

Escenarios de Cambio Climático en Venezuela para el siglo XXI

Chicten Rodríguez y Ángela Escorche

Resumen

En la actualidad, los elementos que conforman el clima se han visto alterados por una serie de factores, principalmente antrópicos, que han afectado el normal comportamiento de los mismos en el planeta tierra.

El presente artículo expone una descripción y análisis sobre los posibles escenarios climáticos generados en Venezuela para el siglo XXI, para ello se utilizó MAGICC-SCENGEN, modelo climático de gran utilidad para las evaluaciones de cambios climáticos generados principalmente por la emisión de gases de efecto invernadero.

Los resultados obtenidos para la generación de escenarios climáticos se basaron en la aplicación del modelo japonés MRI_96. Los escenarios que se utilizaron en este proyecto son los denominados escenarios extremos, es decir, escenarios A1FI-MI, A2-MES, B1-MES y B2-MES.

A partir de los datos obtenidos por el programa se realizó, para Venezuela, un cálculo entre los datos reales del periodo 2000-2005 y los datos estimados tanto de precipitación como de temperatura para este mismo periodo de tiempo. Tomando en cuenta el cálculo entre datos reales y estimados, se procedió a la obtención del error cuadrático medio para 16 estaciones meteorológicas en Venezuela. La región occidental quien presentó los mayores errores de estimación y la zona costera los menores niveles de error.

Por otra parte, se realizaron proyecciones de temperatura y precipitación para Venezuela con datos corregidos a partir de los valores estimados para los años 2030, 2070 y 2100 observándose un considerable aumento de la misma para estos casos.

Finalmente se hace un breve resumen acerca de las emisiones de gases de efecto invernadero en Latinoamérica.

Palabras Clave: Cambios climáticos, gases de efecto invernadero, MAGICC-SCENGEN, escenarios, modelo de circulación general.

Introducción

En los últimos años, temas como el calentamiento global, efecto invernadero y cambios climáticos han generado gran cantidad de inquietudes e intereses en la población científica y, en general, a nivel mundial. Acontecimientos tales como precipitaciones extremas, inundaciones, sequías, aumento de las temperaturas, pérdida de biodiversidad, aumento en el nivel medio del mar y deshielo de los polos son algunas de las consecuencias que ha traído consigo los cambios climáticos en el planeta y que han generado gran interés en la humanidad por conseguir una respuesta del cómo, cuándo y por qué se producen estos cambios.

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático durante la Convención Marco para las Naciones Unidas para el Cambio Climático en el año 2000 se define este cambio como la variación global del clima en el planeta Tierra, la cual se atribuye directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera global y que se adiciona a la variabilidad climática natural sobre periodos comparables de tiempo.

A partir de diversas investigaciones se ha encontrado que los cambios suelen producirse a distintas escalas de tiempo y parámetros climáticos, tales como temperatura, precipitación, humedad, entre otros. Estos cambios se generan de manera natural, aunque en las últimas décadas, los mismos han sido alterados de manera relevante, a causa de actividades antropogénicas tales como el uso de

combustibles fósiles y cambios en el patrón de uso de la tierra, las cuales han traído consecuencias negativas para la población mundial desde todo punto de vista, fundamentalmente de tipo socio-económico y ambiental.

Actualmente se conoce, gracias a la investigación y análisis de científicos en la materia a nivel mundial, que el clima de nuestro planeta se verá afectado significativamente durante el transcurso del presente siglo, debido a la concentración en la atmósfera de gases generadores del denominado efecto invernadero. Esto ha traído como consecuencia la alteración de los parámetros de precipitación y temperatura en el planeta, así como también cambios en los ecosistemas a escala global.

En la actualidad existe una gran interrogante referida al cambio climático global y como los ecosistemas responderían al mismo, lo cual podría traducirse en desequilibrios económicos y ambientales tales como disminución en la producción de rubros agrícolas, reducción de la diversidad biológica en algunas zonas ecológicas frágiles tales como los manglares y las selvas tropicales, avance de plagas y enfermedades portadas por vectores hacia zonas donde antes no existían, menor probabilidad de predicción climática en general y complicaciones subsecuentes en la planificación de las actividades agrícolas, entre otras.

El objetivo fundamental del presente trabajo es evaluar diferentes escenarios de cambios climáticos en Venezuela para los próximos 100 años, a través de la aplicación del modelo climático MAGICC-SCENGEN.

Procedimientos metodológicos

En principio se realizó una revisión bibliográfica donde se obtuvo información relevante acerca de los cambios climáticos que se vienen generando en nuestro planeta y en Venezuela. Además de ello se elaboró una base de datos de temperatura y precipitación para así lograr comparar y calcular las incertidumbres entre los datos reales y los estimados, obtenidos a partir del programa MAGICC-SCENGEN. Además de ello, se puso en marcha el programa MAGICC-SCENGEN así como la representación geográfica de los errores y proyecciones resultantes.

Modelo seleccionado

Modelo MRI_96, modelo creado por el Instituto de Investigaciones Meteorológicas del Japón y que es utilizado en otros países para observar o diagnosticar el comportamiento de la atmósfera. Este modelo se caracteriza por contar con cuatro componentes: Atmósfera, Océano, Hielo marino y Tierra-Láminas de hielo. Para la selección del modelo, que mas se aproxima a la realidad climática Venezolana, pusimos en marcha otros 15 modelos de circulación general para que fuesen comparados y así poder observar cual de ellos se asemejaba más a la realidad climática Venezolana. Modelos japoneses, ingleses, canadienses, australianos y norteamericanos fueron comparados entre si para el diagnostico final. Los modelos comparados fueron los siguientes: BMRC98, CCC199, CCSR96, CERF98, CSI296, CSM_98, ECH395, ECH498, GFDL90, GISS95, HAD295, HAD300, IAP_97, LMD_98, MRI_96, PCM_00, WM_95.

Luego de realizada la comparación de modelos se selecciono el modelo MRI_96.

Escenarios

En este trabajo se establecieron los errores de estimación tanto de temperatura como de precipitación obtenidos a partir de los resultados corregidos de los cuatro escenarios climáticos utilizados (Ver tabla 1)

Por otra parte se obtuvieron datos estimados por el modelo para los años 2030, 2070 y 2100 tanto de temperatura como de precipitación en Venezuela.

Finalmente con los resultados de temperatura y precipitación para los años anteriormente señalados, se elaboraron gráficos en coordenadas cartesianas que sirvieron de apoyo para la descripción del comportamiento y tendencia futura a nivel mensual y anual de la temperatura y precipitación en el territorio nacional, así como también su representación espacial a través de mapas temáticos.

Tabla 1. Características de los Escenarios Climáticos Utilizados

Escenario	Descripción
A1	Rápido crecimiento económico; la población alcanza un máximo en la mitad del siglo; existe una convergencia social, cultural y económica entre regiones; dominan los mecanismos de mercado Subdivisiones: A1FI – dependencia de combustibles fósiles; A1T no dependencia de combustibles fósiles; A1B – un balance entre diferentes fuentes de combustible
A2	Auto-dependencia; preservación de las identidades locales; incremento continuo de la población; crecimiento económico a escalas regionales
B1	Tecnologías limpias y eficientes; reducción en el uso de materiales; soluciones globales para la sustentabilidad económica, social y medioambiental; mejora en la igualdad; la población alcanza un máximo en la mitad del siglo
B2	Soluciones locales a la sustentabilidad; incremento continuo de la población a una escala menor que para el A2; cambios tecnológicos menos rápidos que en B1 y A1

Evaluación a tiempo real de temperatura y precipitación

Para la evaluación a tiempo real de los resultados se procedió a elaborar dos tablas de resultados (Una por cada parámetro) en donde se podrán apreciar los errores cuadráticos medios arrojados por el programa, calculados por medio de la fórmula propuesta por Wilmont de la raíz del cuadrado medio del error, así como también la representación espacial de las mismas para observar su comportamiento a nivel nacional.

Por otra parte tomando en consideración que las diferencias en el error cuadrático medio de cada uno de los escenarios climáticos de precipitación son poco significativas, se procedió a la elaboración de un solo mapa de errores de precipitación. Caso contrario en los errores de temperatura los cuales poseen valores similares en los escenarios A2-MES, B1-MES y B2-MES, y valores discordantes con los del escenario A1FI-MI.

Observándose esta situación procedimos a la elaboración de dos mapas de temperatura, el primero con los valores (MSE) del escenario A1FI-MI y el segundo con los valores promedio de los

escenarios A2-MES, B1-MES y B2-MES el cual denominamos mapa AB por la unificación de estas dos familias de escenarios.

Resultados obtenidos

Los distintos Escenarios Climáticos generados para Venezuela, se basan fundamentalmente en Escenarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero (EEGEI) para simular el comportamiento de la temperatura y precipitaciones futuras, que son modificadas por los cambios en el Sistema Climático inducidos por el calentamiento. Para ello se usaron Modelos Acoplados de Circulación General Atmósfera–Océano corridos para diferentes EEGEI. Para establecer el MCG MRI_96 como el mas apropiado, se realizo una comparación entre cada uno de los MCG existentes en MAGICC-SCENGEN 4.1, la comparación se baso en datos climáticos, de precipitación y temperatura, estimados por cada uno de ellos, para Venezuela desde el año 2000 hasta el 2005, con datos reales registrados para este mismo periodo de tiempo.

Se evaluaron diferentes escenarios de cambios climáticos en Venezuela para el presente siglo a partir del modelo MAGICC-SCENGEN, en donde, además, se establecieron los errores de estimación tanto de temperatura como de precipitación obtenidos a partir de los resultados corregidos de los cuatro escenarios climáticos utilizados; escenario A1FI-MI, A2-MES, B1-MES y B2-MES.

Evaluación a tiempo real de temperatura y precipitación

Para la evaluación a tiempo real de los resultados se procedió a elaborar dos tablas de resultados (Una por cada parámetro) en donde se podrán apreciar los errores cuadráticos medios arrojados por el programa, calculados por medio de la formula propuesta por Wilmont de la Raíz del Cuadrado Medio del Error, así como también la representación espacial de las mismas para observar su comportamiento a nivel nacional.

Por otra parte tomando en consideración que las diferencias en el error cuadrático medio de cada uno de los escenarios climáticos de precipitación son poco significativas, se procedió a la elaboración de un solo mapa de errores de precipitación. Caso contrario en los errores de temperatura los cuales poseen valores similares en los escenarios A2-MES, B1-MES y B2-MES, y valores discordantes con los del escenario A1FI-MI.

Observándose esta situación procedimos a la elaboración de dos mapas de temperatura, el primero con los valores (RMSE) del escenario A1FI-MI y el segundo con los valores promedio de los escenarios A2-MES, B1-MES y B2-MES el cual denominamos mapa AB por la unificación de estas dos familias de escenarios

A. Temperatura

Tabla 2. Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) de temperatura para los cuatro escenarios climáticos empleados para Venezuela

Estaciones	Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)			
	A1FI-MI	A2-MES	B1-MES	B2-MES
Coro	0,46	1,98	1,99	1,98
Maracaibo	0,50	1,56	1,57	1,56
Barquisimeto	1,44	2,28	2,28	2,28
Mene Grande	1,14	1,72	1,73	1,72
Mérida	8,15	6,64	6,63	6,64
San Antonio del Táchira	1,49	0,51	0,51	0,51
Maracay	0,53	1,36	1,35	1,36
Maiquetía	2,31	0,85	0,83	0,82
Barcelona	1,89	1,18	1,14	1,14
Maturín	1,36	0,60	0,57	0,57
Ciudad Bolívar	2,48	1,54	1,50	1,50
Guiria	0,19	0,48	0,48	0,48
San Fernando de Apure	0,31	2,25	2,27	2,26
Puerto Ayacucho	0,84	2,29	2,30	2,30
Tumeremo	0,39	1,94	1,95	1,95
Santa Elena de Uairén	2,33	3,94	3,95	3,94

En la tabla 2 podemos observar que los escenarios A1FI-MI y AB (A2-MES, B1-MES y B2-MES) coinciden en que su máximo error se localiza en la región occidental del país, caso contrario a las zonas costeras donde la capacidad de pronóstico es elevada. En este sentido el escenario A1FI-MI señala a las estaciones Maracaibo, Coro, Maracay, Mene Grande, Guiria, Barquisimeto, Maturín, Tumeremo, Guiria y San Fernando de Apure como las que presentan la mayor capacidad de estimación para este escenario, con un rango comprendido entre 0 y 1,5 de error (Fig.1).

Por otra parte el escenario AB señala a las estaciones San Antonio, Maracay, Maiquetía, Barcelona, Maturín y Guiria como las que exhiben la mayor capacidad de estimación para este escenario, con un rango comprendido entre 0 y 1,5 de error (Fig.2).

Error Cuadratico Medio (RMSE) Escenario A1FI-MI Temperatura.

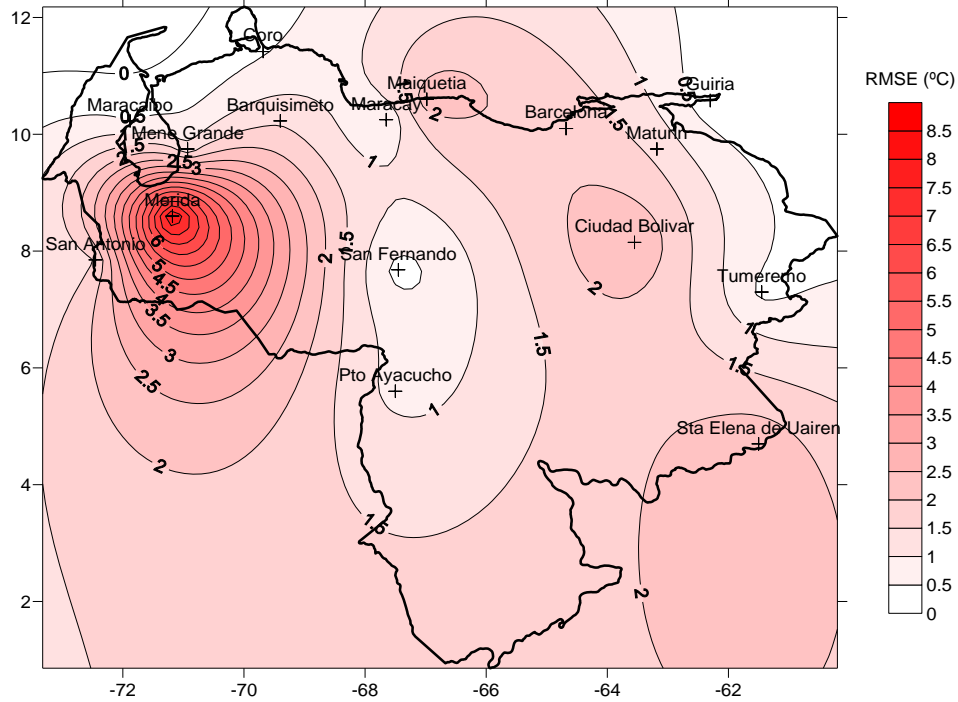


Figura 1. Raíz del Error cuadrático medio de temperatura para Venezuela (Escenario A1FI-MI)

Error cuadratico medio (RMSE) AB Temperatura.

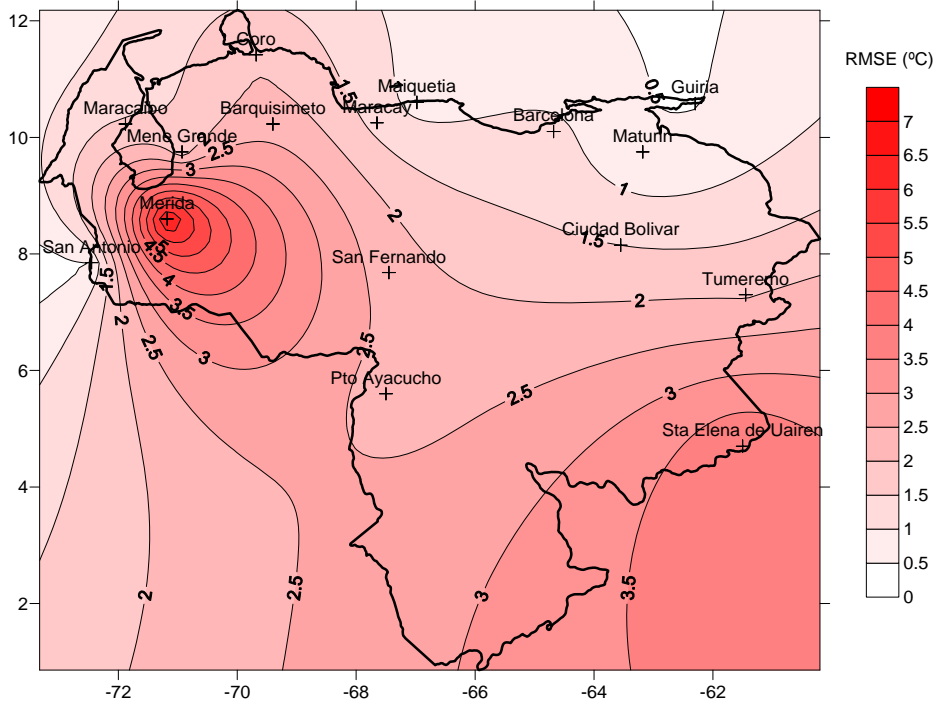


Figura 2. Raíz del Error cuadrático medio de temperatura para Venezuela (Escenario AB).

B. Precipitación

Tabla 3. Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) de precipitación para los cuatro escenarios climáticos empleados para Venezuela.

Estaciones	Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)			
	A1FI-MI	A2-MES	B1-MES	B2-MES
Coro	56,37	55,83	56,10	55,93
Maracaibo	42,24	41,75	42,29	41,84
Barquisimeto	35,67	35,48	35,87	35,56
Mene Grande	49,26	49,67	49,52	49,59
Mérida	88,09	88,49	88,37	88,42
San Antonio del Táchira	41,52	41,39	41,75	41,45
Maracay	25,64	25,47	25,03	25,46
Maiquetía	53,34	52,75	53,57	52,92
Barcelona	37,60	37,13	38,46	37,28
Maturín	36,73	37,28	38,55	37,31
Ciudad Bolívar	24,26	24,21	25,25	24,29
Guiria	30,57	28,65	31,23	30,45
San Fernando de Apure	61,30	61,26	61,18	61,31
Puerto Ayacucho	75,47	75,81	75,44	75,67
Tumeremo	77,14	76,32	76,78	76,56
Santa Elena de Uairén	56,99	56,96	57,46	56,75

En la tabla 3 se observa como el error cuadrático medio de precipitación señala a las estaciones Barquisimeto, Maracay, Barcelona, Maturín, Ciudad Bolívar y Guiria como las que presentan la mayor capacidad de estimación en los cuatro escenarios empleados con un rango comprendido entre 0 y 40 mm de error.

Por otra parte las estaciones Mérida, Puerto Ayacucho y Tumeremo son las que presentan los mayores errores en cuanto a datos de precipitación, con un rango superior a los 70mm (Fig.3).

Error Cuadrático Medio Precipitación.

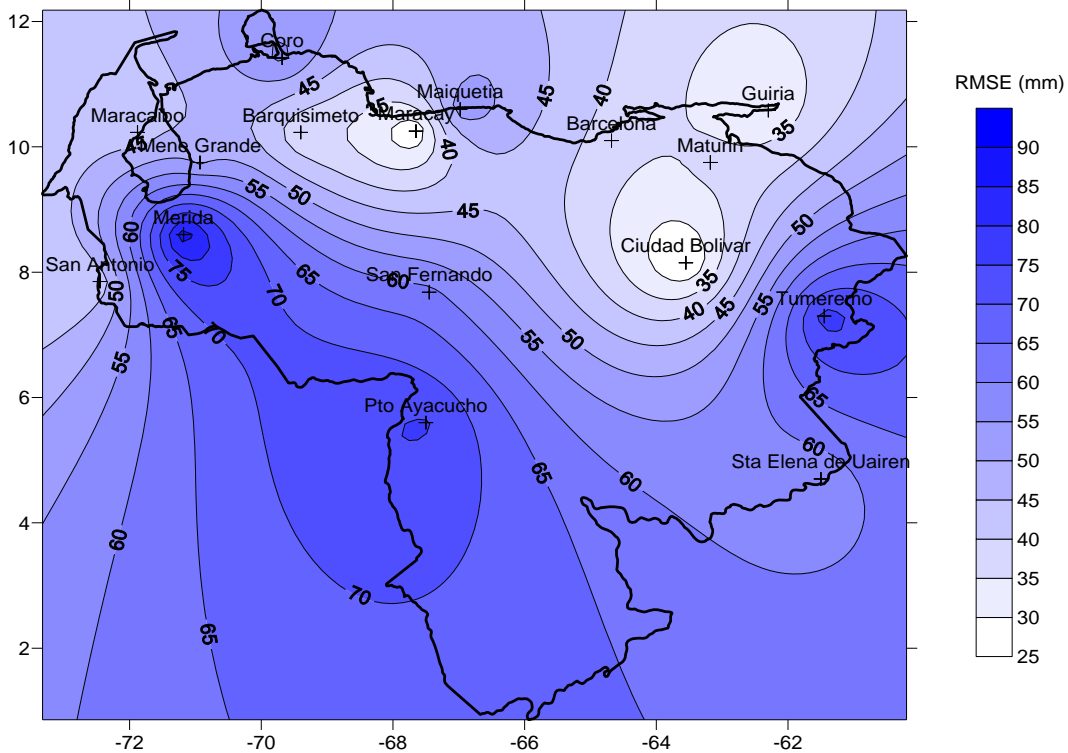


Figura 3. Raíz del Error cuadrático medio de precipitación para Venezuela.

Proyecciones de Temperatura

Los mapas temáticos, fueron realizados a partir de los datos de temperatura a nivel mensual por estación para cada escenario (A1FI-MI, B2-MES, A2-MES, B1-MES), tomándose en cuenta las estimaciones de temperatura de cada escenario para los años 2030-2070-2100 generados por MAGICCC-SCENGEN. Además de ello se tomó en cuenta el promedio de temperatura registrado entre los años 1961 y 1990 que comprende un periodo de treinta años; el cual recomienda usar la Organización Meteorológica Mundial como referencia.

Escenario A1FI-MI.

El escenario A1FI-MI presenta para el año 2030 aumentos y disminuciones en las temperaturas, con respecto al periodo 1961-1990, en todas las estaciones meteorológicas estudiadas. Las estaciones Coro, Mérida y Puerto Ayacucho son las que presentan aumento de las mismas, mientras que las estaciones Guiria, Maracay y Santa Elena de Uairén son las que presentan disminución.

Por otra parte, para el año 2070 el comportamiento de las temperaturas en cada una de las estaciones es totalmente distinto a las del año anteriormente señalado. Para el año 2070 se espera que las temperaturas aumenten en todas las estaciones meteorológicas presentándose los mayores aumentos en las estaciones Maracay y Santa Elena de Uairén.

Finalmente, para el año 2100 se mantiene la tendencia de los aumentos de temperatura en cada una de las estaciones meteorológicas, con la excepción de la estación Puerto Ayacucho, la cual presenta una leve disminución de la misma en aproximadamente 0,6°C con respecto al periodo 1961-1990. (Ver Fig. 4)

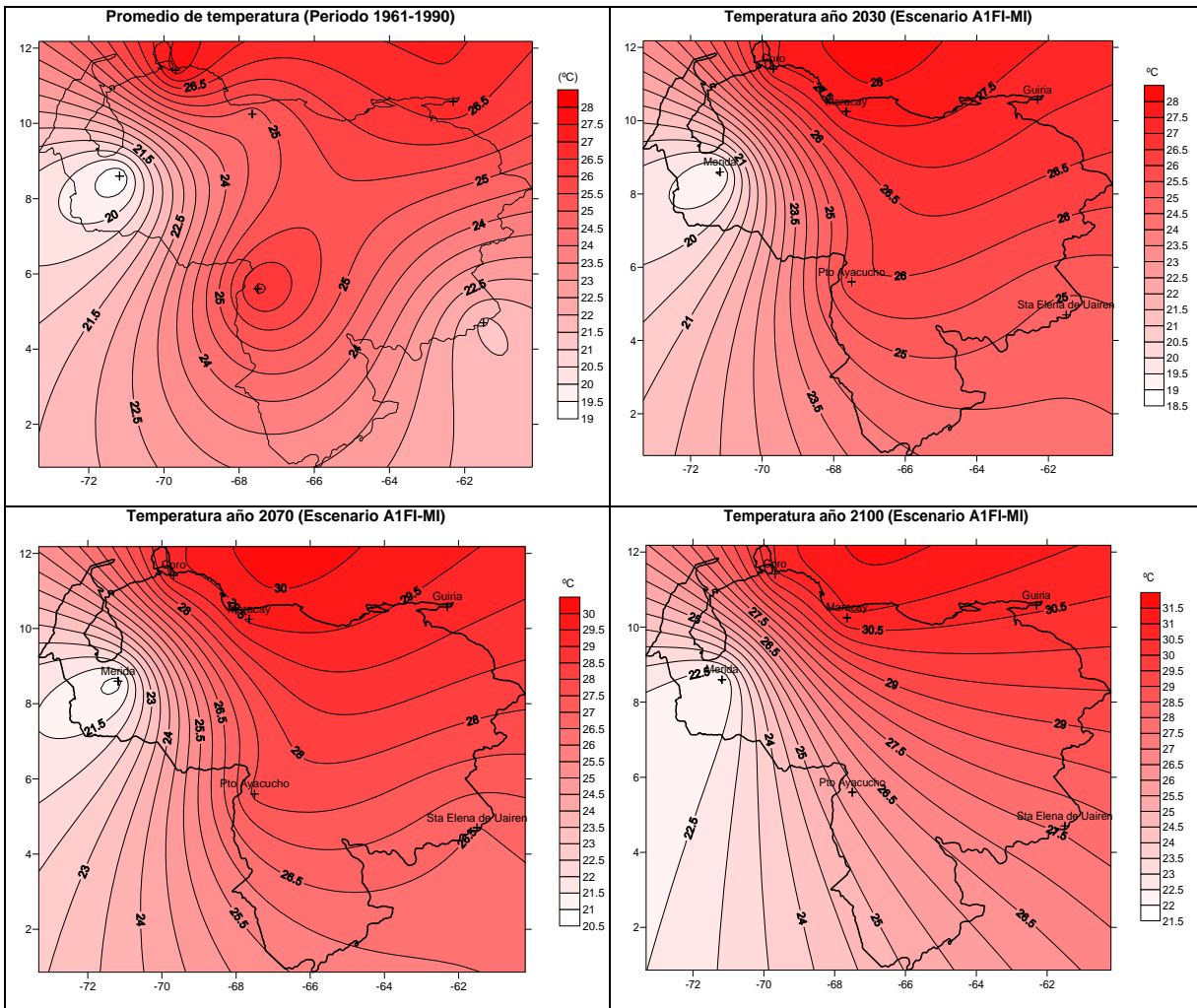


Figura 4. Representación espacial de las proyecciones de temperatura media anual para Venezuela según el escenario A1FI-MI.

Escenario A2-MES.

El escenario A2-MES presenta para los años 2030, 2070 y 2100 aumentos significativos de temperatura, con respecto al periodo 1961-1990, en todas las estaciones meteorológicas estudiadas. Este escenario señala que en cada una de las estaciones estudiadas las temperaturas aumentarán de manera relevante en todos los años especialmente en el 2100, donde se esperan aumentos de hasta 4°C. (Ver Fig. 5)

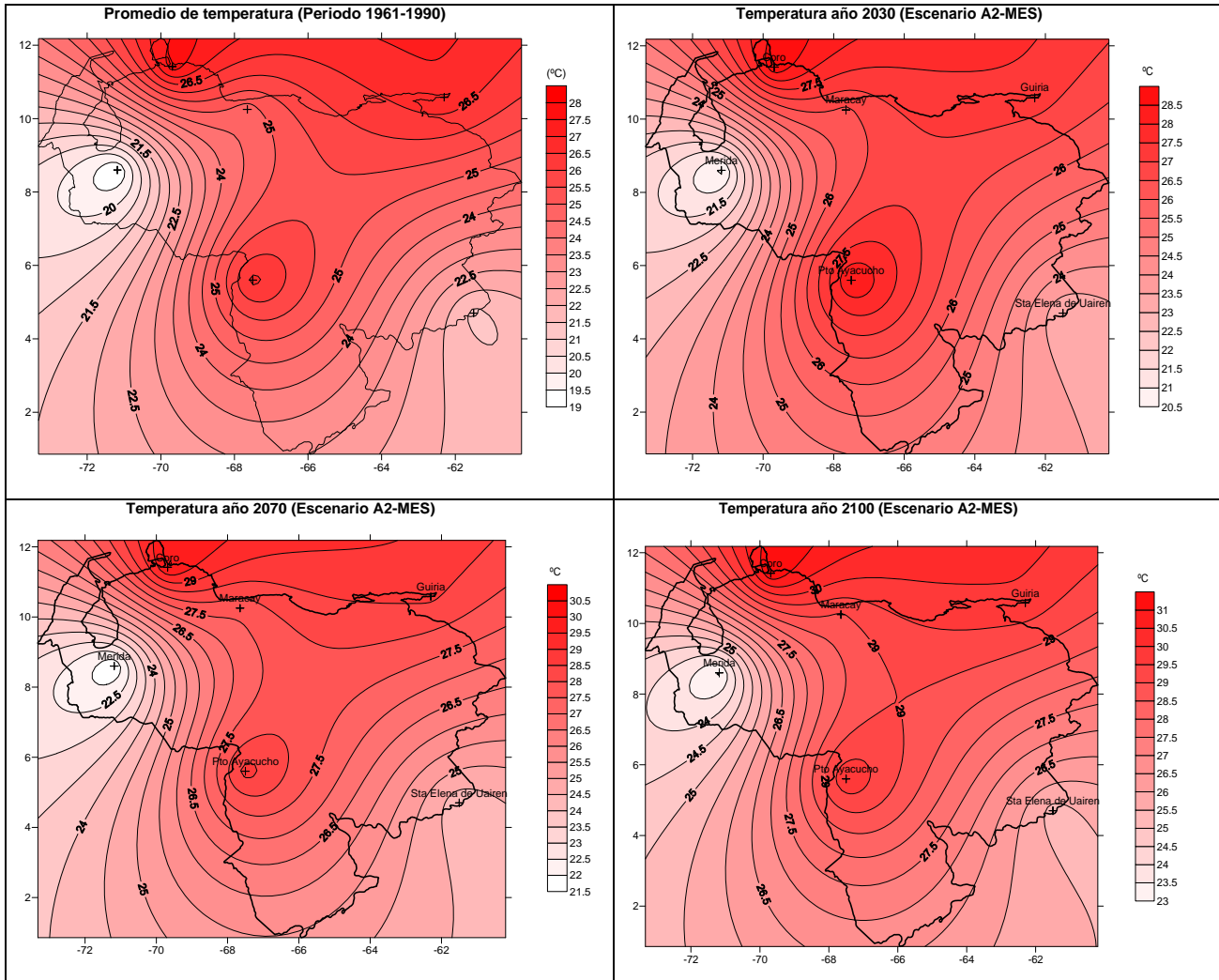


Figura 5. Representación espacial de las proyecciones de temperatura media anual para Venezuela según el escenario A2-MES.

Escenario B2-MES

De manera general el escenario B2-MES presenta con respecto al periodo 1961-1990, aumentos de temperatura para todos los años estudiados, siendo el año 2100 el que presenta los aumentos mas elevados de la misma en cada una de las estaciones.

Aunque este escenario presenta aumentos constantes de temperatura, se espera que el mismo presente las segundas temperaturas mas bajas del país con respecto a los otros tres escenarios estudiados. (Ver Fig. 6)

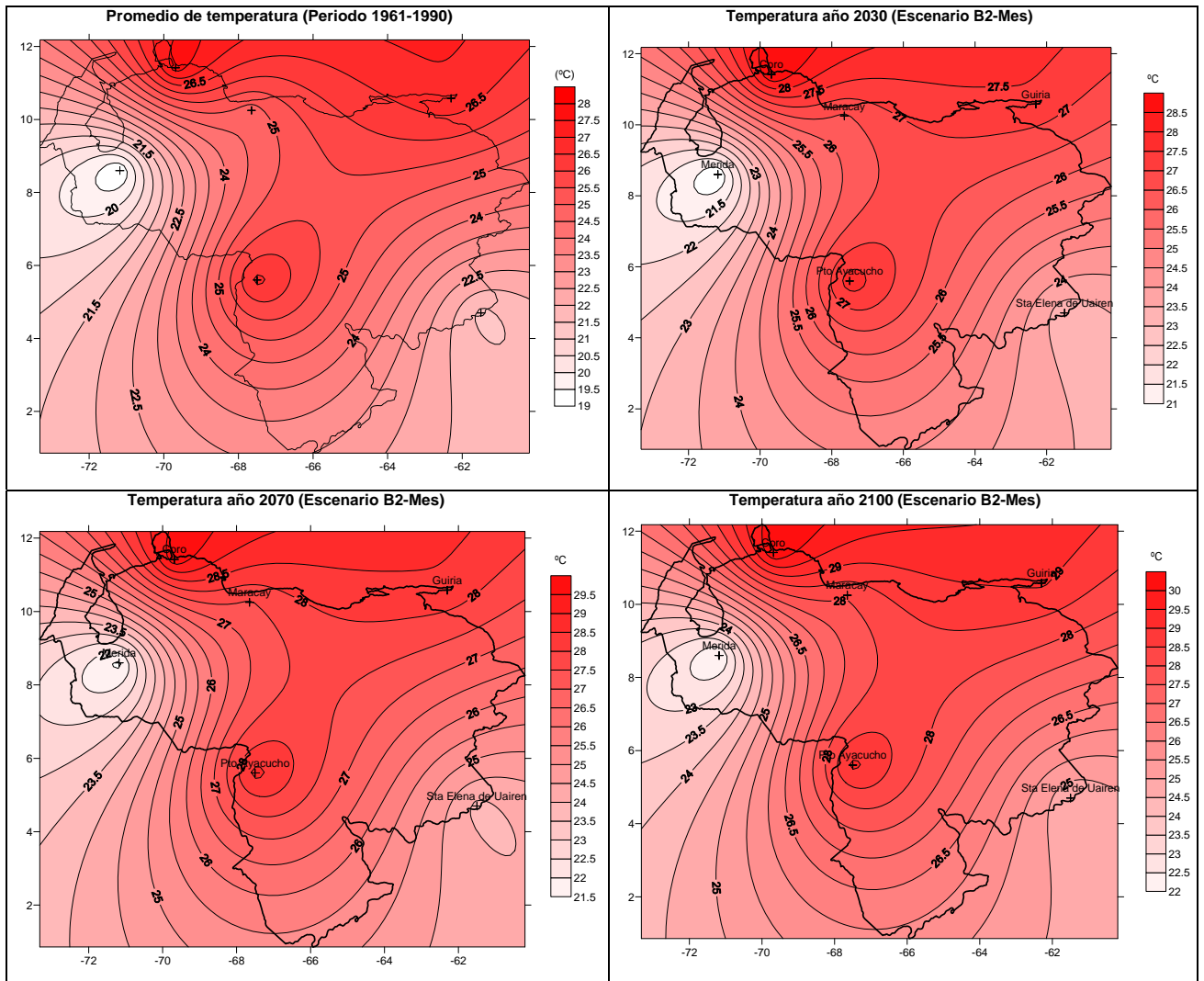


Figura 6. Representación espacial de las proyecciones de temperatura media anual para Venezuela según el escenario B2-MES.

Escenario B1-MES.

El escenario B1-MES presenta características de temperatura muy similares a las exhibidas por los dos escenarios anteriormente estudiados; es decir, aumentos de temperatura para todos los años estudiados con respecto al periodo 1961-1990.

Aunque este escenario refleja ese comportamiento en las temperaturas, se espera que el mismo presente las temperaturas mas bajas del país con respecto a los otros tres escenarios estudiados. (Ver Fig. 7)

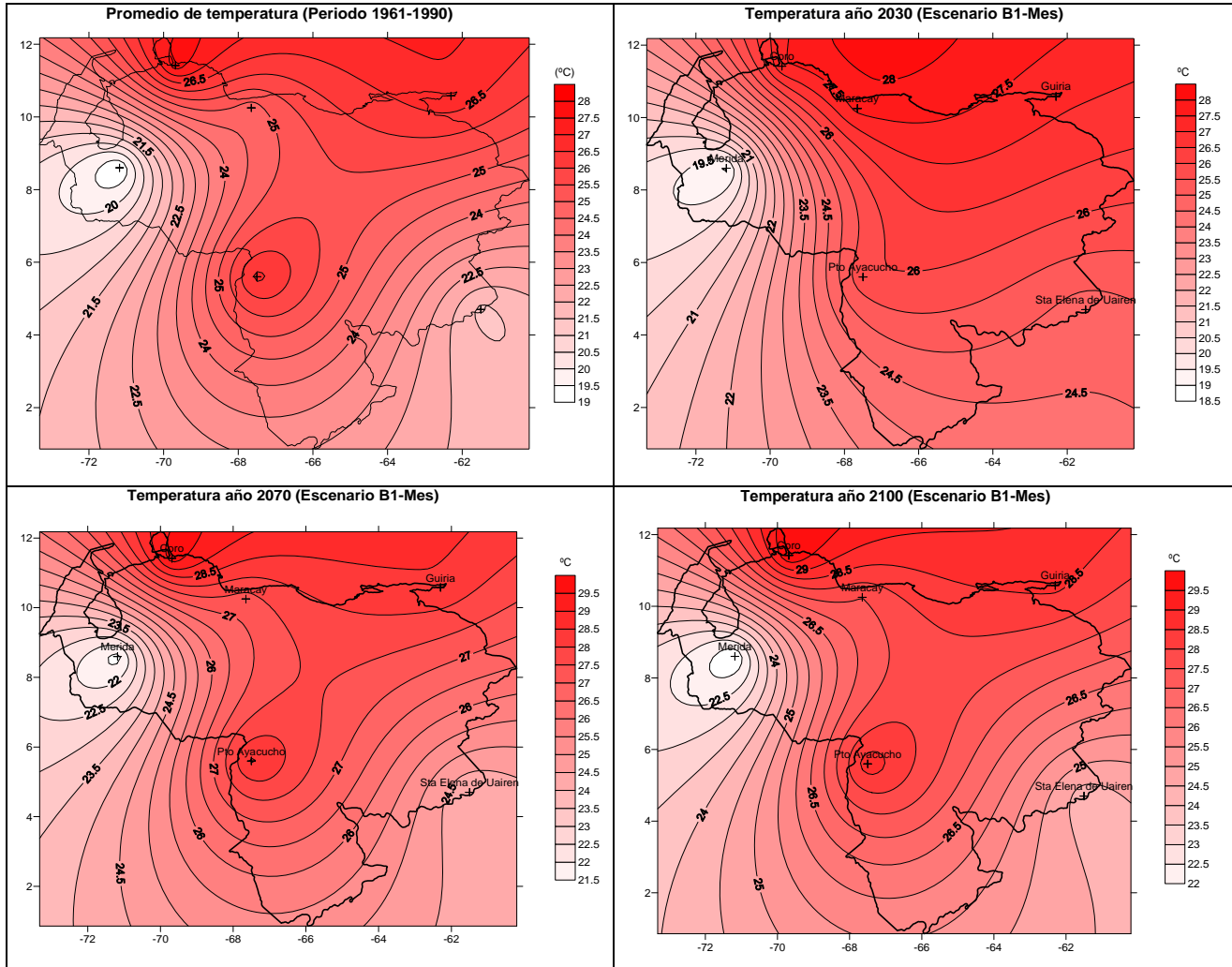


Figura 7. Representación espacial de las proyecciones de temperatura media anual para Venezuela según el escenario B1-MES.

Proyecciones de Precipitación

Los mapas temáticos de precipitación, fueron realizados a partir de los datos de precipitación a nivel mensual por estación para cada escenario (A1FI-MI, B2-MES, A2-MES, B1-MES), tomándose en cuenta las estimaciones de precipitación de cada escenario para los años 2030-2070-2100 generados por MAGICCC-SCENGEN. Además de ello se tomó en cuenta el promedio de precipitación registrado entre los años 1961 y 1990 que comprende un periodo de treinta años; el cual recomienda usar la Organización Meteorológica Mundial como referencia.

Escenario A1FI-MI

El escenario A1FI-MI presenta para el año 2030 aumentos significativos de precipitación, con respecto al periodo 1961-1990, en casi todas las estaciones meteorológicas estudiadas. Las estaciones Coro, Mérida, Maracay y Santa Elena de Uairén son las que presentan aumento mientras que las estaciones Guiría y Puerto Ayacucho son las que presentan disminución.

Para los años 2070 y 2100 la tendencia es distinta y se esperan aumentos de las precipitaciones en todas las estaciones estudiadas. (Ver Fig. 8)

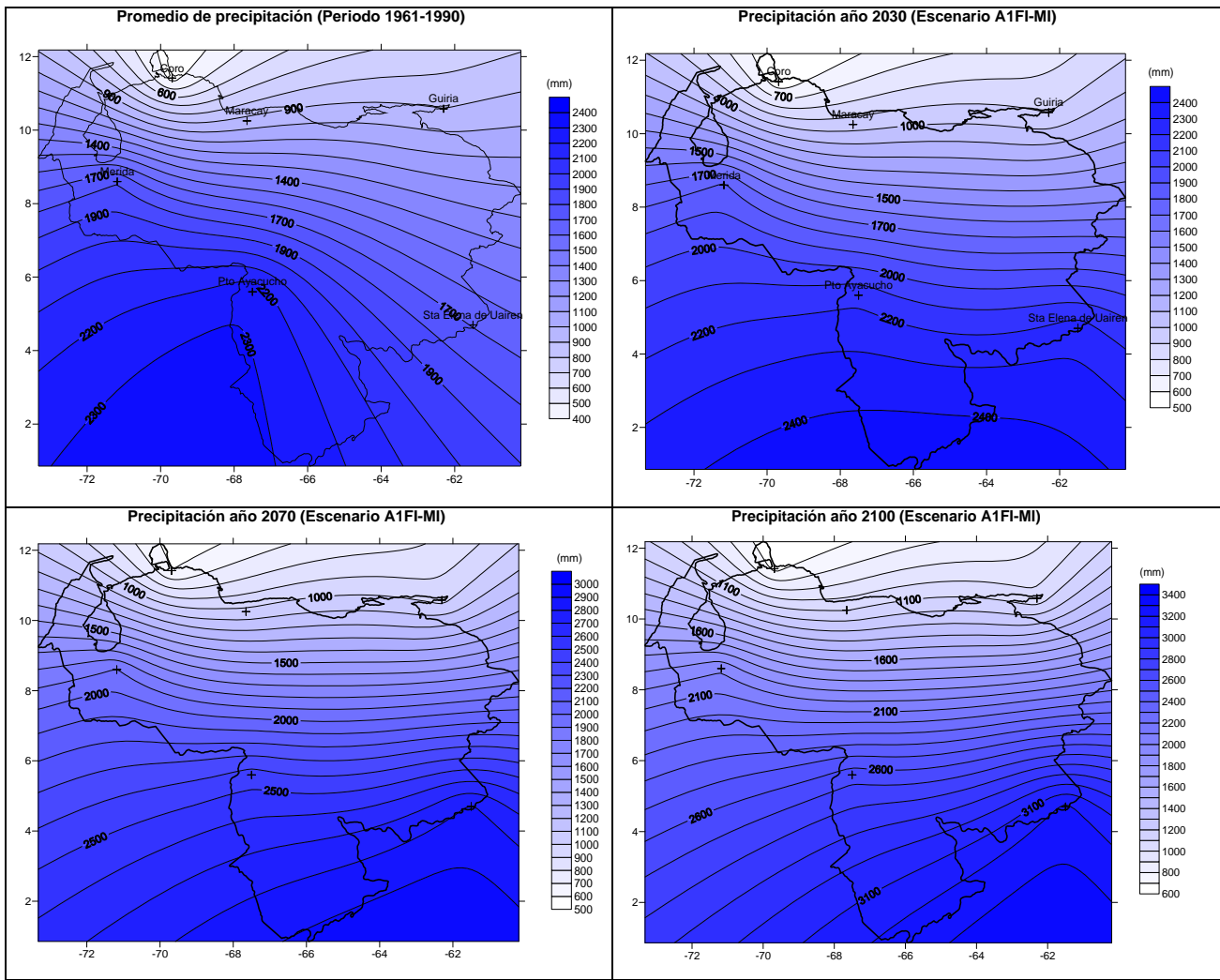


Figura 8. Representación espacial de las proyecciones de precipitación anual para Venezuela según el escenario A1FI-MI.

Escenario A2-MES

El escenario A2-MES presenta para el año 2030 al igual que el escenario A1FI-MI aumentos importantes de precipitación, con respecto al periodo 1961-1990, en casi todas las estaciones meteorológicas estudiadas. Las estaciones Coro, Mérida, Maracay y Santa Elena de Uairén siguen siendo las que presentan aumento, mientras que las estaciones Guiria y Puerto Ayacucho son las que presentan disminución en las precipitaciones.

De igual manera los años 2070 y 2100 presentan aumentos en las temperaturas en todas las estaciones estudiadas.

Vale destacar que aunque los resultados arrojados por ambos escenarios son similares entre sí, los valores generados en el escenario A2-MES son superiores a los del escenario A1FI-MI para los tres años estudiados. (Ver Fig. 9)

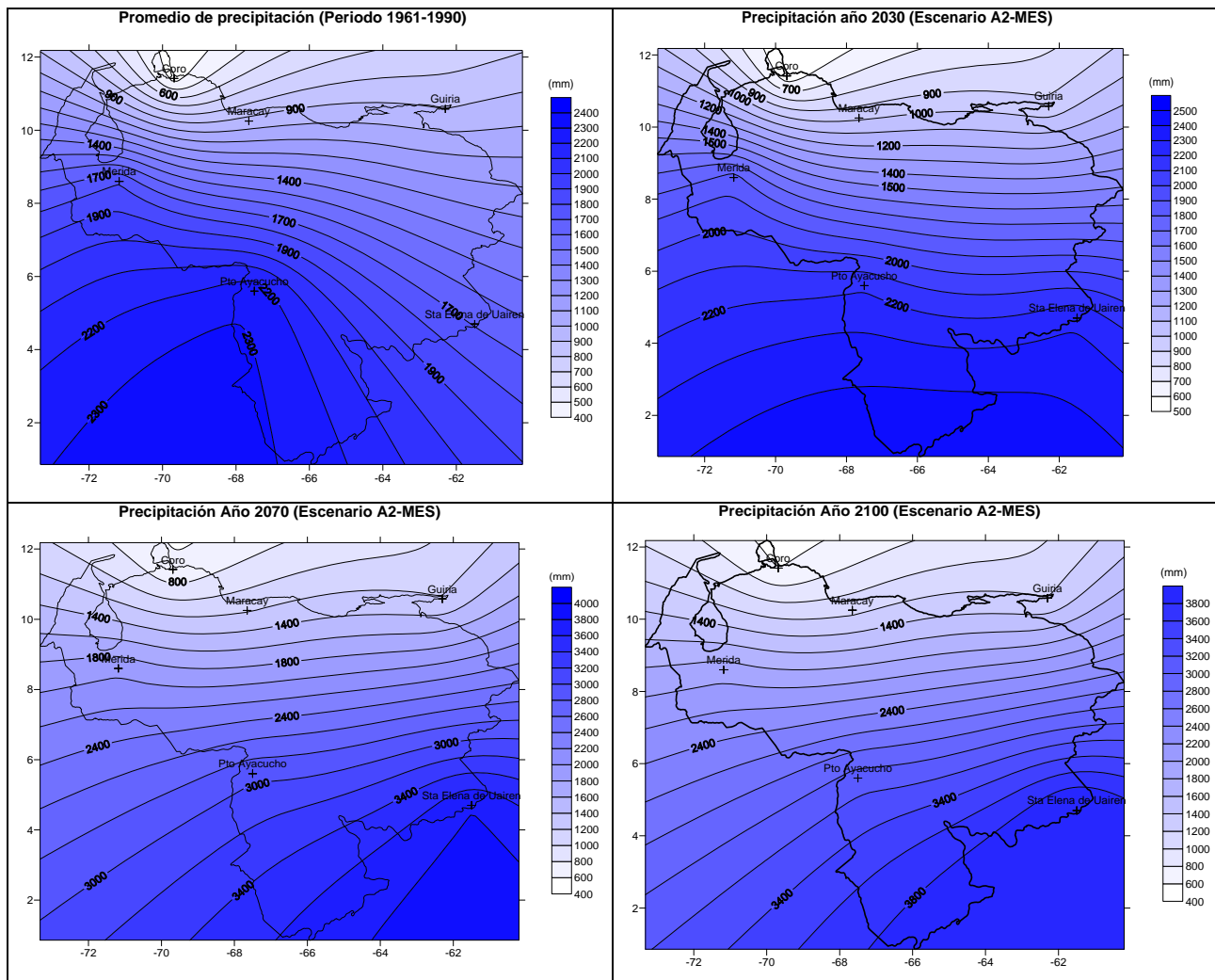


Figura 9. Representación espacial de las proyecciones de precipitación anual para Venezuela según el escenario A2-MES..

Escenario B2-MES

El escenario B2-MES presenta aumentos y disminuciones de las precipitaciones en distintas estaciones para los años 2030 y 2070, siendo el año 2100 el que presenta aumentos de las mismas para todas las estaciones con respecto al periodo 1961-1990.

Para el año 2030 se observa aumentos de las precipitaciones en las estaciones Coro, Maracay y Santa Elena de Uairén, mientras que en las estaciones Mérida, Puerto Ayacucho y Güiria se observan disminuciones.

Por su parte el año 2070 presenta una tendencia muy similar a la del año anteriormente señalado aunque esta vez la estación Mérida también presenta aumentos en las precipitaciones.

Finalmente, el año 2100 muestra aumento de las precipitaciones en todas las estaciones meteorológicas señaladas siendo Santa Elena de Uairén la que presenta los registros de precipitación mas elevados. (Ver Fig. 10)

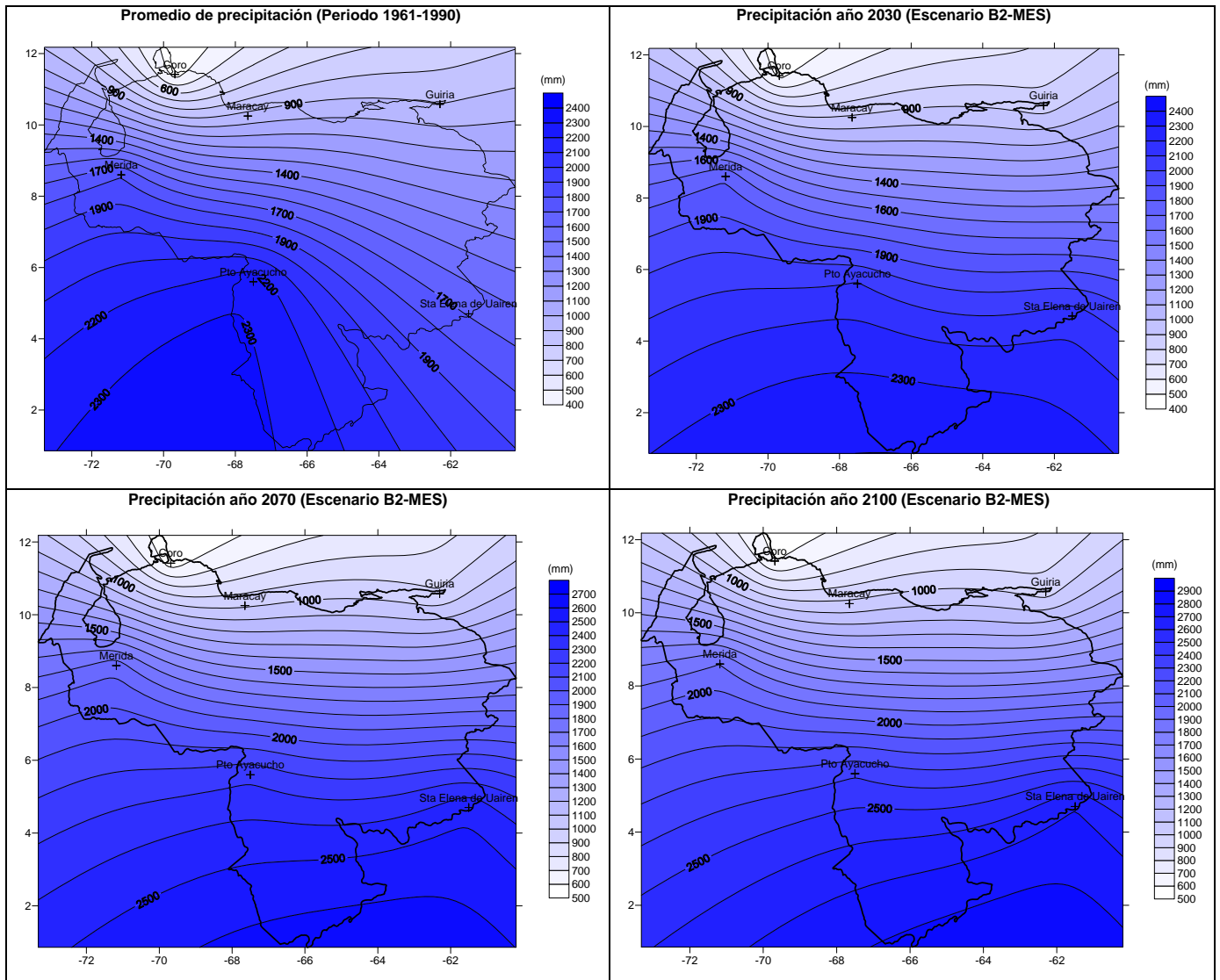


Figura 10. Representación espacial de las proyecciones de precipitación anual media para Venezuela según el escenario B2-MES.

ESCENARIO B1-MES

El escenario B1-MES presenta para los años 2030, 2070 y 2100 aumentos en la precipitación en cuatro de las seis estaciones estudiadas, específicamente, Coro, Mérida, Santa Elena de Uairén y Maracay, siendo solo las estaciones Güiria y Puerto Ayacucho las que presentan disminución de las mismas con respecto al periodo 1961-1990. (Ver Fig. 11)

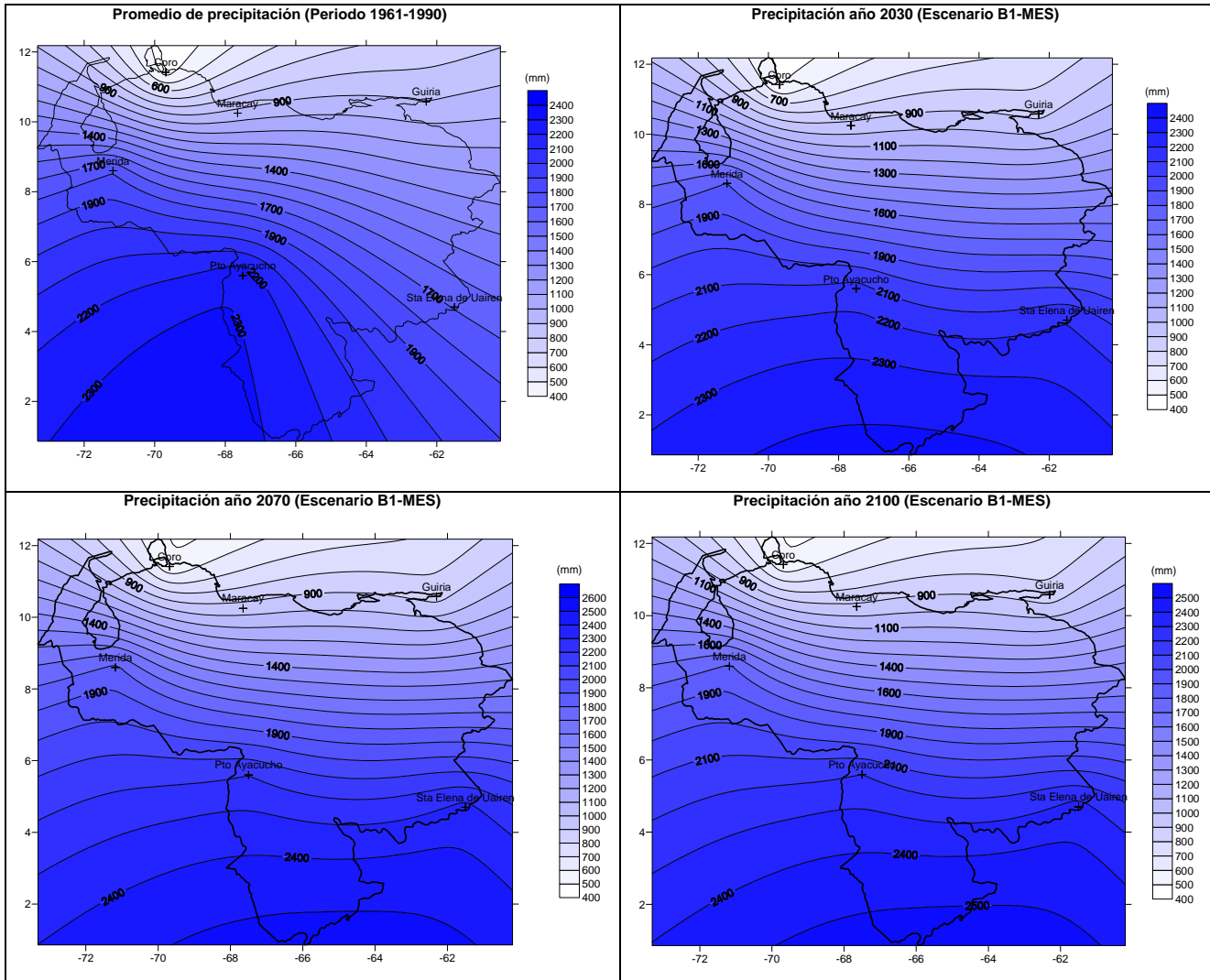


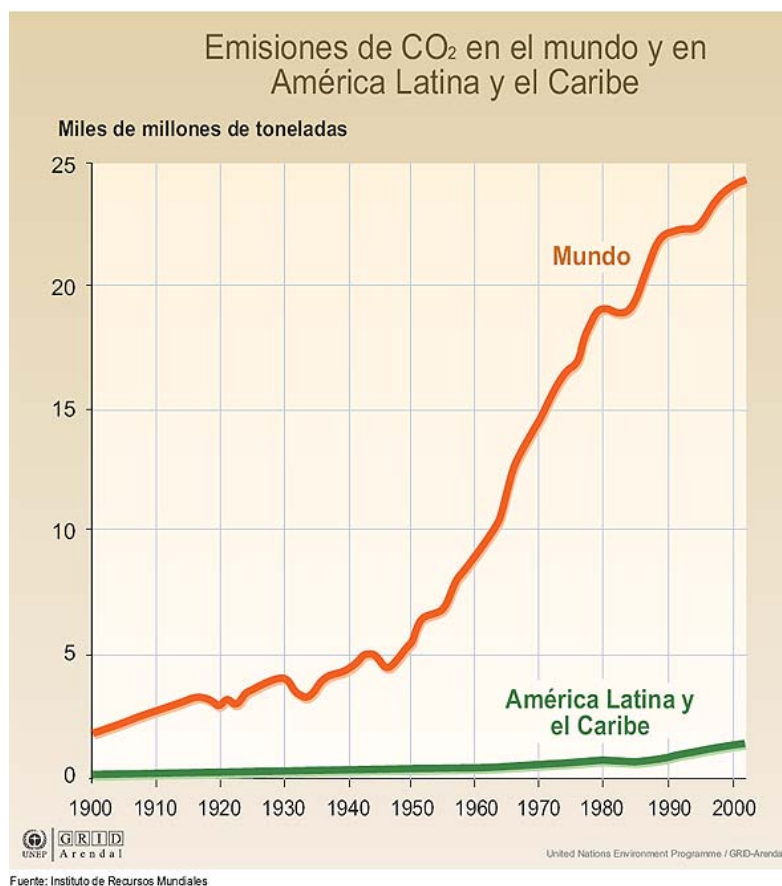
Figura 11. Representación espacial de las proyecciones de precipitación anual media para Venezuela según el escenario B1-MES.

Latinoamérica, Venezuela y el Cambio Climático

Luego de observar los posibles escenarios de Cambio Climático en Venezuela se presentaran brevemente las características más relevantes de las emisiones de gases de efecto invernadero en Venezuela y Latinoamérica. Aunque no presentan cifras tan alarmantes como los de países europeos, asiáticos y los Estados Unidos, los países latinoamericanos emiten una cantidad importante de gases generadores del denominado “Efecto Invernadero”. Los cambios de uso de la tierra, la deforestación y el uso de combustibles fósiles son las principales causas de las anomalías climáticas en la región.

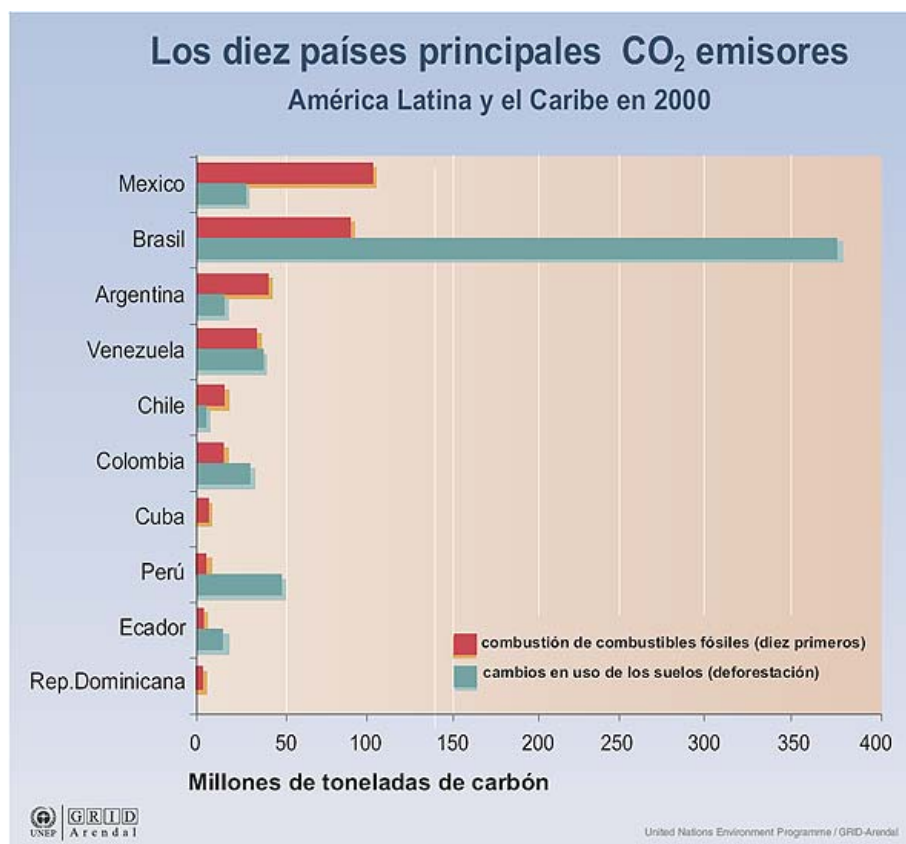
A continuación se presentaran 4 gráficos, aportados y generados por diferentes instituciones internacionales, en donde se señalan y caracterizan las emisiones de gases de efecto invernadero para cada país de Latinoamérica.

EMISIONES DE CO₂



Se observa una diferencia altamente marcada a nivel mundial en donde los países de América latina y el caribe presentan un muy bajo incremento en sus emisiones de CO₂ las

cuales no llegan a 3 mil millones de toneladas, a comparación del resto del mundo que casi llega a 25 mil millones y presenta una tendencia al incremento.



Fuente: Organización para la Cooperación Latinoamericana

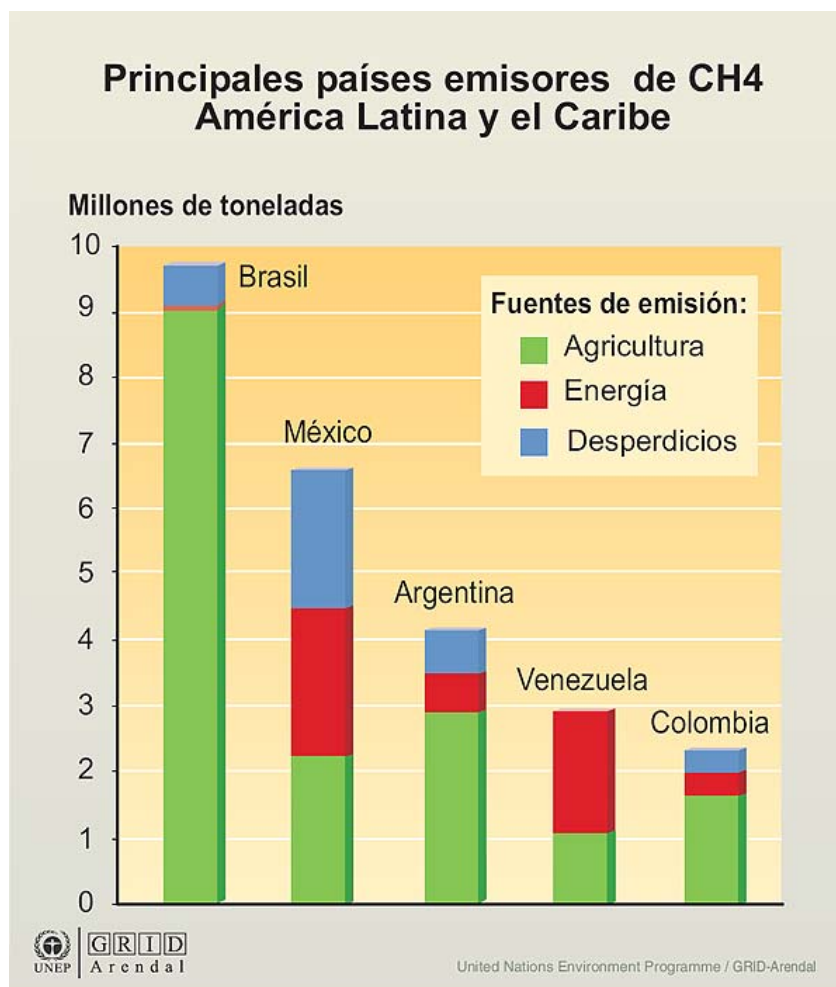
A nivel de Latinoamérica se observa el fuerte impacto que ha tenido la deforestación en los bosques y selvas Brasileñas. El principal pulmón vegetal del mundo se observa altamente afectado por la deforestación la cual es la principal causa del incremento de las emisiones de Co₂ en el país amazónico.

Los niveles de deforestación son tales en Brasil que para el año 2000 solo era superado por Indonesia. En 2000, las emisiones de CO₂, a partir del cambio en el uso de los suelos en Brasil, representaron el 18% del total de las emisiones mundiales. Las emisiones per cápita, a partir del cambio en el uso de los suelos en Brasil, son seis veces más que el promedio mundial.

Desde el punto de vista de combustión de combustibles fósiles los países de México y Brasil repuntan, casi el doble, por encima de países como Argentina y Venezuela, siendo estos los cuatro países que emanan la mayor cantidad de CO₂ a través de combustión fósil.

Las principales actividades relacionadas con la emanación de combustibles fósiles son: Actividad petrolera, transporte y generación de electricidad.

EMISIONES DE CH4



Fuente: Comunicaciones Nacionales UNFCCC, 1994

El gas metano está estrechamente relacionado con la actividad agrícola y pecuaria, Brasil y Argentina son importantes países ganaderos y por ello se presentan como los mayores generadores de gas metano de la región. Por su parte México aparece en la segunda posición debido a la alta cantidad de desperdicios que generan así como por la importante actividad agrícola y energética que estos poseen.

Conclusiones y recomendaciones

Deducimos, de manera general, aumentos constantes en los valores de precipitación y temperatura para el siglo XXI en cada uno de los escenarios seleccionados, lo que coincide con numerosos estudios realizados por expertos en el área climática a nivel mundial sobre el calentamiento global. Para el caso venezolano, se espera que los valores de temperatura bajo los cuatro escenarios climáticos aumenten significativamente al igual que las precipitaciones en todo el territorio nacional, con respecto al periodo 1961-1990, el cual sirvió como base comparativa para los resultados estimados.

El escenario A2-MES fue el que presentó los valores más elevados de precipitación, seguido de los escenarios A1FI-MI, B2-MES y B1-MES, respectivamente.

Por otra parte, es importante destacar que la estación Santa Elena de Uairén es la que posee los mayores registros futuros de precipitación, calculándose que para el año 2100 la misma ascienda a más de 4000mm. Por el contrario, la estación Coro es la que presenta los registros más bajos entre las estaciones estudiadas, calculándose para el año 2100 un registro máximo de 672 mm.

En cuanto a la temperatura, se observa un aumento significativo en este parámetro, esencialmente en los años 2070 y 2100, donde se observan los registros más altos, siendo el escenario A1FI-MI el que muestra los valores más elevados, seguido de los escenarios A2-MES, B2-MES y B1-MES. En este sentido, la estación que presenta las temperaturas más altas es la estación Coro en el año 2100 con más de 31°C; por su parte, la estación Mérida es la que presenta los registros más bajos, con 21.9°C para ese mismo año.

Tomando en cuenta lo antes señalado, podemos decir que los escenarios que presentan los mayores y más elevados niveles tanto de precipitación como de temperatura para el siglo XXI son los escenarios A1FI-MI y A2-MES. Los escenarios B1-MES y B2-MES son los que señalan un menor aumento de las precipitaciones y temperaturas, tomando en consideración los resultados y análisis establecidos para cada escenario en Venezuela. Esto último significa que, nuestro país se corresponde altamente a escenarios de la familia A1 y A2, específicamente al A1FI-MI para el caso de las temperaturas y A2-MES para el caso de las precipitaciones.

Gracias a la herramienta cartográfica Surfer 8 empleada para la representación espacial de las proyecciones, fue más viable poder notar la tendencia del comportamiento de la temperatura y la precipitación para los años 2030, 2070 y 2100. Cada escenario posee una tendencia determinada aunque, de manera general, todos coinciden en el aumento de los valores de ambos elementos climáticos en nuestro país.

Conclusiones específicas y puntualizadas

- Se pudo determinar que el modelo de circulación general que más se aproxima a la realidad venezolana, desde el punto de vista climático, es el modelo japonés MRI_96. En comparación con los otros GCM, este modelo es el que presenta la mayor aproximación en cuanto a los valores estimados y reales de precipitación y temperatura calculados a nivel nacional para el periodo 2000 - 2005.
- Al realizar la evaluación en tiempo real entre los datos observados y los estimados a través del cálculo del error cuadrático medio, se determinó que para el caso de la temperatura los errores más elevados (de hasta 8°C) se presentaron en la región occidental del país y los menores (de 0 a 1,5°) en la región costera, oriental y llanera del mismo.
- En cuanto a las estimaciones de temperatura y precipitación para los próximos 100 años, se pudo determinar que los niveles de precipitación para los cuatro escenarios climáticos aumentarán en gran manera, fundamentalmente hasta el año 2070, observándose una disminución de la misma para el año 2100 en los escenarios B1-MES y A2-MES. En este sentido, se podría señalar como “casos especiales” la estación de Güiría, la cual presenta niveles de disminución en cuanto a precipitación más significativas del país para los

próximos años en casi todos sus escenarios y la estación Santa Elena de Uairén la cual, a diferencia de la estación anterior, presenta los acrecentamientos de precipitación más altos del país.

- Para el periodo 1961-1990 la tendencia del promedio mensual de las precipitaciones coinciden en gran magnitud con las tendencias de los años 2030, 2070 y 2100 para casi todas las estaciones y escenarios estudiados. En cuanto a temperatura, las estaciones cercanas a las costas del país, tales como Coro, Maracay y Guiria presentan el nivel de estimación mas alto o preciso, mientras que las estaciones ubicadas al sur del país tales como Santa Elena de Uairén y Puerto Ayacucho, presentan una característica totalmente contraria a esta, es decir presentan valores menos precisos o con un nivel de estimación muy bajo. Por otra parte la estación Mérida, al igual que en la precipitación, presenta valores bajos en cuanto a nivel de estimación se refiere, lo que significa que la capacidad de estimación del programa MAGICC-SCENGEN desde el punto de vista de temperatura es más efectiva en las estaciones y/o áreas cercanas a las costas Venezolanas que a las del interior del país.
- En cuanto a las proyecciones de temperatura, luego del estudio, cálculo y análisis de los errores cuadráticos medios, así como los resultados emanados por MAGICC-SCENGEN para los distintos años, se pudo diagnosticar que los niveles de temperatura aumentarán de manera gradual y continua en los próximos 100 años, resultados que coinciden en gran parte con las estimaciones elaboradas por expertos en el campo de la meteorología y climatología a nivel mundial, principalmente del IPPC.
- El año 2030, según el escenario A1FI-MI, es prácticamente el único que presenta disminución de las temperaturas en aproximadamente 1°C, los años subsiguientes y los escenarios en todo el país presentan aumentos significativos de entre 1 y 4 °C con respecto al promedio del periodo 1961-1990.
- Recomendamos que se ejecuten planes o proyectos que inciten al control de las emisiones de gases de efecto invernadero en nuestro país, por parte de los encargados en la materia.
- A nivel de Latinoamérica es recomendable la unión e integración regional de los distintos países para así mitigar la problemática climática de la región.
- Crear una comisión u organismo regional que haga énfasis en los cambios en el uso de la tierra y emisiones de gases de efecto invernadero en Sudamérica y México para así tener un mayor control sobre los impactos ambientales que afectan la región.

Referencias citadas

Álvarez, B. F. 1983. Atlas climatológico de Venezuela 1951-70. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Goldbrunner, L. 1984. Atlas Climatológico de Venezuela, periodo 1951-1970. Fuerza Aérea Venezolana. Caracas.

Ludevid, M. 1997. El cambio global en el medio ambiente, introducción a sus causas humanas. Barcelona España.

MARNR, mimeografiado s/f; Sánchez Carrillo, 1981

Martelo, M. 2004. Consecuencias ambientales generales del cambio climático en Venezuela. Dirección de meteorología, hidrología y oceanografía. Dirección general de cuencas hidrográficas. MARN.

Martelo, Rojas *et al.* 2004. características climáticas de Venezuela. Informe Nacional de Hidrología y Meteorología MARN.

Nakicenovic, N. 2000. Special Report on Emission Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge.

Smith, J.B. y Hulme, M. (1998) Climate change scenarios Chapter 3 in, Handbook on methods of climate change impacts assessment and adaptation strategies: Version 2.0. Amsterdam.

Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin American Meteorological Society, Vol. 63, No. 11.

URL

IPCC 2006 “Intergubernamental de Cambios Climáticos“. Dirección URL:

<<http://www.ipcc.ch>> [Consulta: 5 de Junio del 2006]

Anónimo 2006 “Tercer Informe de Evaluación Cambio climático 2001. Mitigación”
Dirección URL: http://labfi.fisica.uson.mx/ipccwg3s_es.pdf [Consulta: 15 de Junio del 2006]

Anónimo 2006 “Enciclopedia Libre” Dirección URL: <http://es.wikipedia.org/wiki>
[Consulta: 20 de Junio del 2006]

Anónimo 2007 “Cambio climático y agricultura Centroamérica” Dirección URL:
<http://www.pncc.gov.py> [Consulta: 2 de Abril del 2007]

Anónimo 2007 “Model Information for IPCC AR4” Dirección URL:
<http://www.mri-jma.go.jp/Dep/cl/cl4/model.html> [Consulta: 10 de Mayo del 2007]

2009 “Emisiones de Gases de efecto invernadero en Latinoamérica”
<http://www.grida.no/publications/vg/lacsp/page/2779.aspx>

2009 <http://www.grida.no/>