasas de calentamiento que irían desde $+0.5$ a 2.0°C según el escenario A2.

También se verifica que las variaciones del campo de temperaturas previsto para la región en la década del 2020 bajo el escenario B1 (ver mapas en figura 8.2 y valores en Anexo I) son ligeramente menos contrastante que en el escenario A2, los incrementos van desde $+0.5^{\circ}\text{C}$ a 2.0°C . En general los menores incrementos se ubican al sur y sureste de la región en estudio, mientras que los mayores aumentos se ubican al norte y

noreste de la región.

Es conveniente decir que la construcción de escenarios regionales, en el caso de la temperatura, con la técnica de combinación de salidas de modelos, posee una muy buena consistencia interna. Algunas conclusiones útiles son:

- a) En esta composición existen tres modelos (HadCM3, ECHAM5 y GFDL 2.0) que dan cuenta de la mayoría del incremento esperado en la región, bajo el escenario A2 y B1, y que este cambio sería más importante durante la primavera. Sin lugar a dudas el modelo HADCM3 es el que presenta el mayor incremento de temperatura de los cuatro modelos analizados tanto para la década de 2020 como para la de 2050, con los mayores incrementos en los meses de agosto, septiembre y octubre.
- b) Como caso opuesto, el modelo CSIRO mk3 es el que prevé un ascenso menor de las temperaturas en la región, con los mayores incrementos para los meses de invierno.

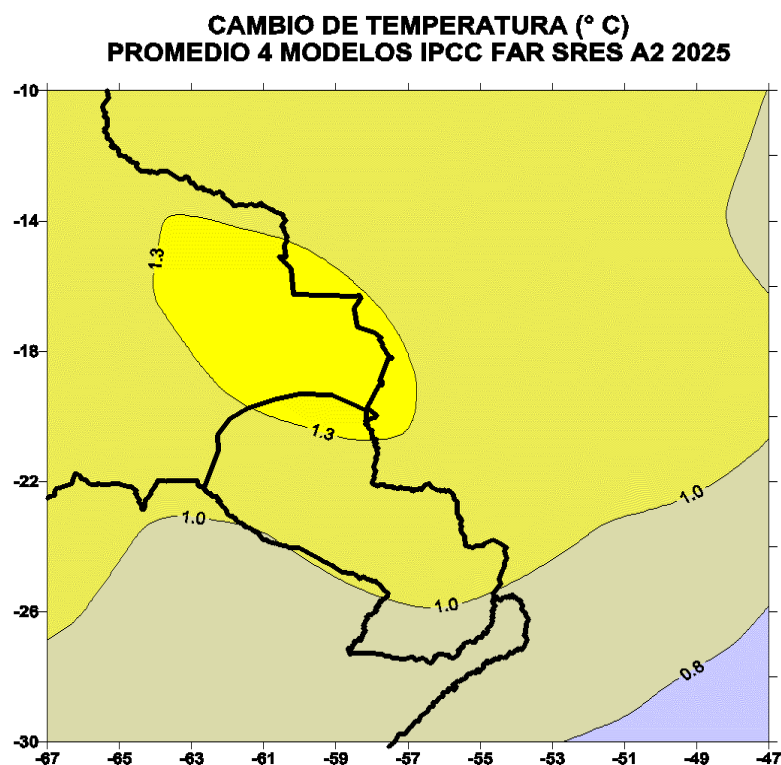


Figura 8.1 Cambios en la temperatura (°C) para la década de 2020 sobre el Paraguay y región de interés (SRES A2)

**CAMBIO DE TEMPERATURA (° C)
PROMEDIO 4 MODELOS IPCC FAR SRES B1 2025**

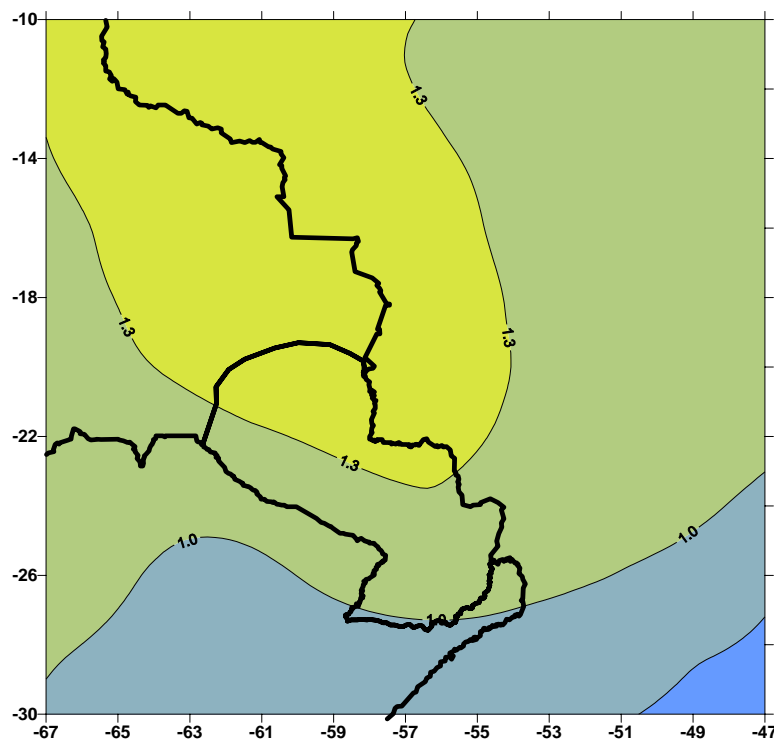


Figura 8.2 Cambios en la temperatura (°C) para la década de 2020 sobre el Paraguay y región de interés (SRES B1)

**CAMBIO DE TEMPERATURA (° C)
PROMEDIO 4 MODELOS IPCC FAR SRES A2 2050**

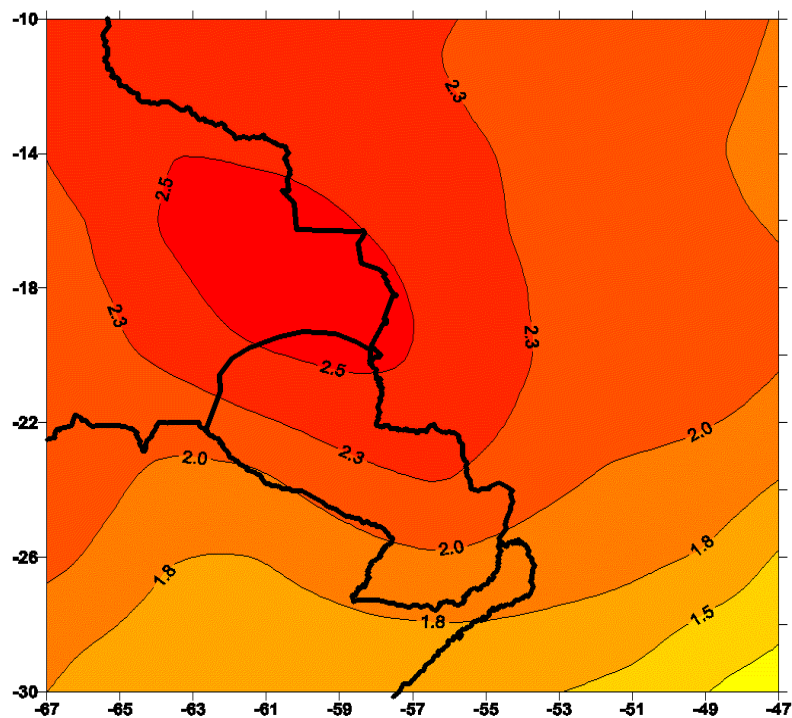


Figura 8.3 Cambios en la temperatura (°C) para la década de 2050 sobre el Paraguay y región de interés (SRES A2)

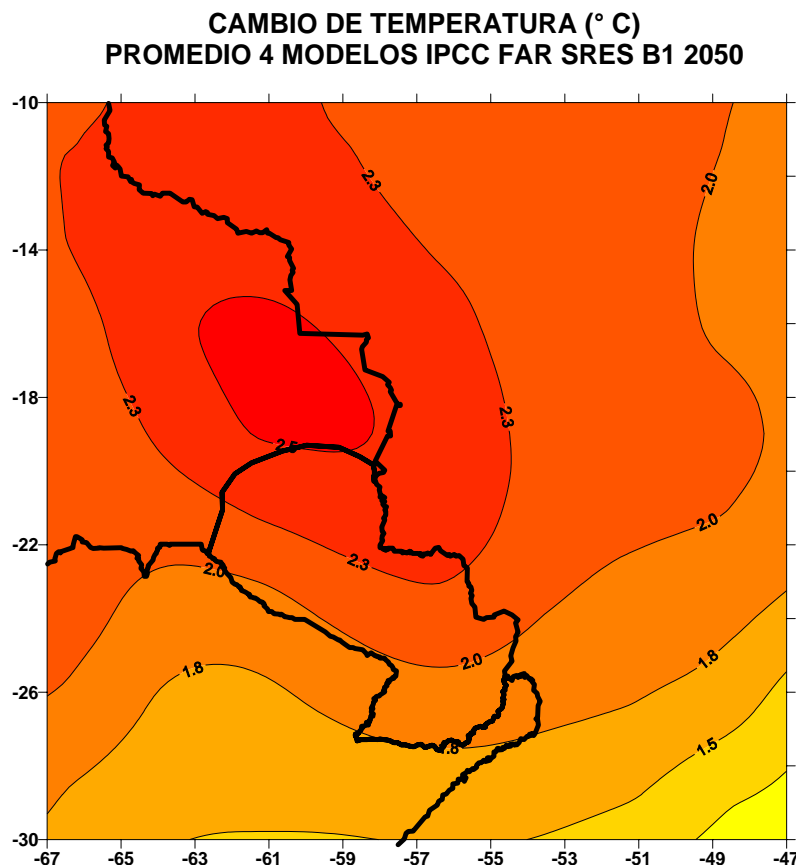


Figura 8.4 Cambios en la temperatura (°C) para la década de 2050 sobre el Paraguay y región de interés (SRES B1)

5.3 Escenarios climáticos futuros para la Humedad Relativa

Los futuros cambios en la humedad relativa sobre Paraguay fueron estimados basados en los dos modelos climáticos globales de buena performance sobre la región: HADCM3 del Hadley Centre (Reino Unido) y ECHAM5 del Instituto Max Planck (Alemania) en que se disponía de esta variable. Los modelos fueron forzados con los escenarios socioeconómicos A2 (media alto) y B1 (bajo).

Se esperan, según el escenario A2, tasas de cambio que se verificarían sobre la región que irían entre -4% y +1% según el modelo HADCM3 y entre -7% y +1% según el modelo HADCM3 para la década centrada en el 2020. (ver mapas en figura 9.1). Se observa en los dos modelos un descenso de la región más continental (Chaco y cuenca del río Paraguay) y los ligeros incrementos sobre el este y norte de la región.

Las variaciones del campo de humedad previsto para la región en la década del 2050 bajo el escenario A2 (ver mapas en figura 9.2) presentan un mayor secamiento que para la década de 2020, los descensos se intensifican en la región centrada sobre Paraguay con valores promedios anuales de -7% para el modelo HADCM3 y de a -2% en el modelo ECHAM5. En general los descensos se centran sobre la región continental (Chaco) y los ligeros incrementos se ubican al sureste de la región oriental hacia el litoral atlántico.

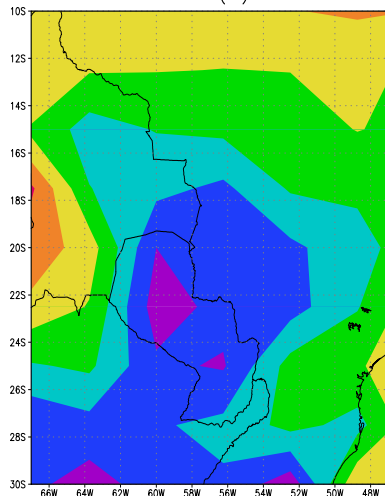
El cambio en la humedad relativa previsto para la región en la década del 2020 bajo el

escenario B1 (ver mapas en figura 9.3 y valores en Anexo I) presentan un mayor secamiento en la década de 2020 en el centro del continente pero hacia el norte de la región en estudio, los descensos se intensifican en la región centrada el norte de Paraguay y este de Bolivia con cambios promedios anuales de -1% para el modelo HADCM3 y de a -2% en el modelo ECHAM5 sobre Paraguay.

El cambio en la humedad relativa previsto para la región en la década del 2050 bajo el escenario B1 (ver mapas en figura 9.4) presentan un mayor secamiento que en la década de 2020, el secamiento se intensifica en el norte de la región con cambios promedios anuales para el territorio paraguayo de -2% para el modelo HADCM3 y de -5% en el modelo ECHAM5.

En general los mayores descensos centrados sobre la región norteña (sur de la Amazonia) en el modelo HADCM3 y hacia el este (norte de la región oriental) en el modelo ECHAM5 y los mayores incrementos al sur y sureste de la región.

DIF. HUMEDAD RELATIVA (%) 2020s HADCM3 A2



DIF. HUMEDAD RELATIVA (%) 2020s ECHAM5 A2

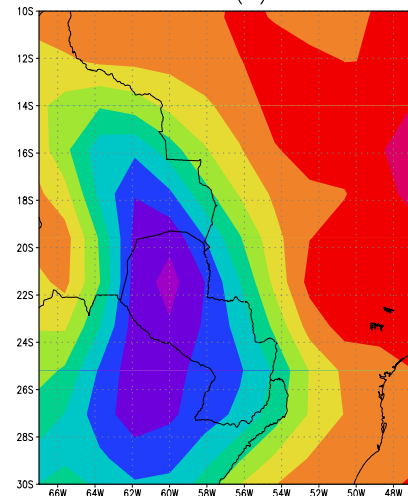
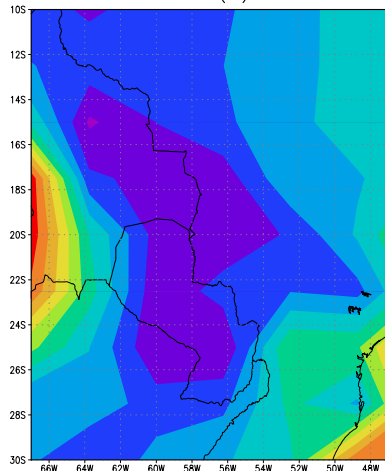


Figura 9.1 Cambios en la humedad relativa (%) para la década de 2020 según los modelos HADCM3 y ECHAM5 (SRES A2).

DIF. HUMEDAD RELATIVA (%) 2050s HADCM3 A2



DIF. HUMEDAD RELATIVA (%) 2050s ECHAM5 A2

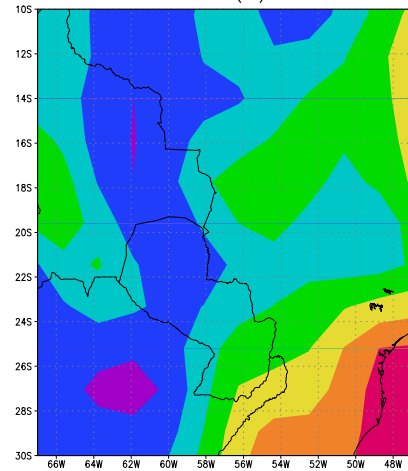


Figura 9.2 Cambios en la humedad relativa (%) para la década de 2050 según los modelos HADCM3 y ECHAM5 (SRES A2).

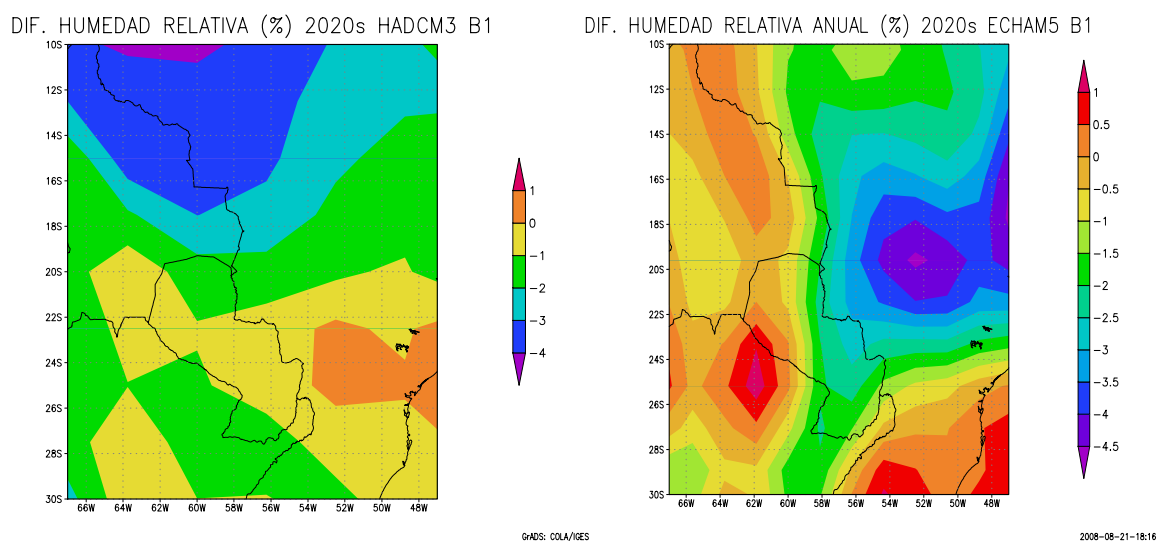


Figura 9.3 Cambios en la humedad relativa (%) para la década de 2020 según los modelos HADCM3 y ECHAM5 (SRES B1).

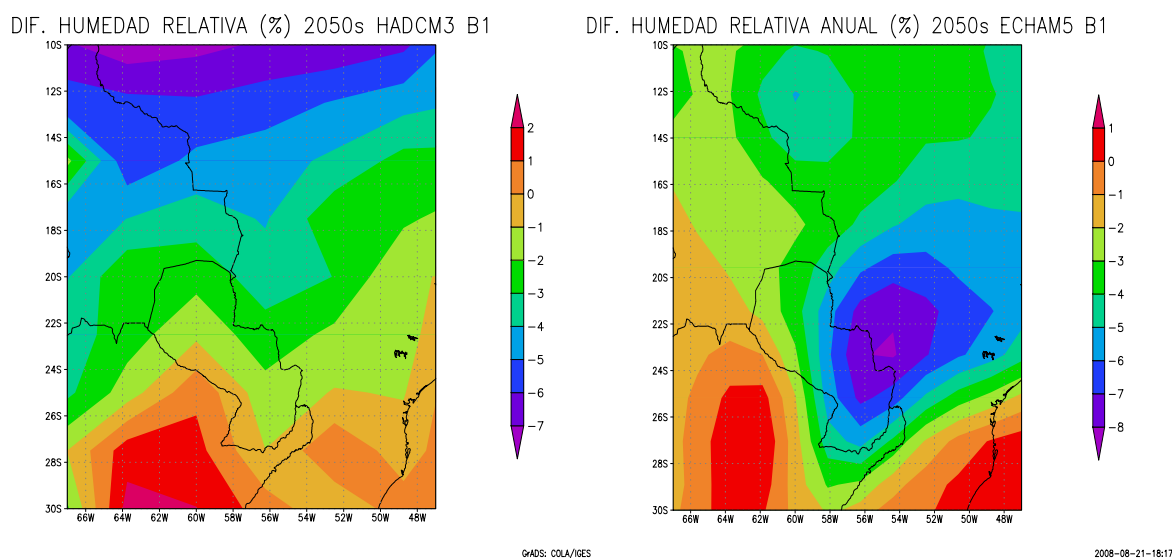


Figura 9.4 Cambios en la humedad relativa (%) para la década de 2050 según los modelos HADCM3 y ECHAM5 (SRES B1).

5.4 Escenarios climáticos futuros para la Radiación solar global

Los futuros cambios en la radiación solar global en superficie sobre Paraguay fueron estimados basados en los dos modelos climáticos globales de mejor performance sobre la región: HADCM3 del Hadley Centre (Reino Unido) y ECHAM5 del Instituto Max Planck (Alemania). Los modelos fueron forzados con los escenarios socioeconómicos A2 (media alto) y B1 (bajo).

El escenario A2 determina incrementos de la radiación solar media anual ligeramente superiores al escenario B1. Se esperan, según el escenario A2, tasas de incremento que se verificarían sobre la región que irían entre $+8 \text{ W/m}^2$ y -2 W/m^2 para la década

centrada en el 2020 (ver mapas en figura 10.1). Se observa en los dos modelos un mayor incremento de la radiación solar sobre la región noroeste (centro de Bolivia y altiplano) y los decrecimientos en la región sur y sureste con -4 W/m^2 en el caso del modelo ECHAM4. El territorio del Paraguay por su ubicación experimentaría incrementos de hasta $+4 \text{ W/m}^2$ sobre el norte del Chaco a disminuciones de -6 W/m^2 en la región sureste de la Región Oriental según el escenario A2.

Para la década de 2050 se esperan, según el escenario A2, tasas de incremento que se verificarían sobre la región que van entre $+7 \text{ W/m}^2$ y -4 W/m^2 (ver mapas en figura 10.2) según el modelo HADCM3 y $+4 \text{ W/m}^2$ y -7 W/m^2 según el modelo ECHAM5. Se observa también el mismo patrón que para la década de 2020 en los dos modelos, un mayor incremento de la radiación solar sobre la región noroeste (centro de Bolivia y altiplano) y los decrecimientos en la región sur y sureste.

Los cambios de la radiación solar prevista para la región en la década del 2020 bajo el escenario B1 (ver mapas en figura 10.3), los incrementos van desde $+7 \text{ W/m}^2$ y -3 W/m^2 según el modelo HADCM3 y $+3 \text{ W/m}^2$ y -8 W/m^2 según el modelo ECHAM5. Los valores promedios sobre Paraguay son de -2 W/m^2 en ambos modelos. En general los mayores decrecimientos se ubican al sur de la región en el modelo HADCM3 y hacia el sureste en el modelo ECHAM5.

Los cambios de la radiación solar prevista para la región en la década del 2050 bajo el escenario B1 (ver mapas en figura 10.3), prevén incrementos que van desde $+10 \text{ W/m}^2$ y -2 W/m^2 según los dos modelos. Los valores promedios, para ambos modelos, para esta década sobre Paraguay estiman un decrecimiento de -2 W/m^2 . De la misma manera que para la década de 2020, los mayores decrecimientos se ubican al sur de la región en el modelo HADCM3 y hacia el sureste en el modelo ECHAM5.

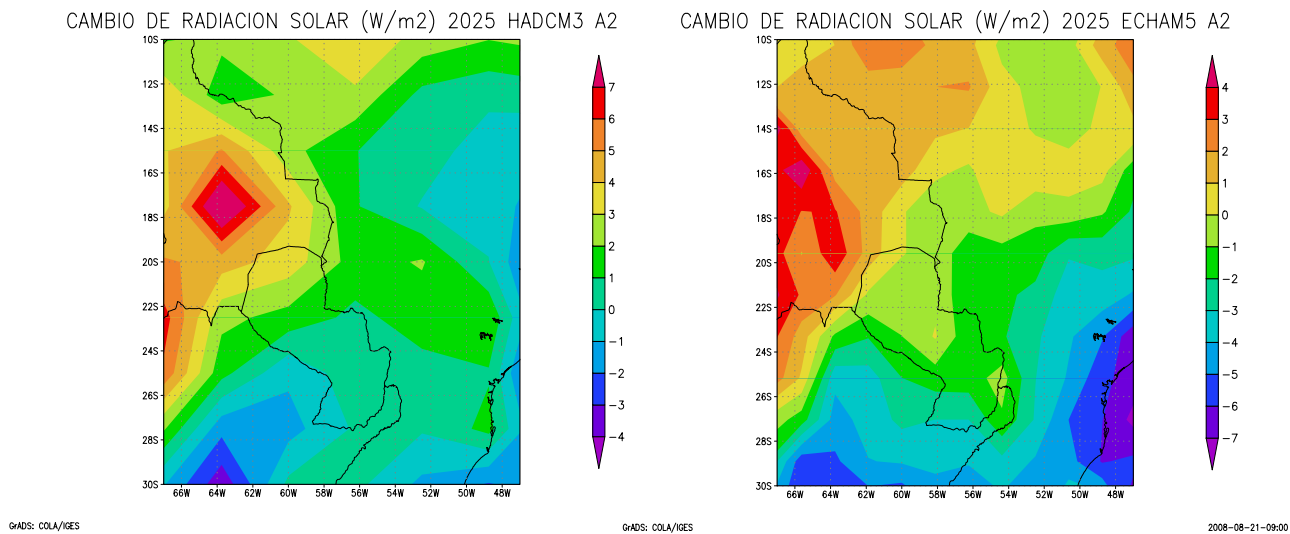


Figura 10.1 Cambios en la radiación solar global (W/m^2) para la década de 2020 según los modelos HADCM3 y ECHAM5 (SRES A2).

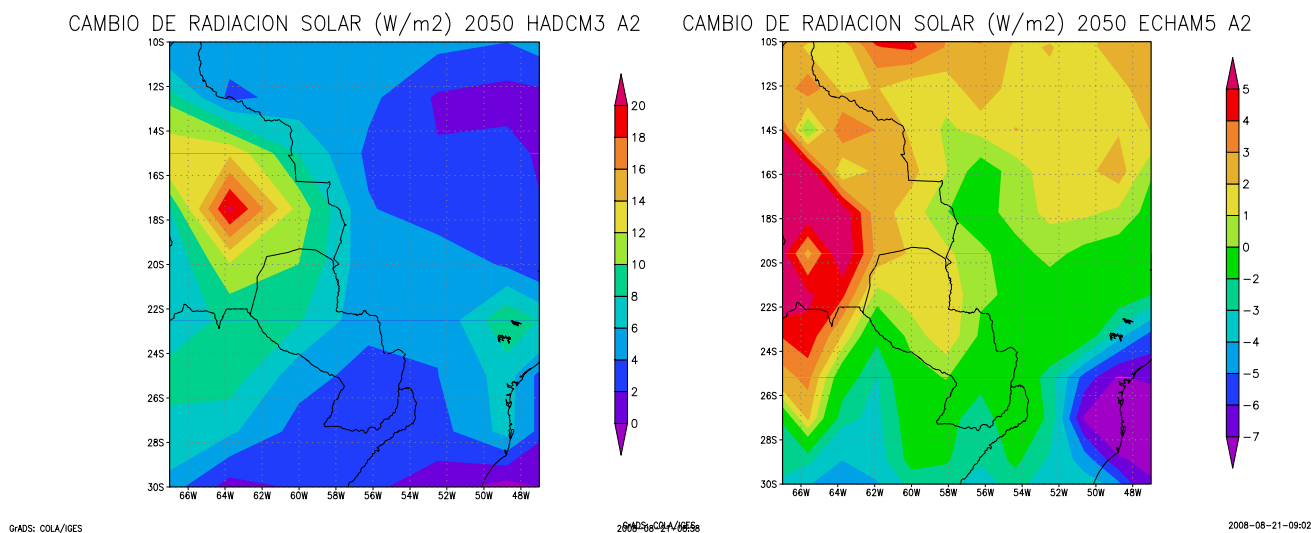


Figura 10.2 Cambios en la radiación solar global (W/m^2) para la década de 2050 según los modelos HADCM3 y ECHAM5 (SRES A2).

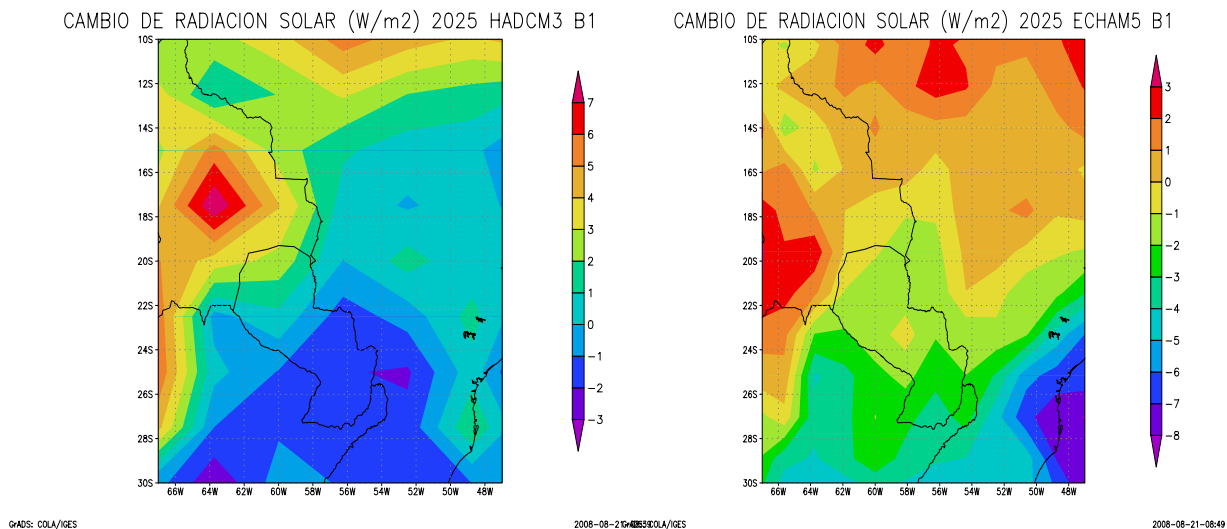


Figura 10.3 Cambios en la radiación solar global (W/m²) para la década de 2020 según los modelos HADCM3 y ECHAM5 (SRES B1).

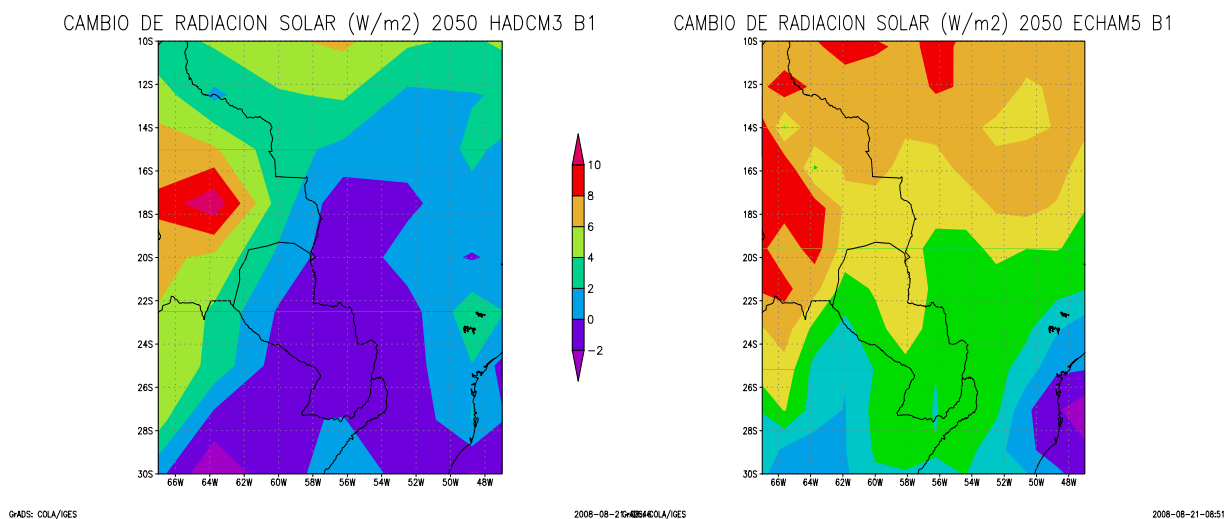


Figura 10.4 Cambios en la radiación solar global (W/m²) para la década de 2050 según los modelos HADCM3 y ECHAM5 (SRES B1).

6. Downscaling climático dinámico sobre Paraguay (Sistema PRECIS)

Se han realizado dentro de este Proyecto experimentos de downscaling climático dinámico (mejora de la resolución espacial), con equipamiento informático (PC-Quadcore), adquirido para este Proyecto y funcionando dentro del Laboratorio de Investigación Atmosférica y Problemas Ambientales (LIAPA) de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Asunción. El propósito ha sido incrementar significativamente la resolución espacial de los escenarios climáticos, sobre Paraguay y cuencas de interés, llevando la resolución espacial de los escenarios a 0.44° latitud por 0.44° longitud por medio del sistema PRECIS (Hadley Centre – U.K.).

El insumo inicial para este sistema es el escenario climático global obtenido de las corridas del Modelo Climático Global del Centro Hadley del Reino Unido el HADCM3. Este modelo global nos suministra las condiciones de borde de las variables climáticas sobre la región en estudio. El sistema PRECIS consta de un modelo regional (RCM) denominado **HadRAM3**, de alta resolución espacial que funciona anidado dentro del modelo global.

Un Modelo Climático Regional (RCM) es un modelo de alta resolución que cubre una región limitada sobre la superficie terrestre, típicamente de unos 5000 km. x 5000 km. Los RCM están basados en leyes físicas representadas por ecuaciones matemáticas que son resueltas usando una grilla tridimensional. La resolución horizontal típica de un RCM es de 50 km. Como los RCM son modelos físicos, usualmente incluyen la atmósfera y la superficie terrestre que son componentes del sistema climático, y contienen representaciones de los procesos mas importantes que se dan dentro del sistema climático (ej., nubes, radiación, lluvia, hidrología superficial). Muchos de estos procesos físicos se dan en escalas espaciales muy pequeñas, que los modelos globales no pueden modelar y resolver explícitamente. Estos efectos son tomados en cuenta usando las llamadas “parametrizaciones” en los cuales los efectos de estos procesos están representados por relaciones entre promedios espaciales o temporales y relacionan procesos de escala pequeña (por debajo de la escala del grillado) y procesos provenientes del flujo de gran escala

La técnica de anidado de modelos climáticos consiste en el de disponer de condiciones iniciales, condiciones meteorológicas de borde (dependientes del tiempo) y condiciones de superficie para correr un modelo climático de alta resolución (RCM). Los datos iniciales y de borde son extraídos de los modelos climáticos globales GCM o de reanálisis de observaciones y incluyen el forzamiento por gases de efecto invernadero (GHG) y por aerosoles. La estrategia básica es usar un Modelo Global para simular la respuesta de la circulación global al forzamiento de gran escala y el Modelo Regional para:

- a) Tomar en cuenta, de una manera física, los forzamientos por procesos por debajo de la escala de grillado del GCM (ejemplo: topografía compleja y no homogeneidades de la cobertura vegetal).
- b) Mejorar la simulación de la circulación atmosférica y de las variables climáticas a escalas espaciales mas finas.

El sistema **PRECIS** (**P**roviding **R**egional **C**limate for **I**mpact **S**tudies) ha sido

desarrollado por el Hadley Centre.

Posee un esquema de 4 capas de la superficie terrestre denominado MOSES (suelo humedad, evaporación, escorrentía, capa de nieve, etc.)

Las temperaturas de la superficie del mar (SST) están basadas en observaciones para el periodo 1960-1990. Se le ha aplicado una tendencia lineal para el periodo 2070-2100.

La versión utilizada en este proyecto ha sido la **Versión 1.3** pero ya que ha sido transferido a Paraguay (SEAM/Facen/UNA) desde el Hadley Centre (U.K) la versión 1.6.1.

Fueron desarrolladas dos simulaciones para los escenarios B2 (2080-2090) y A2 (2080-2090).

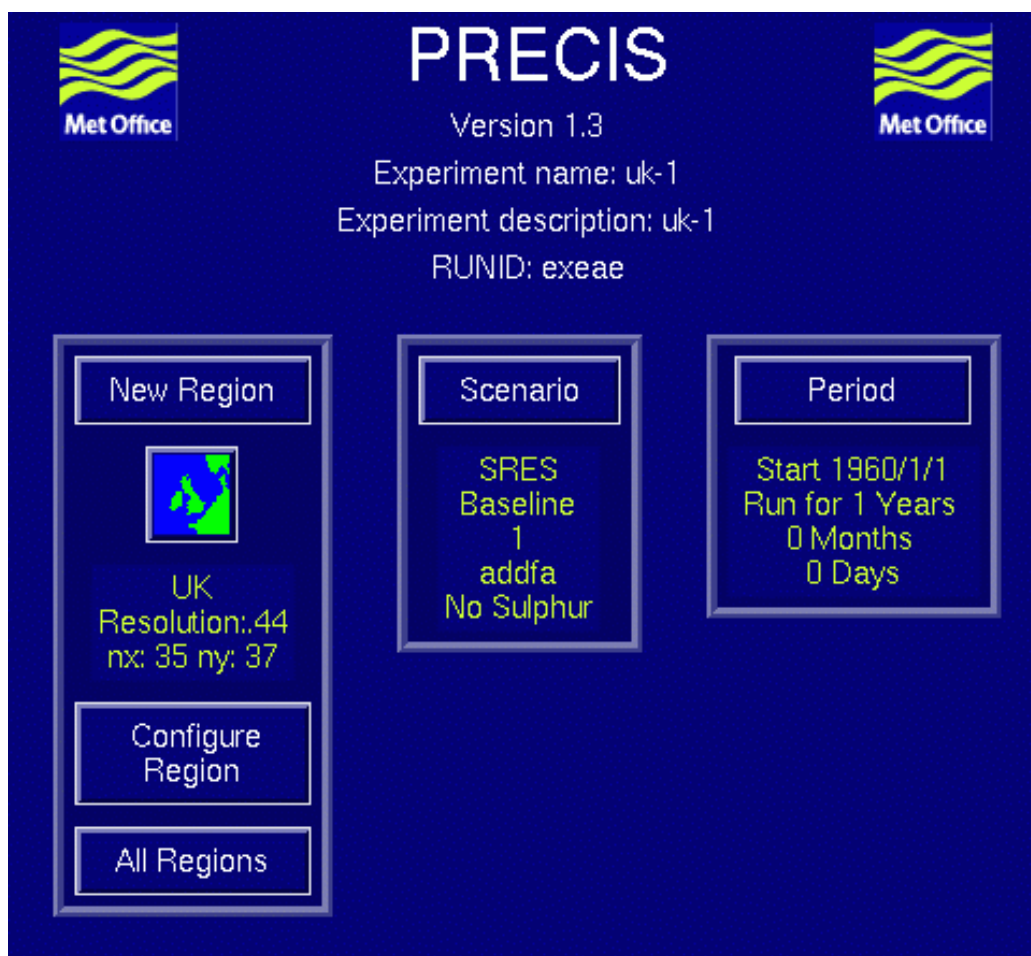


Figura 11. Página principal del Sistema PRECIS V 1.3

6.1 Escenarios climáticos futuros de alta resolución para la temperatura.

Los futuros campos de las temperaturas medias anual y estacional sobre la región, para la década del 2080, fueron estimados con el Sistema PRECIS para el escenario socioeconómico B1, se presentan a continuación.

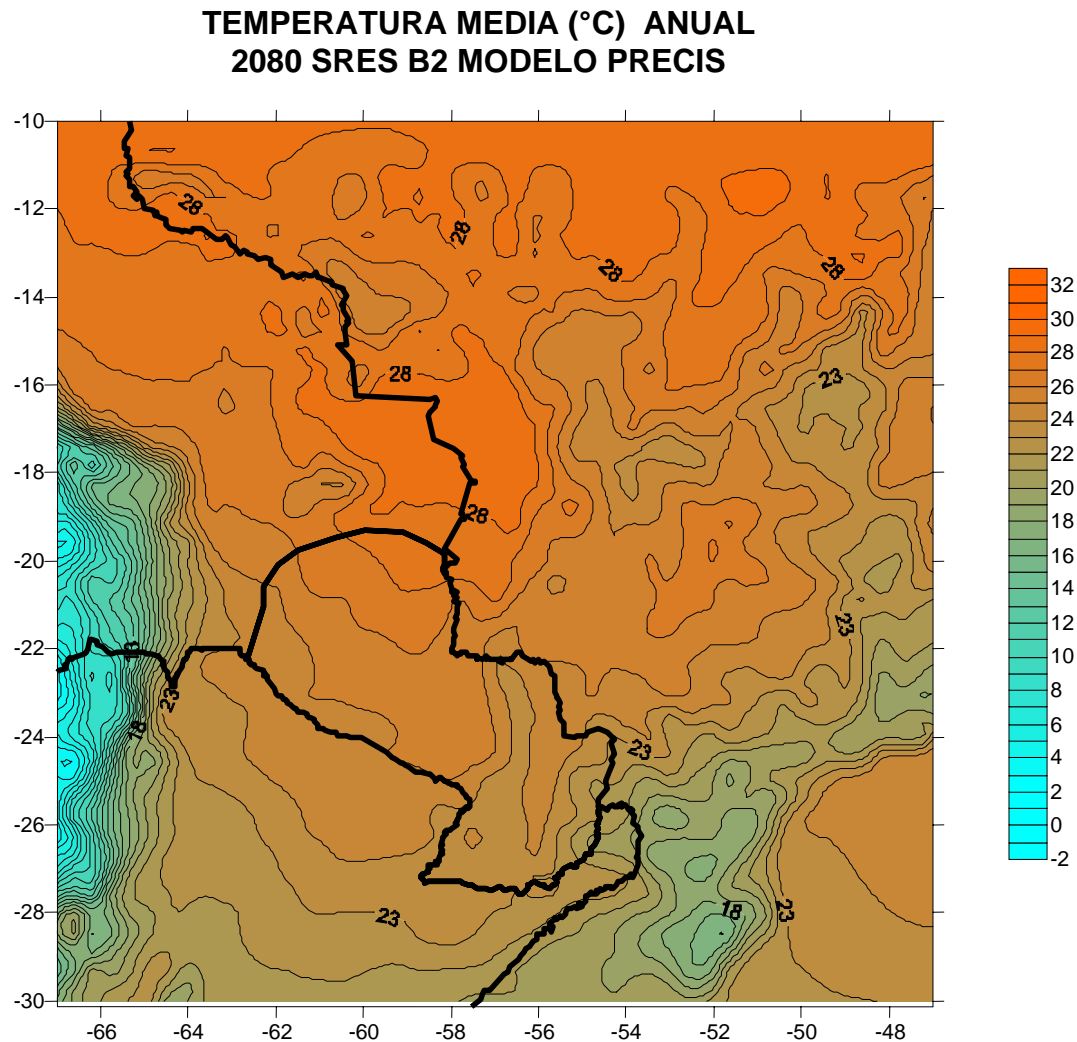


Figura 12.1 Escenario de temperatura media Anual (SRES B2) para 2081-2090.

**DIFERENCIA TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)
2080 - CLIMA SRES B2 MODELO PRECIS**

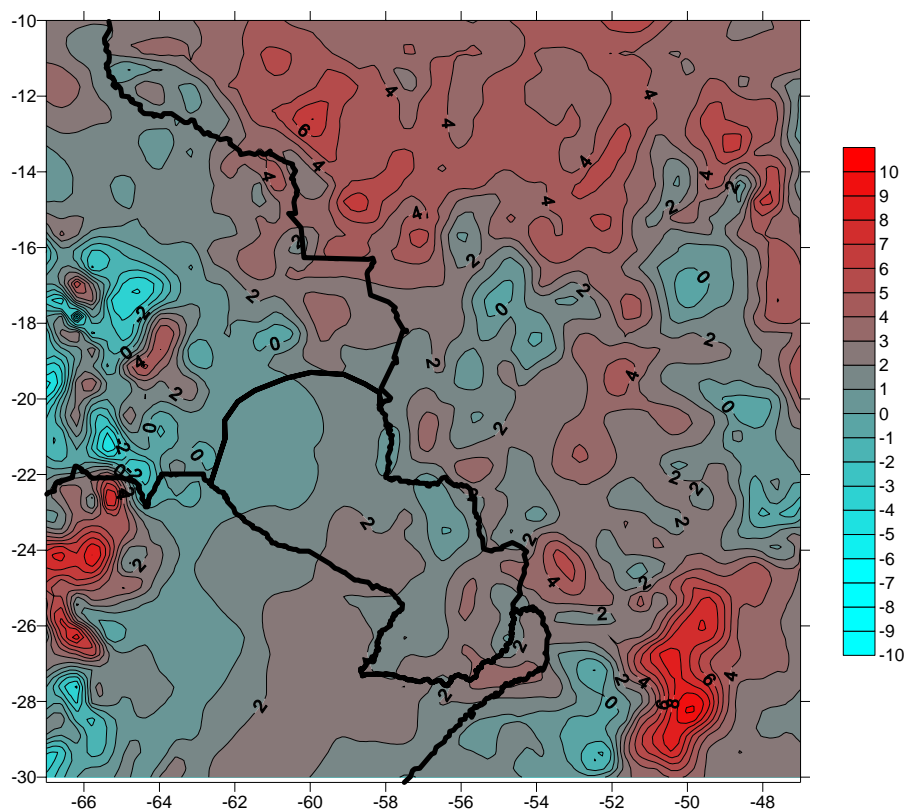


Figura 12.2 Diferencias de temperatura media Anual (SRES B2) 2080s – Clima actual.

**TEMPERATURA MEDIA (°C) TRIMESTRE JUN-JUL-AGO
2080 SRES B2 MODELO PRECIS**

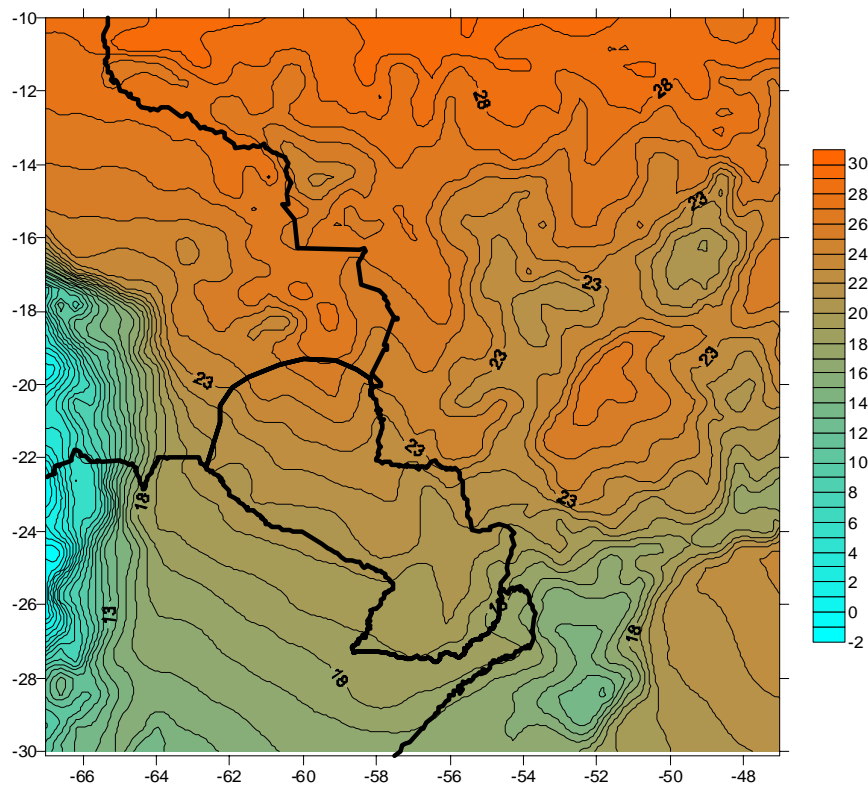


Figura 12.2 Escenario de temperaturas medias JJA (SRES B2) para 2081-2090.

**TEMPERATURA MEDIA (°C) TRIMESTRE SET-OCT-NOV
2080 SRES B2 MODELO PRECIS**

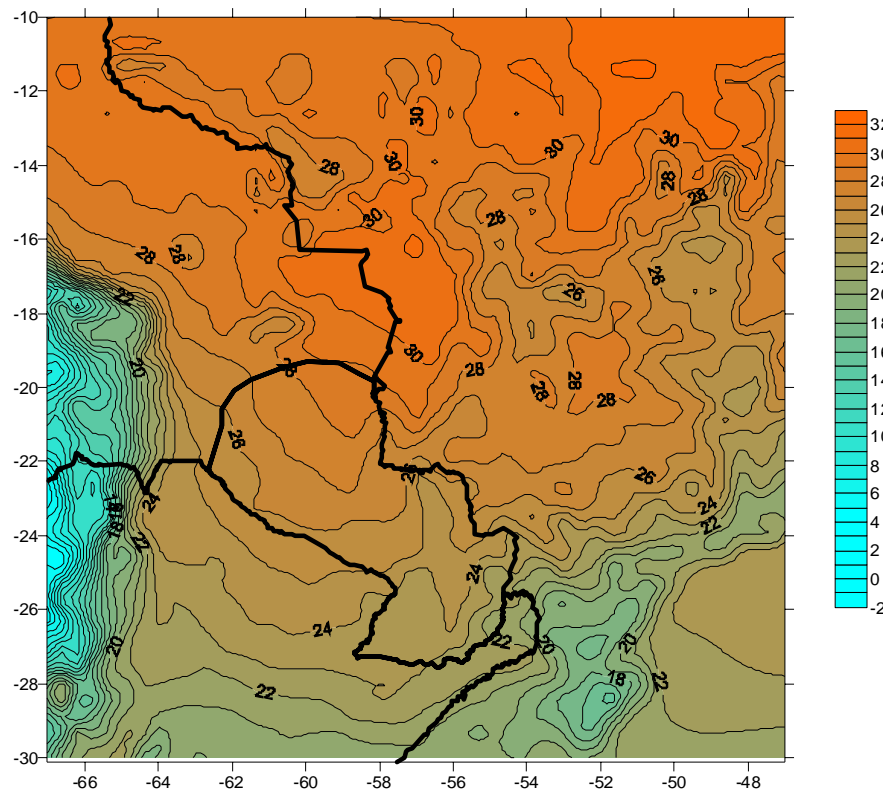


Figura 12.3 Escenario de temperaturas medias SON (SRES B2) para 2081-2090.

**TEMPERATURA MEDIA (°C) TRIMESTRE DIC-ENE-FEB
2080 SRES B2 MODELO PRECIS**

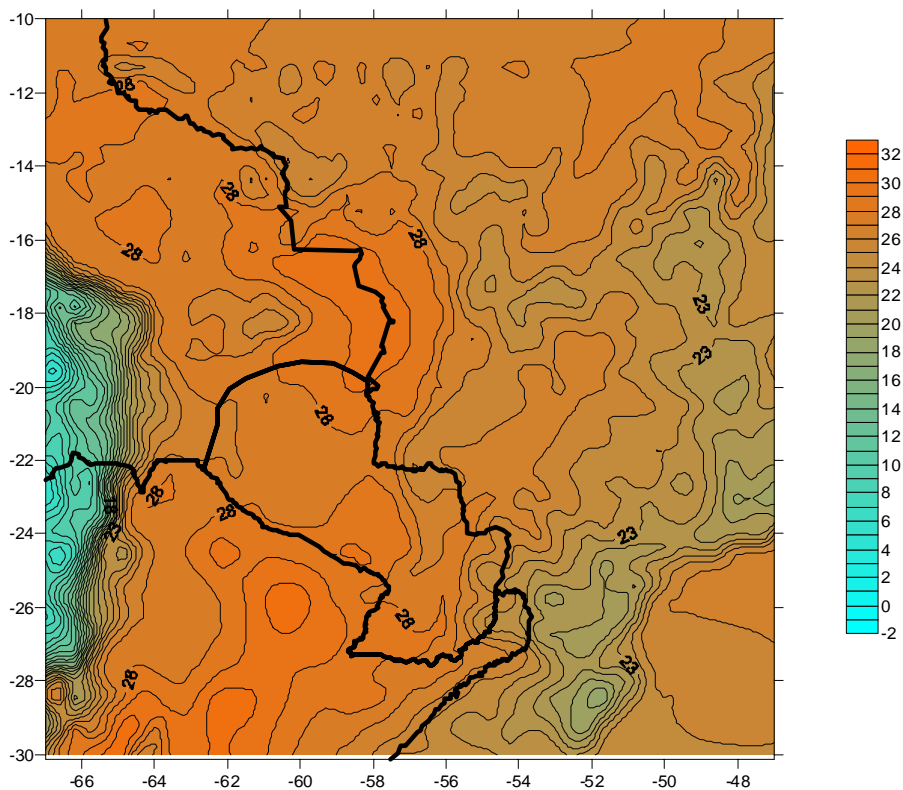


Figura 12.3 Escenario de temperaturas medias DEF (SRES B2) para 2081-2090.

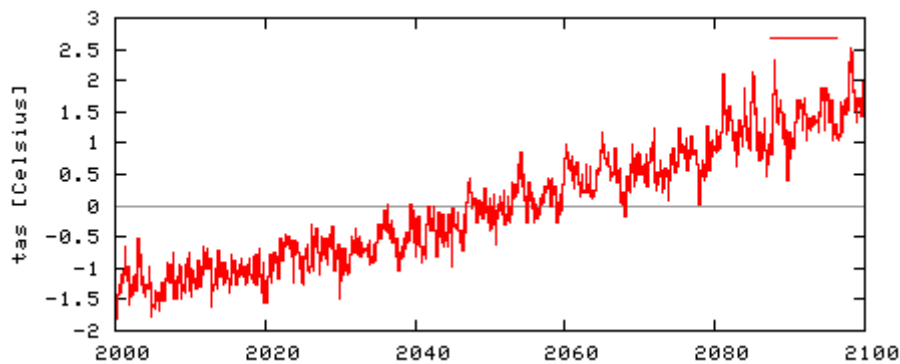


Figura 12.2 Evolución de la temperatura durante el siglo XXI sobre Paraguay (SRES A2)

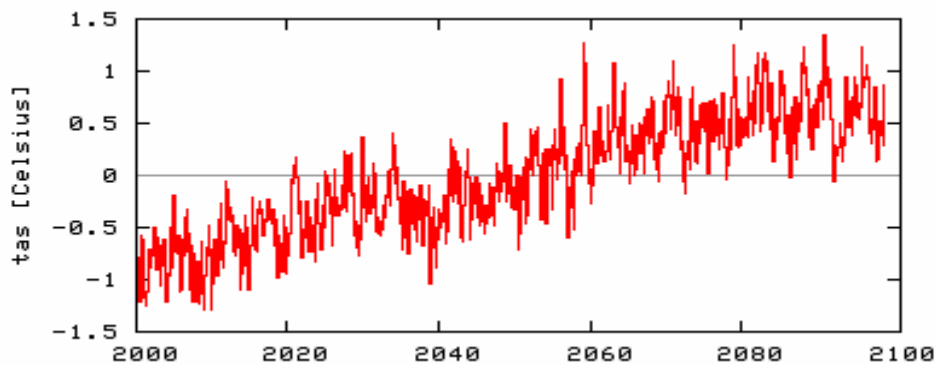


Figura 12.3 Evolución de la temperatura durante el siglo XXI sobre Paraguay (SRES B2)

Para la década del 2080, el escenario B2 determina incrementos de la temperatura media en el entorno de 2 °C sobre Paraguay, respecto al periodo 1961-1990 (ver mapa en figura 12.2). Se esperan, según el escenario B2, menores incrementos en las regiones más latitudinales.

6.2 Escenarios climáticos futuros de la precipitación media.

Los futuros campos de precipitación media sobre la región, expresados en milímetros por día, para la década del 2080, fueron estimados desde el Sistema PRECIS para el escenario socioeconómico B2. Los campos de la precipitación media (mm./día), se presentan a continuación:

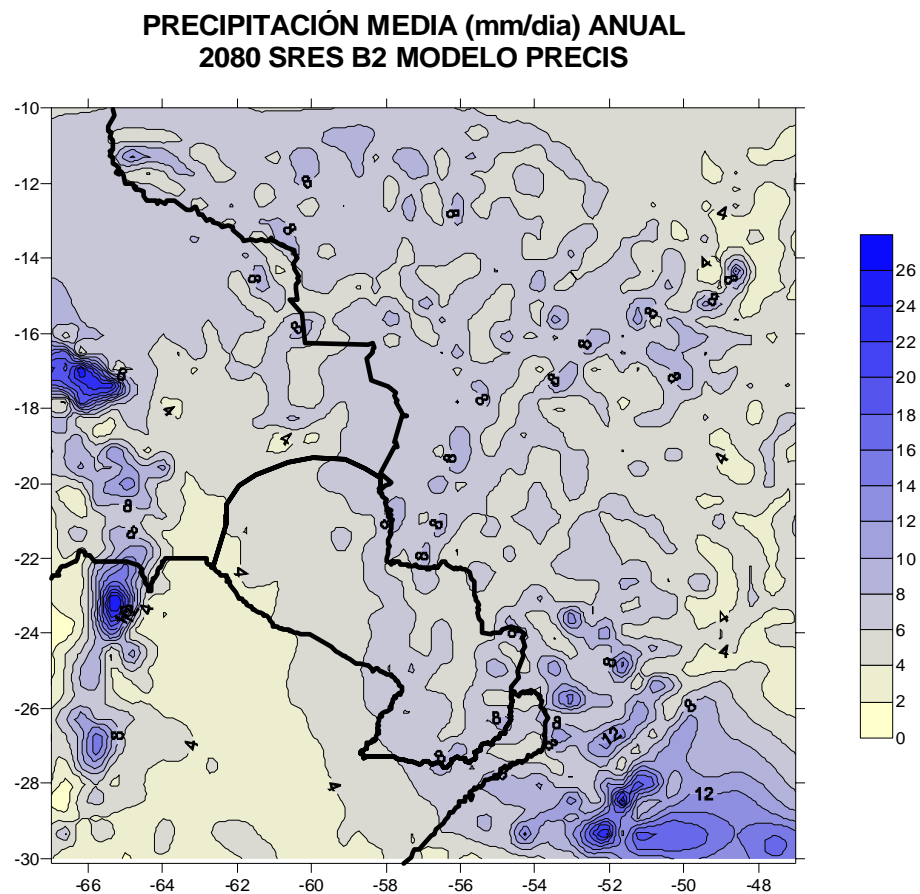


Figura 13.1 Escenario de precipitación media Anual (mm./día) (SRES B2) para 2081-2090.

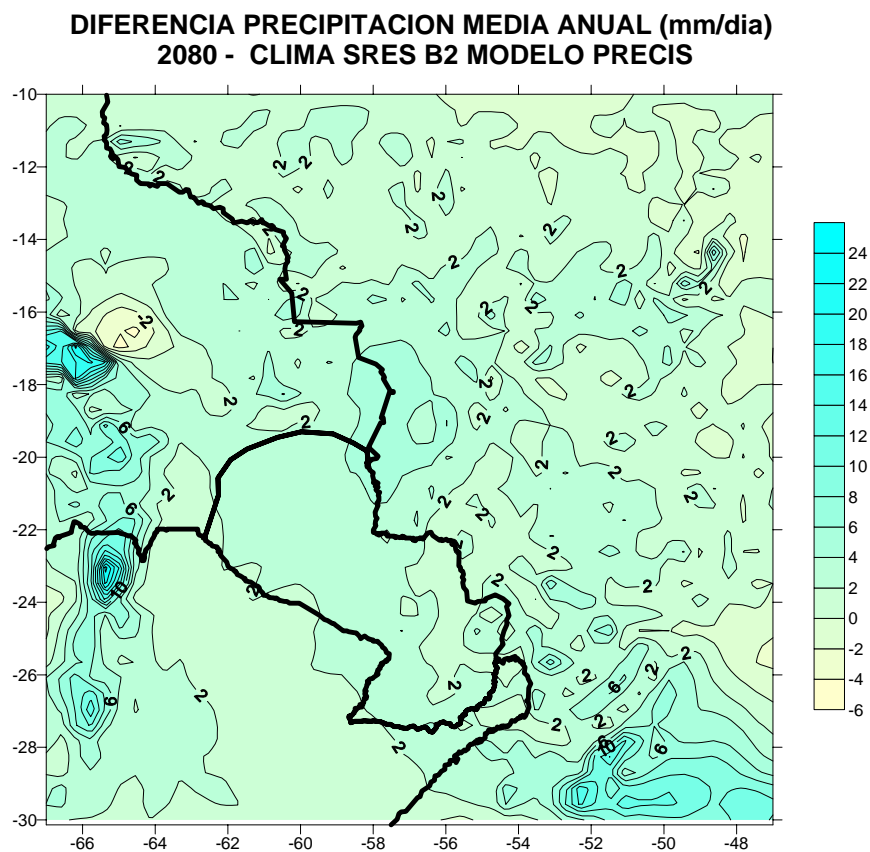


Figura 13.2 Diferencias de precipitación media anual (SRES B2) 2080s – Clima actual.

**PRECIPITACIÓN MEDIA (mm/día) TRIMESTRE MAR-ABR-MAY
2080 SRES B2 MODELO PRECIS**

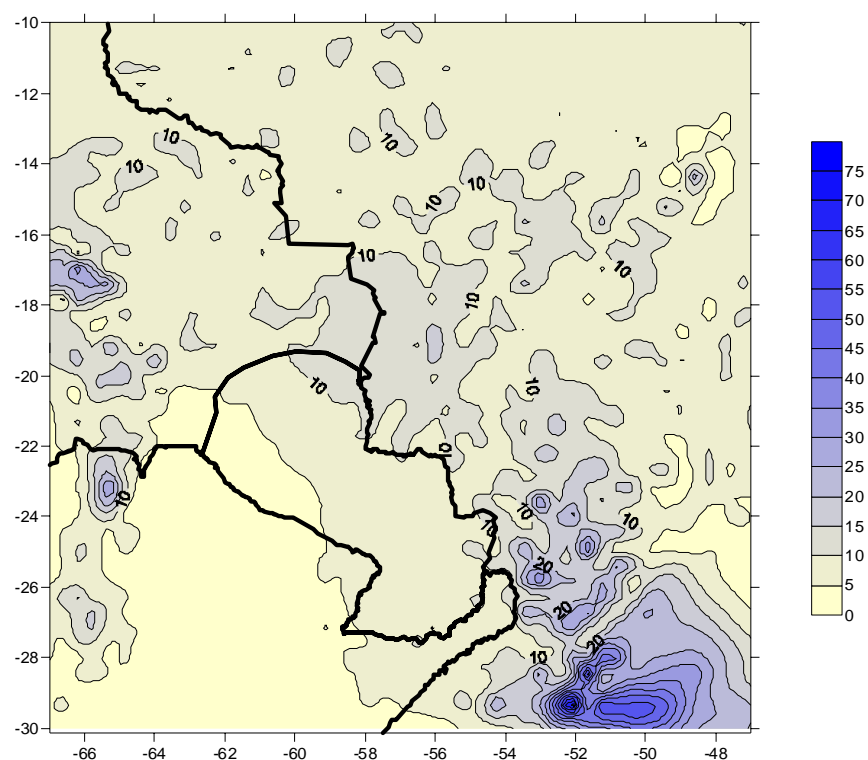


Figura 13.3 Escenario de precipitación Mar-Abr-May (mm./día) (SRES B2) para 2081-2090.

**PRECIPITACIÓN MEDIA (mm/día) TRIMESTRE JUN-JUL-AGO
2080 SRES B2 MODELO PRECIS**

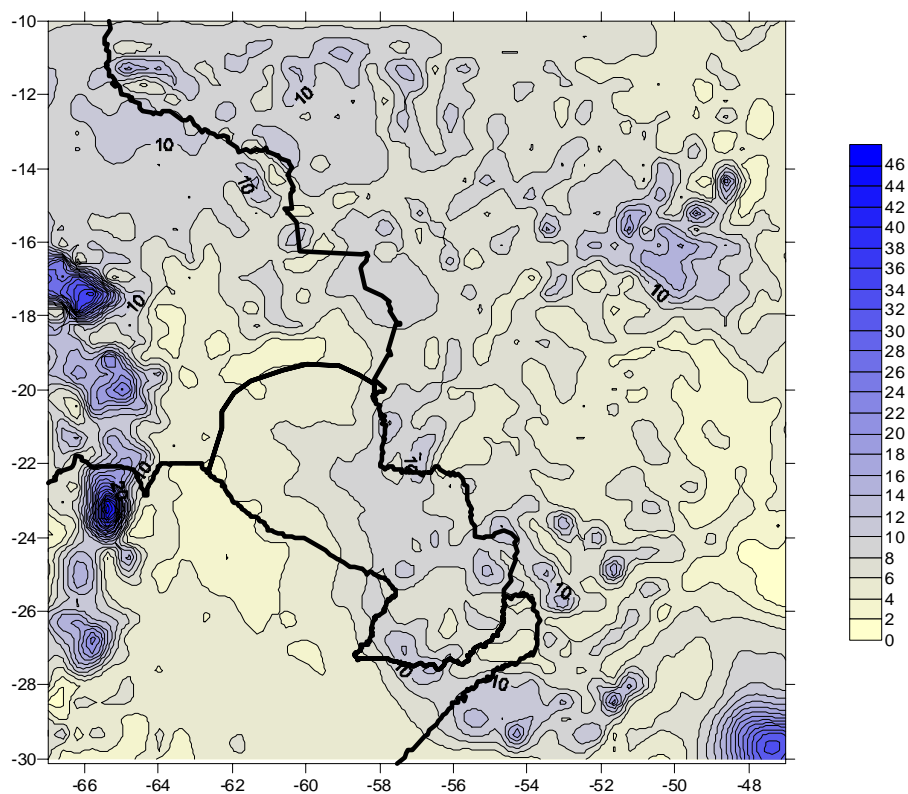


Figura 13.4 Escenario de precipitación Jun-Jul-Ago mm./día) (SRES B2) para 2081-2090.

**PRECIPITACIÓN MEDIA (mm/día) TRIMESTRE SEP-OCT-NOV
2080 SRES B2 MODELO PRECIS**

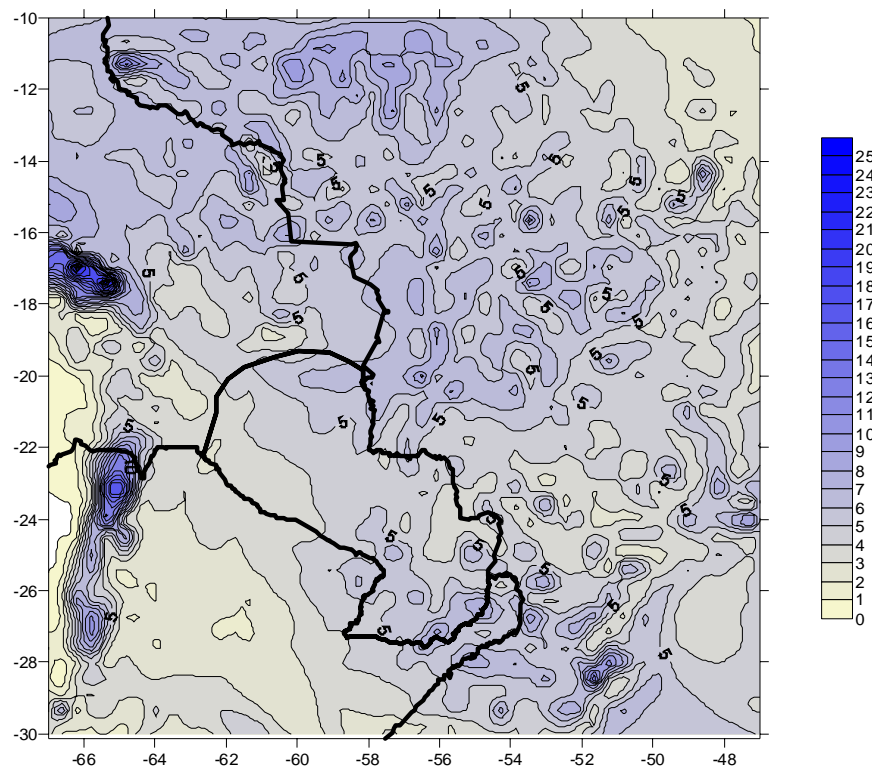


Figura 13.5 Escenario de precipitación Set-Oct-Nov mm./día) (SRES B2) para 2081-2090.

**PRECIPITACIÓN MEDIA (mm/día) TRIMESTRE DIC--ENE-FEB
2080 SRES B2 MODELO PRECIS**

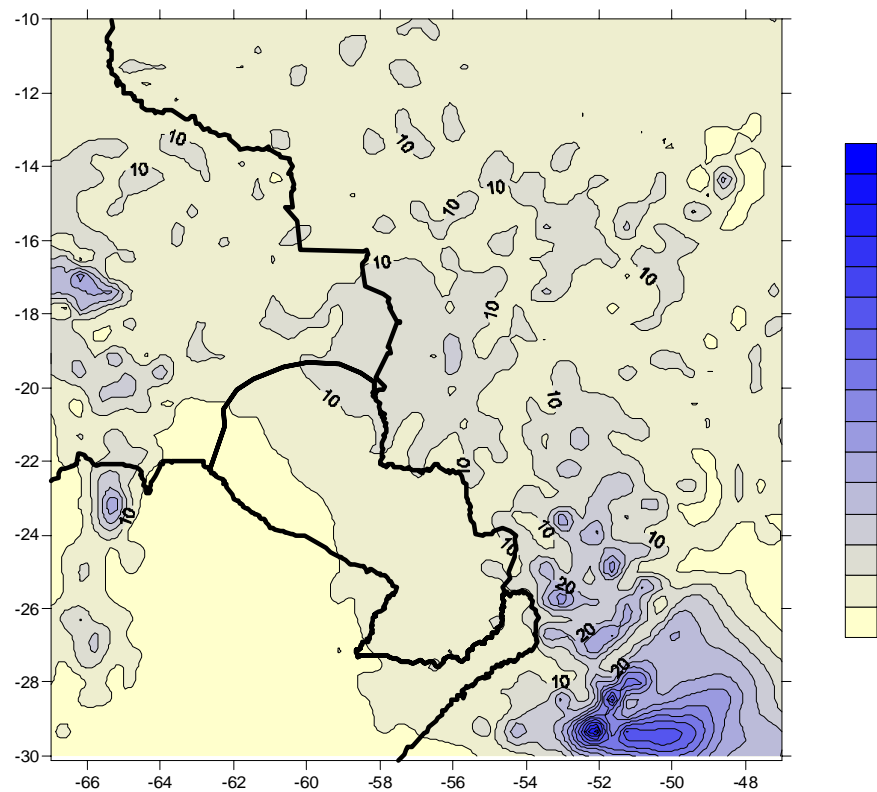


Figura 13.6 Escenario de precipitación Dic-Ene-Feb mm./día) (SRES B2) para 2081-2090.

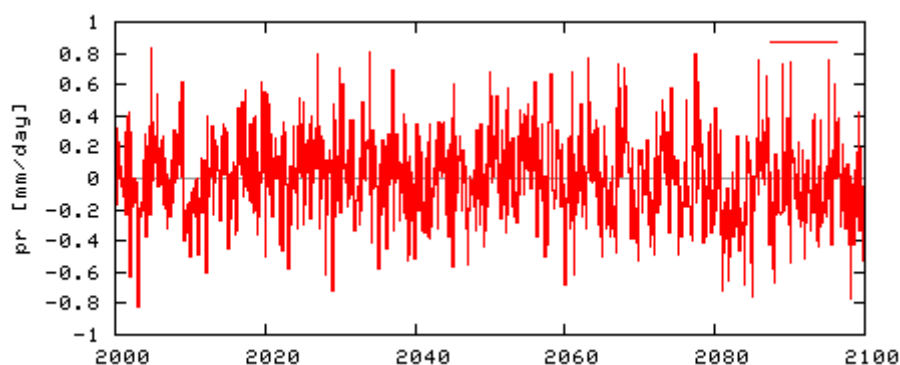


Figura 13.6 Evolución de la precipitación durante el siglo XXI sobre Paraguay (SRES A2)

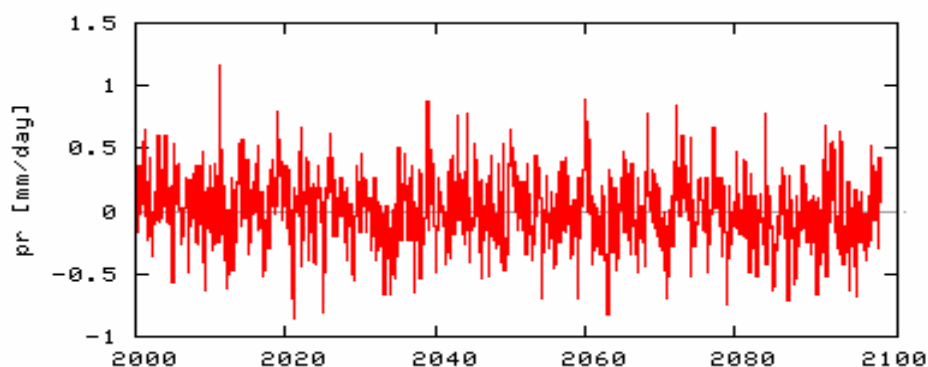


Figura 13.7 Evolución de la precipitación durante el siglo XXI sobre Paraguay (SRES B2)

Para la década del 2080, el escenario B2 determina incrementos de la precipitación media anual para situarse en el entorno de 2 mm./día en la región del SE de Paraguay (ver mapa en figura 13.2). Se esperan, según este escenario un incremento de la variabilidad interanual en toda la región, destacándose la alternancia de períodos húmedos y secos. Es de destacar que la precipitación es subestimada por el modelo HADCM3 por lo que el downscaling climático dinámico con el sistema PRECIS a pesar de mejorar la distribución espacial de las lluvias, sufre del mismo problema en toda la región en estudio.

6.3 Escenarios climáticos futuros de la humedad relativa media.

Los futuros campos de la humedad relativa media anual sobre la región, expresados en porcentaje (%), para la década del 2080, fueron estimados con la ayuda del sistema PRECIS para el escenario socioeconómico B2. Los campos de la humedad relativa media decadal (%), se presentan a continuación:

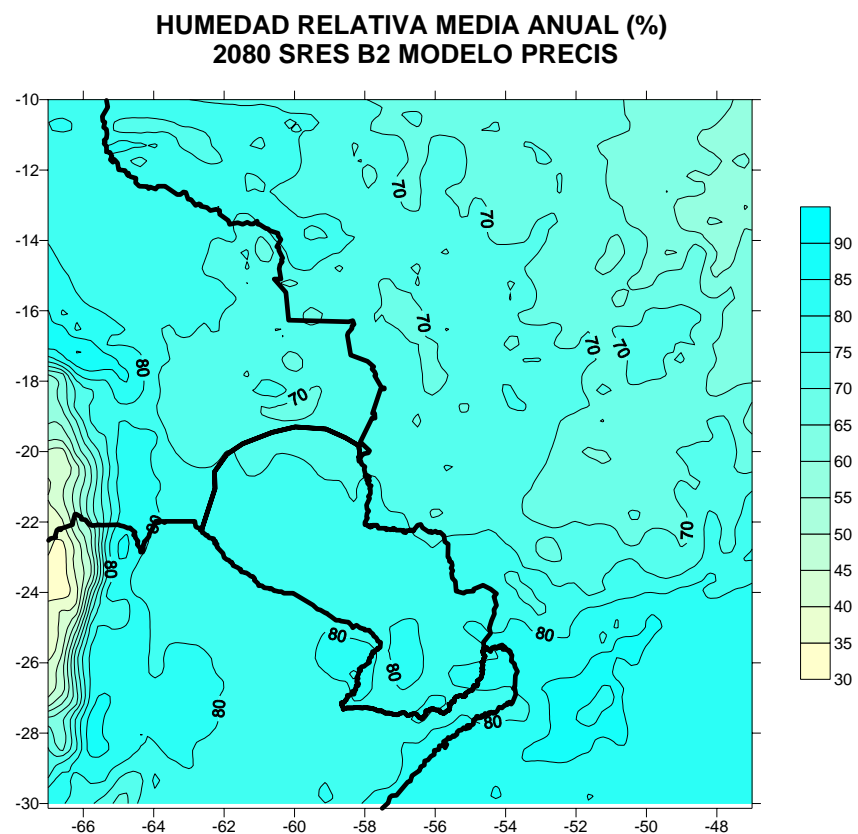


Figura 14.1 Escenario de humedad relativa media Anual (%) (SRES B2) para 2081-2090.

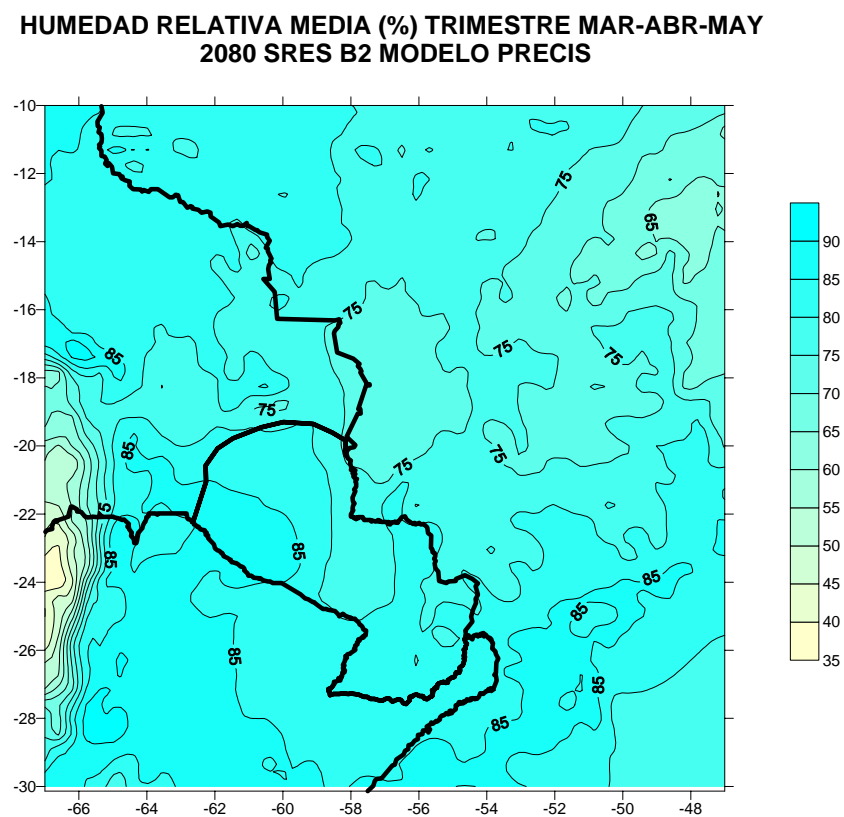


Figura 14.2 Escenario de humedad relativa Mar-Abr-May (%) (SRES B2) para 2081-2090.

**HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%) TRIMESTRE JUN-JUL-AGO
2080 SRES B2 MODELO PRECIS**

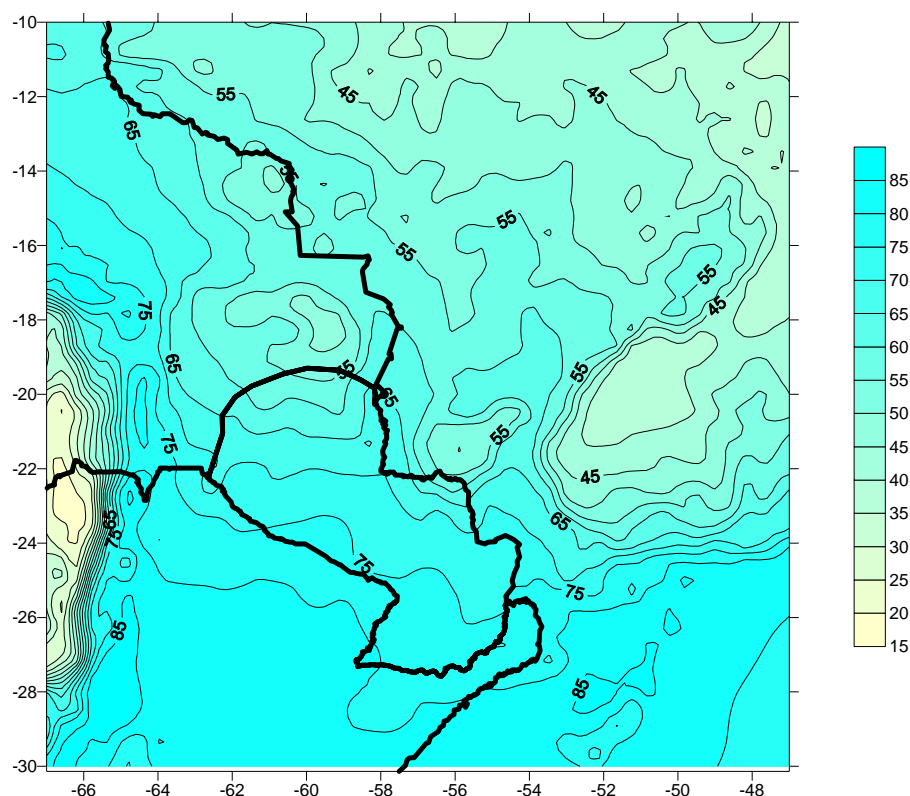


Figura 14.3 Escenario de humedad relativa Jun-Jul-Ago (%) (SRES B2) para 2081-2090.

**HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%) TRIMESTRE SET-OCT-NOV
2080 SRES B2 MODELO PRECIS**

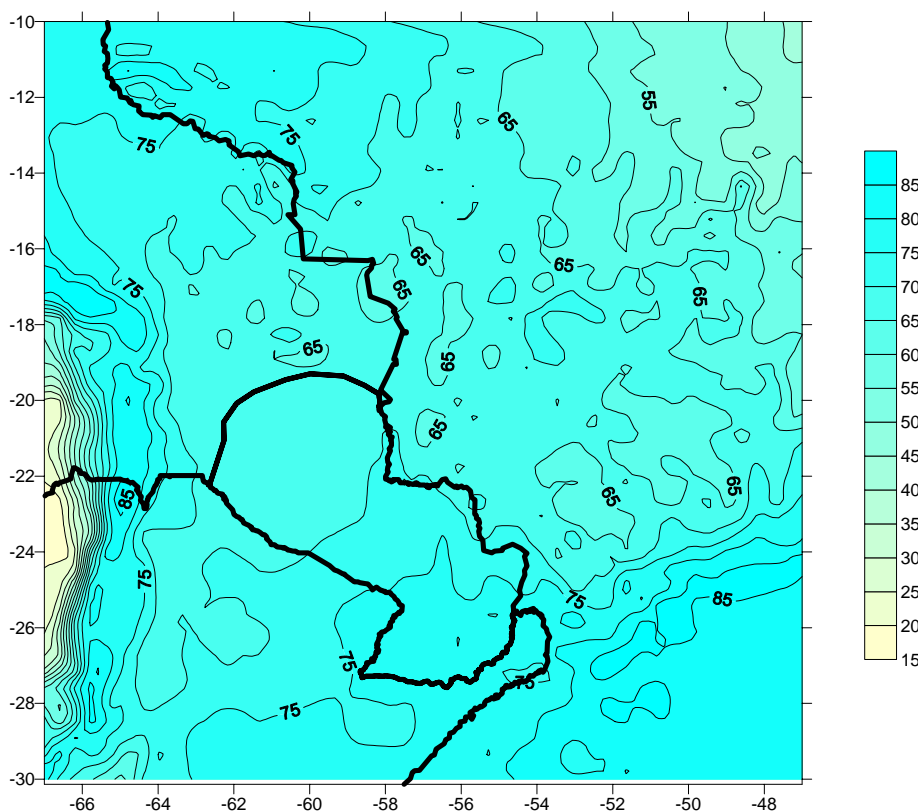


Figura 14.4 Escenario de humedad relativa Set-Oct-Nov (%) (SRES B2) para 2081-2090.

**HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%) TRIMESTRE DIC-ENE-FEB
2080 SRES B2 MODELO PRECIS**

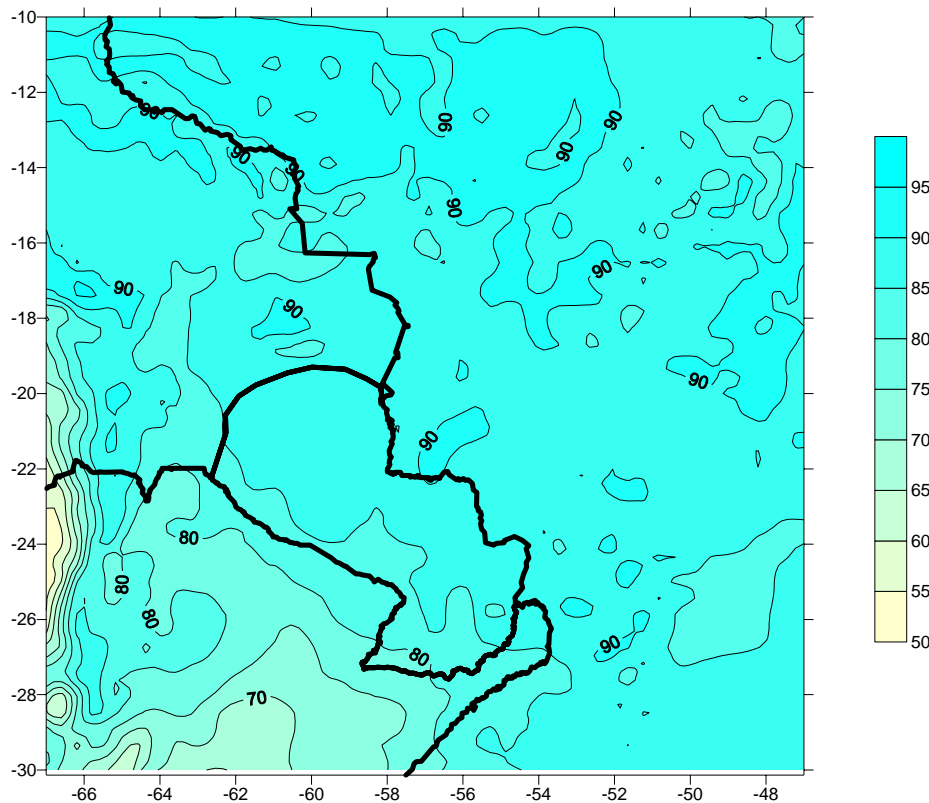


Figura 14.5 Escenario de humedad relativa Dic-Ene-Feb (%) (SRES B2) para 2081-2090.

Para la década del 2080, el escenario B2 determina ligeros incrementos de la humedad relativa media anual del orden de un +2% en las regiones sur, suroeste y sureste del País, mientras que la región norte del Chaco sufriría una disminución del orden del -2% principalmente durante la época invernal (ver mapas en figura 14.1 a 14.5).

6.4 Escenarios climáticos futuros de la Radiación Solar global.

Los futuros campos de la radiación solar global media sobre la región, expresados en porcentaje (W/m²), para la década del 2080, fueron estimados con la ayuda del sistema PRECIS para el escenario socioeconómico B2. Los campos muestran ligeros incrementos de la radiación solar global en superficie del orden de un +2% en las regiones sur, suroeste y sureste del País, mientras que la región norte del Chaco sufriría una disminución del orden del -2% principalmente durante la época invernal (ver mapas en figura 15.1 a 15.5).

Los campos de la radiación solar se presentan a continuación en las figuras 15.1 a 15.5:

RADIACION SOLAR MEDIA ANUAL (w/m2)
2080 SRES B2 MODELO PRECIS

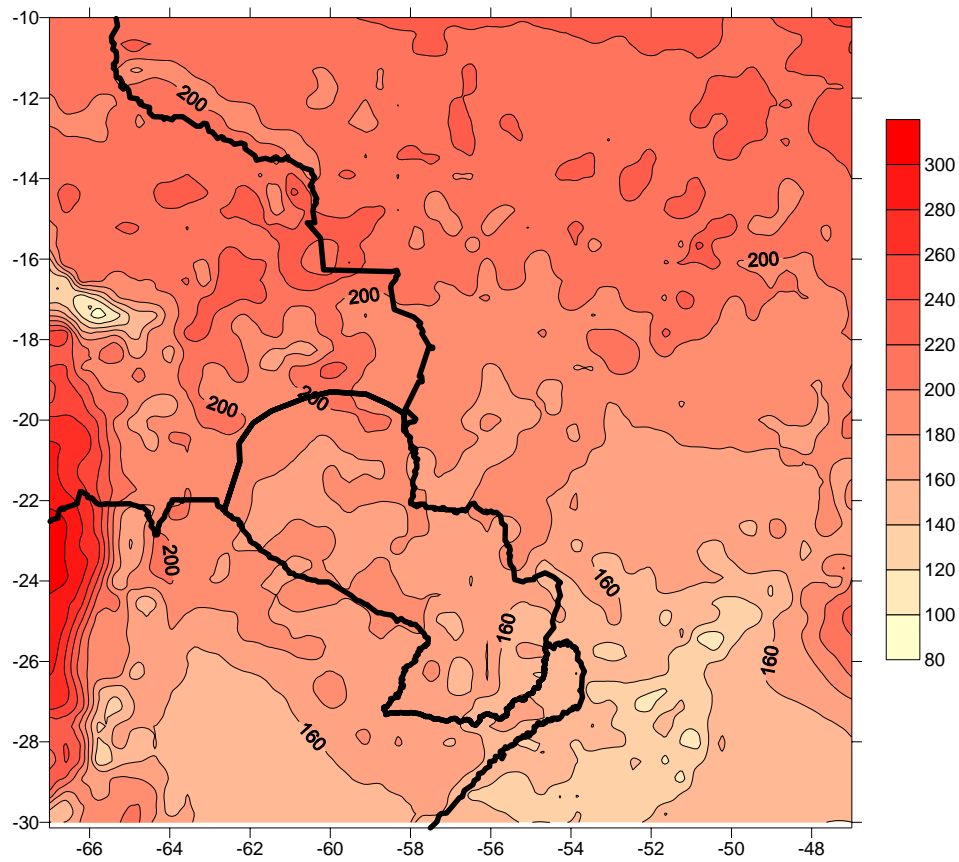


Figura 15.1 Escenario de Radiación Solar media Anual (W/m2) (SRES B2) para 2081-2090.

**RADIACION SOLAR (w/m2) TRIMESTRE MAR-ABR-MAY
2080 SRES B2 MODELO PRECIS**

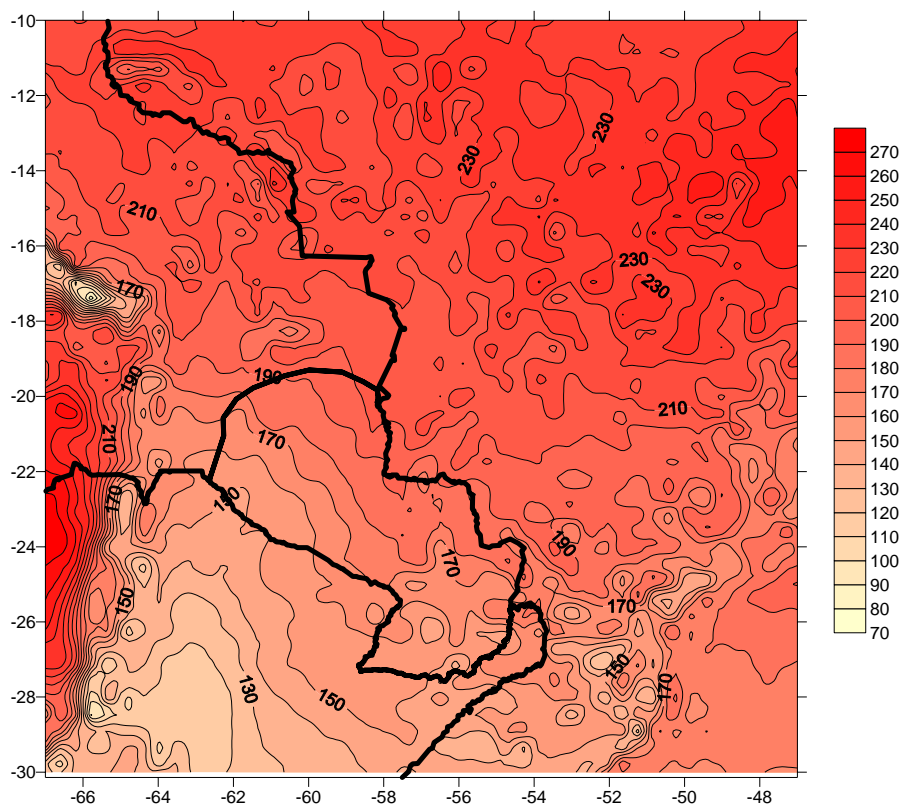


Figura 15.2 Escenario de Radiación Solar Mar-Abr-May (W/m2) (SRES B2) para 2081-2090.

**RADIACION SOLAR (w/m2) TRIMESTRE JUN-JUL-AGO
2080 SRES B2 MODELO PRECIS**

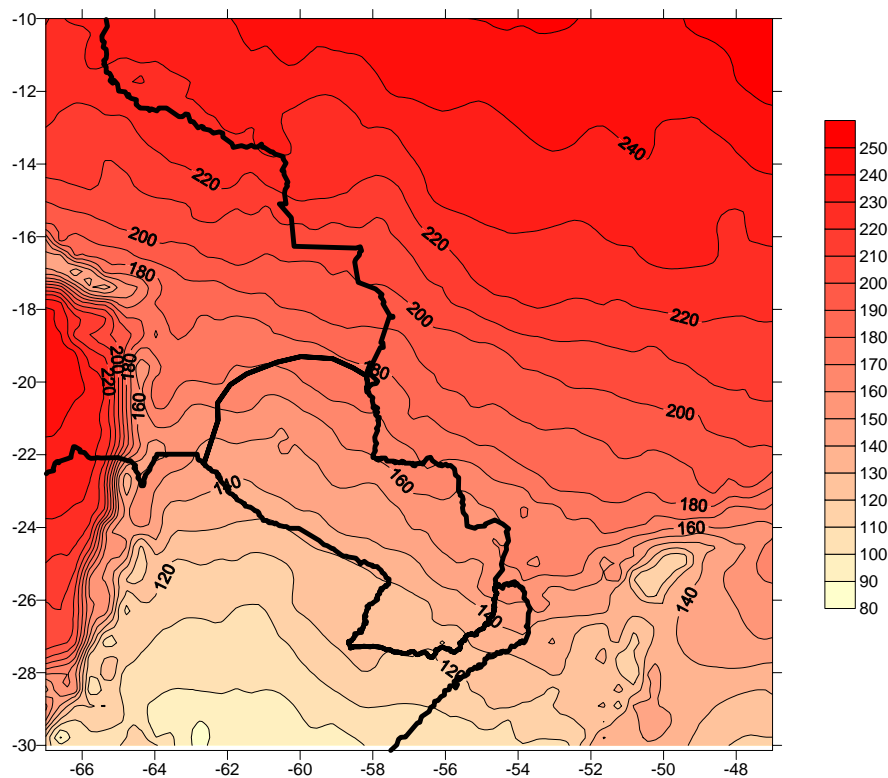


Figura 15.3 Escenario de Radiación Solar Jun-Jul-Ago (W/m2) (SRES B2) para 2081-2090.

RADIACION SOLAR (w/m2) TRIMESTRE SET-OCT-NOV 2080 SRES B2 MODELO PRECIS

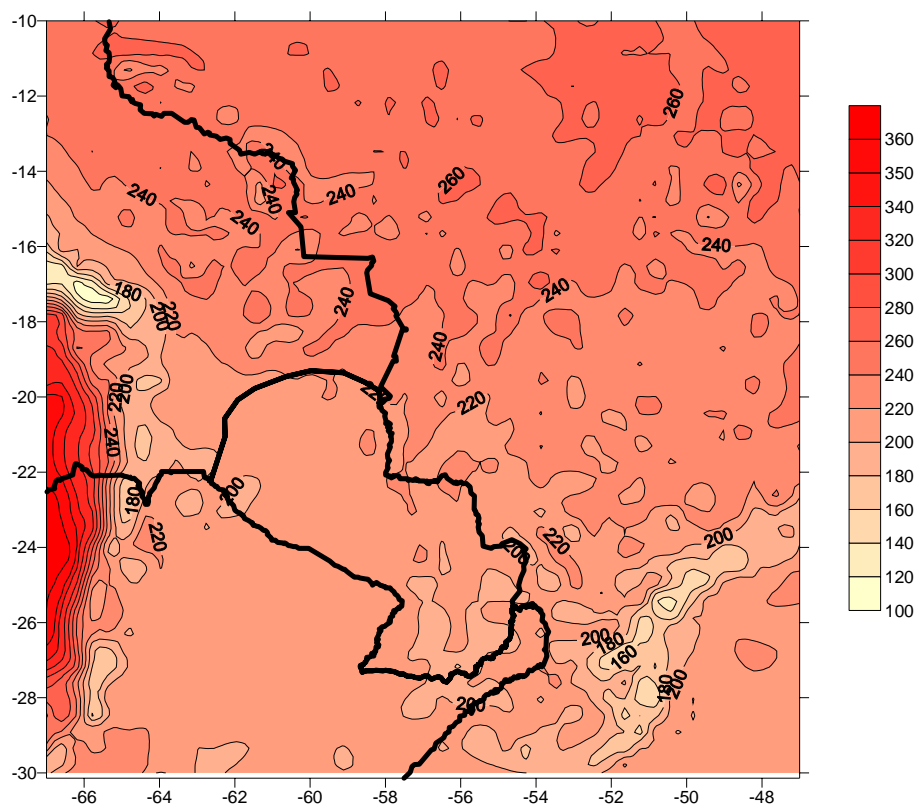


Figura 15.4 Escenario de Radiación Solar Set-Oct-Nov (W/m2) (SRES B2) para 2081-2090.

RADIACION SOLAR (w/m2) TRIMESTRE DIC-ENE-FEB 2080 SRES B2 MODELO PRECIS

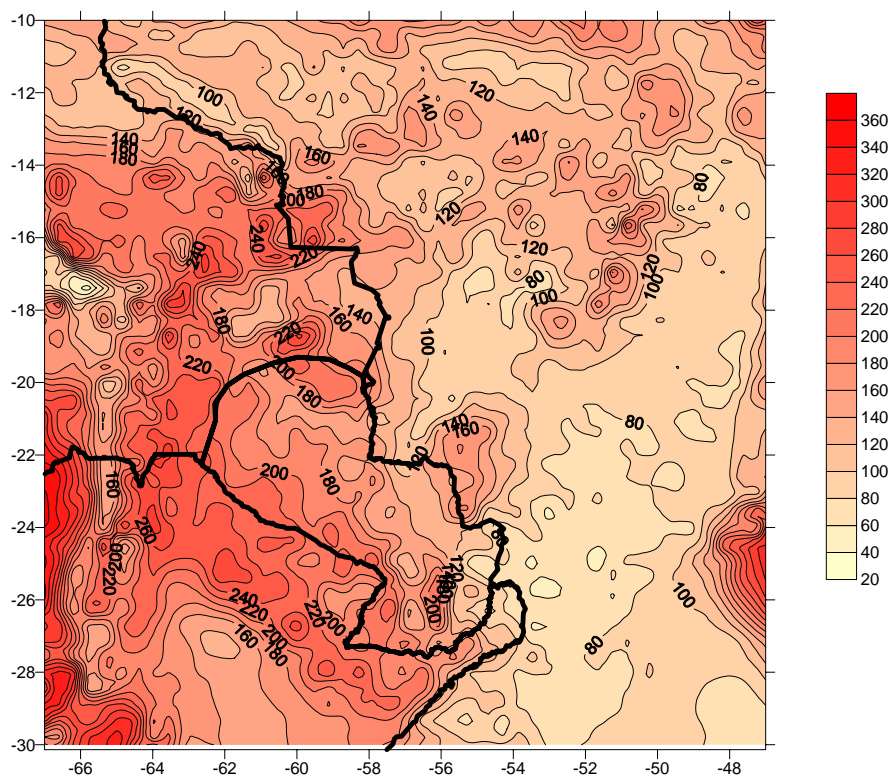


Figura 15.5 Escenario de Radiación Solar Dic-Ene-Feb (W/m2) (SRES B2) para 2081-2090

7. Conclusiones.

Los escenarios climáticos futuros fueron contruidos sobre la base de las salidas de los modelos climáticos globales. A pesar de que los Modelos Climáticos tienen algunos errores comunes en la región, como el de subestimar en general la precipitación sobre el Sudeste de Sudamérica (este de Argentina, este de Paraguay y sur del Brasil), ya ha sido verificado que la mejor simulación del clima actual en precipitación es la realizada por el modelo HADCM3 del Hadley Centre.

A pesar de las incertidumbres inherentes a este tipo de construcciones, como principal conclusión se estima que para la región central de América del Sur donde se ubica Paraguay experimentaría para la década centrada en el 2020 un calentamiento que estaría en el entorno de 1° C según el promedio de los cuatro modelos analizados, para el escenario A2 (alto), esto es si no se tomaran acciones internacionales para la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Para la década centrada en 2050 el calentamiento sería aun más importante con valores en el entorno de los 2 a 2.5° C. Sin embargo el modelo HADCM3 estima un calentamiento aún mayor que los otros tres restantes modelos con calentamientos del orden de los 3° C en promedio anual. Los mayores calentamientos se verificarían geográficamente sobre el norte y noroeste del territorio (cuenca del Río Paraguay) y los menores sobre el sureste de la región oriental.

Los cambios de la precipitación previsto para las décadas de 2020 y 2050 varían en forma importante de acuerdo a los diferentes modelos climáticos analizados y son mayores en el escenario A2. En general se prevé un decrecimiento hacia el oeste y noreste del País y los mayores incrementos se darían hacia el norte, este y fundamentalmente al sureste de la región en estudio (cuenca del Río Paraná).

La mayoría de los modelos prevén un aumento de la precipitación en la región sobre el final del año (meses de noviembre y diciembre), esta tendencia se observa ya en la década de 2020 pero es más notoria en la década del 2050, donde la media del conjunto muestra incrementos de hasta 1 mm./día en el mes de octubre sobre la mayoría de las localidades estudiadas sobre el territorio paraguayo.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo y las sugerencias realizadas con el MSc. Genaro Coronel y Lic Nancy Ríos del Laboratorio de Investigación en Atmósfera y Problemas Ambientales (LIAPA) de la UNA (Universidad Nacional de Asunción) en Paraguay, así como el Ing. Angel Parra y demás Personal local de la Secretaria de Medio Ambiente y de los integrantes del Programa Nacional de Cambio Climático de Paraguay.

8. Bibliografía

Bidegain M, I. Camilloni; 2006; *Performance of GCMs and Climate Future Scenarios for Southeastern South America*. Annals of 8th International Conference of Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. Foz de Iguacu. Brazil. 2006

Bidegain M y C. Deshayes; 2005; *Escenarios climáticos futuros de Precipitación para el Cono sur de Sudamérica*. Annals of Argentina and Latin American Meeting on Water Resources (CONAGUA) 2005. Mendoza, Argentina.

Camilloni I and M. Bidegain; 2005; Chapter 4 “*Escenarios Climáticos para el siglo XXI*”. Libro: “El Cambio Climático en el Río de la Plata”. AIACC LA32/26 Project. Ed. Barros, Menendez, Nagy. BsAs.

Carril, A., C.G. Menendez and M. Nuñez (1997) “*Climate Change Scenarios over South American region: An intercomparison of coupled general atmosphere-ocean circulation models*”. Int. J. of Climatology, Vol 17, 1613-1633.

Hoftadter, R. and M.Bidegain (1997) “*Performance of General Circulation Models in southeastern South America*”. Climate Research. Climate Research, Vol. 9, N°1-2.

Hulme, M. (1991) “*An intercomparison of model and observed global precipitation climatologies*”. Geophys. Res.lett., 18, 1715-1718.

IPCC Data Distribution Center (www.dkrz.de/ipcc/ddc/html/SRES/SRES_all.html).

IPCC Four Assesment Report. 2007. Final Report Working Group II.

Kalnay, E. and Coauthors, 1996. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **77**, 437–471.

Liebmann B., C. S. Vera, L. Carvalho, I. Camilloni, M. P. Hoerling, D. Allured, M. Bidegain, J. Báez, V. Barros (2004) “*An Observed Trend in Central South American Precipitation*”. J. Climate. Vol 17, 4357-4367.

New, M., M.Hulme and P.D.Jones (1999) “*Representing twentieth century space-time climate variability*”. Part 1: development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology. J.Climate, 12, 829-856.

New, M., M.Hulme and P.D.Jones (2000) “*Representing twentieth century space-time climate variability*”. Part 2: development of a 1961-1990 monthly grids of terrestrial surface climate. J.Climate, 13, 2217-2238.

Willmott C.J., Matura K. (2001). Terrestrial air temperature and precipitation. Univ. Delaware.

ANEXO

Escenarios climáticos futuros sobre localidades de interés.

De manera de procurar que los escenarios climáticos futuros regionales sean útiles para estudios de impacto y adaptación, se presentan los cambios que podrían ocurrir sobre algunas localidades de interés sobre Paraguay. Para ello hemos analizado el escenario **SRES A2 (medio alto)** sobre cinco localidades del territorio paraguayo:

Nombre	Latitud	Longitud
ASUNCIÓN	25.266° S	57.660° W
CAAZAPA	26.150° S	56.400° W
POZO COLORADO	23.433° S	58.966° W
MRCAL. ESTIGARRIBIA	22.033° S	60.633° W
SAN PEDRO	24.000° S	56.000° W

Para cada una de estas localidades se ha graficado el cambio de la temperatura y precipitación media mensual, para las décadas de 2020 y 2050. A continuación se incluyen las graficas para las cinco localidades mencionadas. Los valores numéricos se encuentran dentro del Anexo I.

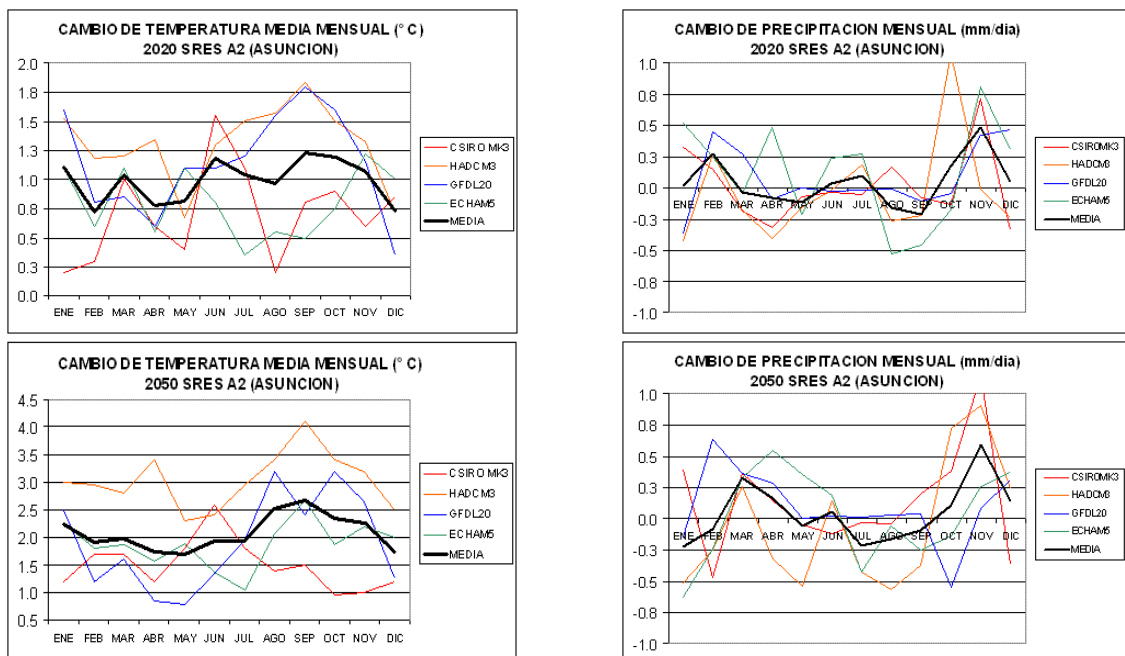


Figura A.1 Escenarios mensuales de cambio de temperatura y precipitación para Asunción (en color negro la media del conjunto).

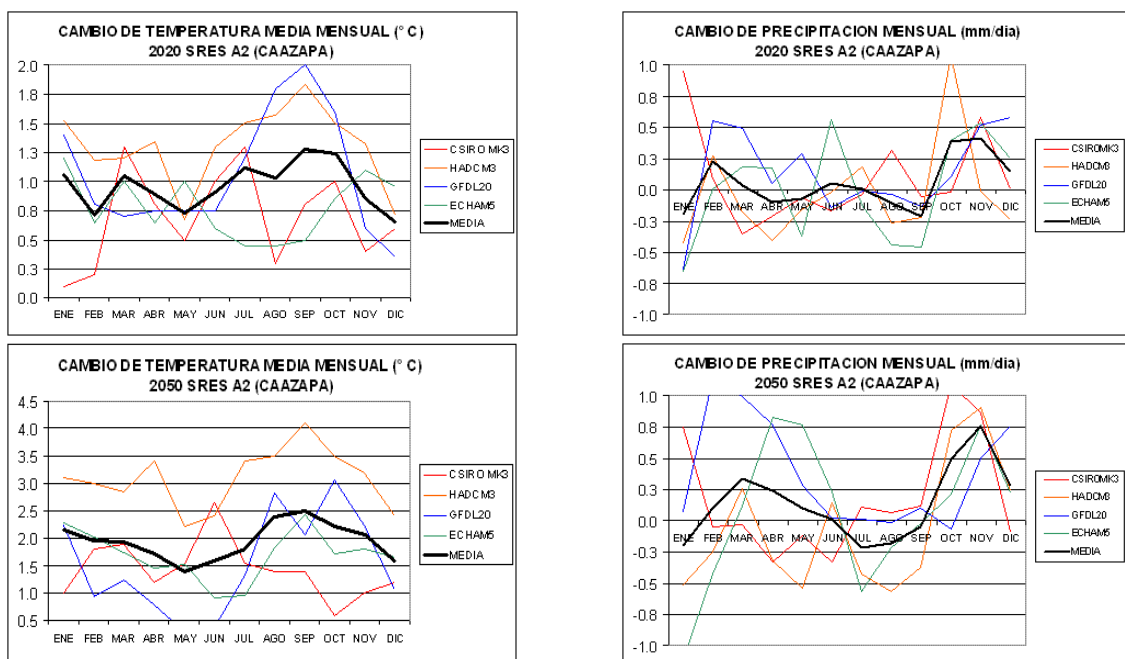


Figura A.2 Escenarios mensuales de cambio de temperatura y precipitación para Caazapa (en color negro la media del conjunto).

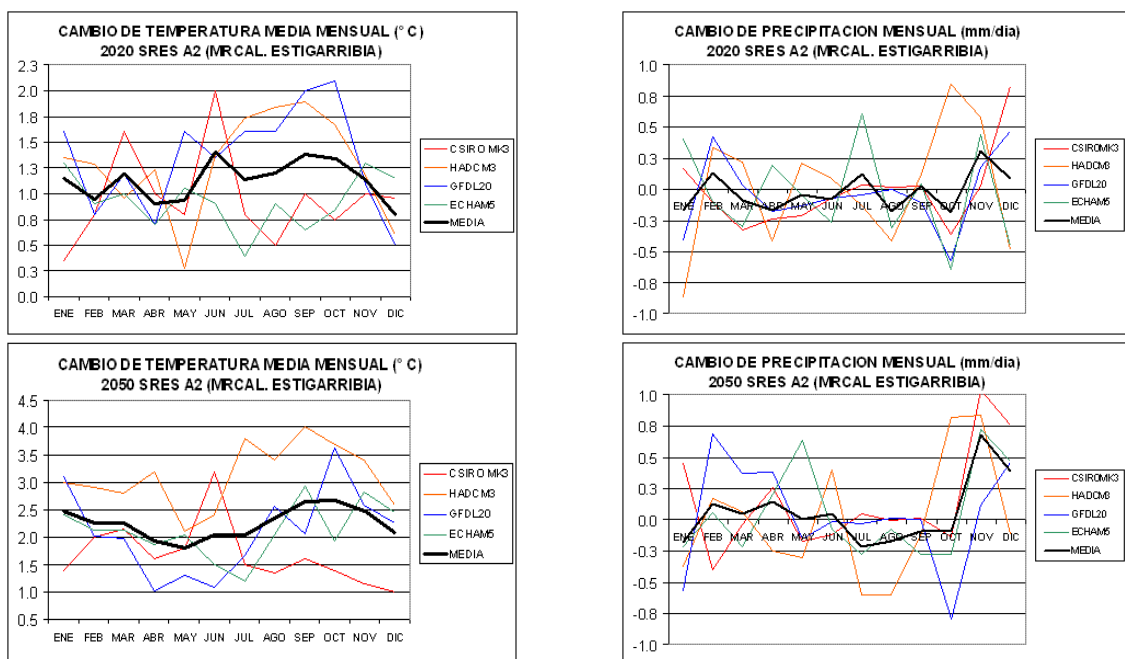


Figura A.3 Escenarios mensuales de cambio de temperatura y precipitación para Mariscal Estigarribia (en color negro la media del conjunto).

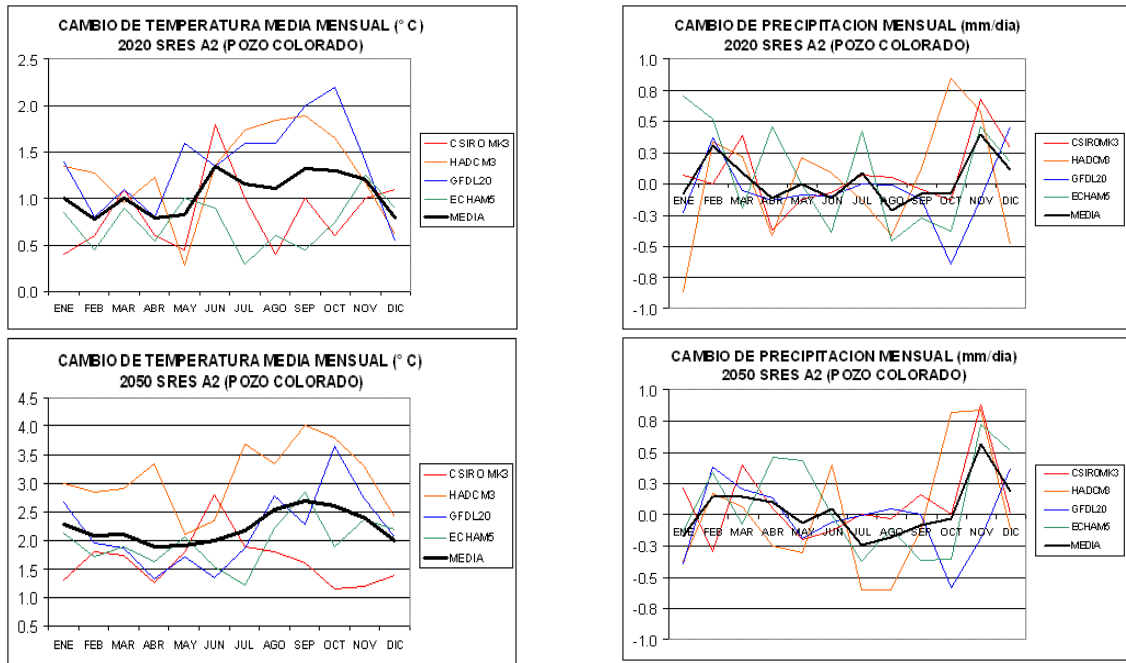


Figura A.4 Escenarios mensuales de cambio de temperatura y precipitación para Pozo Colorado (en color negro la media del conjunto).

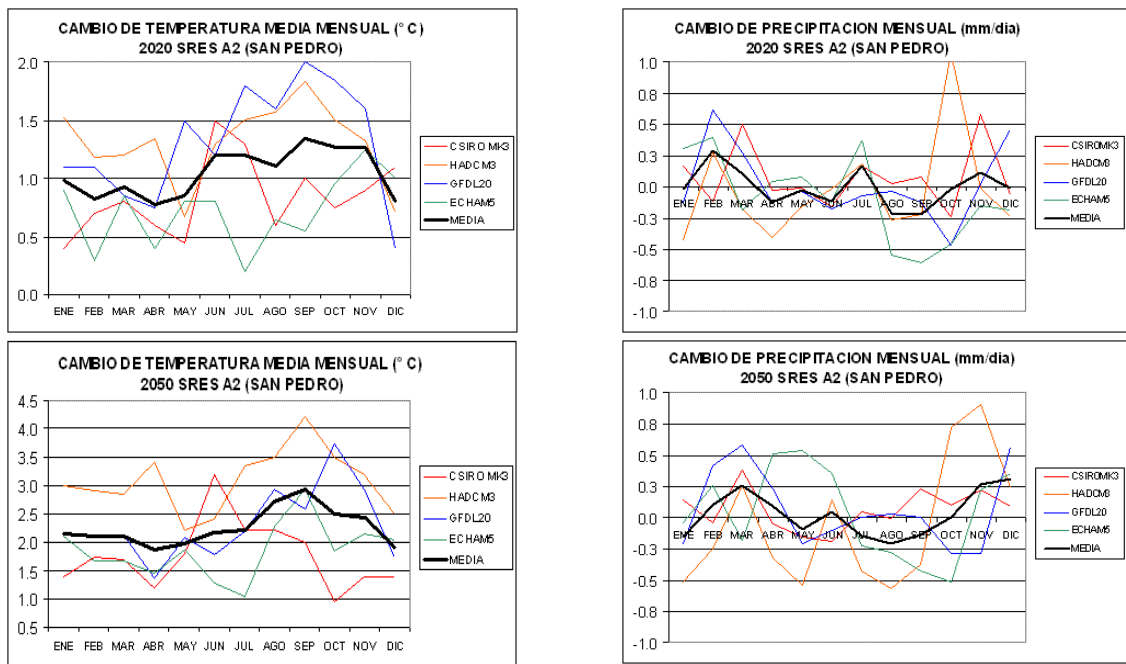


Figura A.5 Escenarios mensuales de cambio de temperatura y precipitación para San Pedro (en color negro la media del conjunto).