

Estimación de rangos de incertidumbre en las fechas para alcanzar los valores de incremento en la temperatura promedio global 1.0, 1.5 y 2.0°C y las implicaciones para la República Mexicana

Resumen Ejecutivo



Derechos Reservados © 2018

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Colonia Lomas de Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo, CP.11000, Ciudad de México.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña, Delegación Tlalpan, CP. 14210, Ciudad de México.

Todos los derechos están reservados. Ni esta publicación ni partes de ella (informes, mapas, bases de datos) pueden ser reproducidas, almacenadas mediante cualquier sistema o transmitidas, en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, de fotocopiado, de grabado o de otro tipo, sin el permiso previo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

El análisis y las conclusiones aquí expresadas no reflejan necesariamente las opiniones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de su Junta Ejecutiva, de sus Estados Miembros, o del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Documento generado a partir de los resultados de la consultoría realizada por **Oscar Casimiro Sánchez Meneses**.
Número de Contrato IC- 2016-128

Para mayor información sobre este estudio, consultar con la Coordinación General de Adaptación al Cambio Climático del INECC.

Citar como:

INECC-PNUD México. 2017. *Estimación de rangos de incertidumbre en las fechas para alcanzar los valores de incremento en la temperatura promedio global 1.0, 1.5 y 2.0°C y las implicaciones para la República Mexicana*. Resumen Ejecutivo, Proyecto 85488 "Sexta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", Oscar Casimiro Sánchez Meneses, pp. 29, México.

Contenido

1. Resumen Ejecutivo	5
2. Resumen Extenso	8
2.1 Introducción.....	8
2.2 Objetivos	8
2.3 Métodos y resultados relevantes.....	9
1) Climatología base.	9
2) Escenarios 1.0, 1.5 y 2.0°C con AOGCM's de AR4.	10
3) Escenarios 1.0, 1.5 y 2.0°C sobre la temperatura media global con AOGCM's de AR5.	18
Elaboración de mapas.....	23
2.4 Conclusiones	25
Oportunidades.....	26

Lista de Figuras

Figura 1. Series de tiempo de incrementos en la temperatura media global para los RCP's obtenidos con MAGICC6.0 (Meinshausen et al., 2011). También se incluyen en la gráfica, las series correspondientes a las trayectorias lineales de emisiones 5CO ₂ y 0CO ₂ . Las trayectorias RCP tienen actualizados los datos con las observaciones hasta el año 2004, esta parte de la gráfica aparece en color azul y es común a los 4 RCP's.	6
Figura 2 Figura RE1. Escenarios de emisiones de CO ₂ , desde el año 1990 hasta el año 2100, de trayectorias lineales en comparación con los escenarios SRES. El escenario 4Scen20-30 considera un caída abrupta de emisiones hasta el valor 0 Pg C entre el año 2020 y el 2030 y se incluye con fines ilustrativos (Figura 1 del 2o reporte de esta consultoría, tomada de Gay et al., 2014).....	11
Figura 3 Figura RE2. Escenarios de incremento en la temperatura media global para las emisiones lineales. Se incluyen el A1FI y RCPs (Figura 5 del 2o reporte de esta consultoría, tomada de Gay et al., 2014 op. cit.) ...	12
Figura 4 Figura RE3. Incrementos en la temperatura media global para los RCP's incluyendo datos observados hasta 2004 (línea color azul) tomados de MAGICC6.0. También se muestran las trayectorias lineales de emisiones 5CO ₂ y 0CO ₂ (Figura 1 del 3er reporte de esta consultoría). Fuente: elaboración propia.	18
Figura 5 Figura RE4. Contraste entre los ciclos anuales de anomalías de precipitación (panel izquierdo) y temperatura media (panel derecho) para RCP8.5 y RCP4.5 proyectados con tres AOGCM's de AR5 para el año 2051 (umbral 2.0 con respecto a 1990). El diagrama representa el promedio espacial sobre la región de estudio.....	28

Lista de Tablas

Tabla 1. Anomalías de temperatura media anual (°C) de RCP8.5 y RCP4.5 para HadGEM2-ES, GFDL-CM3 y MPI-ESM-LR en 2041 (1.5°C). Fuente: elaboración propia.	7
Tabla 2 Tabla RE1. Años para alcanzar los incrementos umbrales de temperatura de 1.0, 1.5 y 2.0°C para las trayectorias de emisiones lineales de -2CO ₂ a 5CO ₂ y con una sensibilidad climática de 3.0°C/W/m ² usando MAGICC v5.3 (Tabla 1 del 2o reporte de esta consultoría). Fuente: elaboración propia.....	13
Tabla 3 Tabla RE2. Escenarios GFDL CM2.0. Anomalías de la temperatura media (°C) para la trayectoria lineal de emisiones 5CO ₂ , respecto de las emisiones de 1990. Cuando el incremento en la temperatura media global alcanza 1.0, 1.5 y 2.0 °C (tabla 3 del 2o reporte). Fuente: elaboración propia.	14
Tabla 4 Tabla RE3. Escenarios GDFL CM2.0. Anomalía de precipitación (%) para la trayectoria lineal de emisiones 5CO ₂ , respecto de las emisiones de 1990. Cuando el incremento en la temperatura media global alcanza 1.0, 1.5 y 2.0°C (tabla 4 del 2o reporte). Fuente: elaboración propia.	15
Tabla 5 Tabla RE4. Escenarios HADGEM1. Anomalía de la temperatura media global (°C) para la trayectoria lineal de emisiones 5CO ₂ , respecto de las emisiones de 1990. Cuando el incremento en la temperatura media global alcanza 1.0, 1.5 y 2.0°C (tabla 5 del 2o reporte). Fuente: elaboración propia.	16
Tabla 6 Tabla RE5. Escenarios HADGEM1. Anomalía de precipitación (%) para la trayectoria lineal de emisiones 5CO ₂ , respecto de las emisiones de 1990. Cuando el incremento en la temperatura media global alcanza 1.0, 1.5 y 2.0°C (tabla 6 del 2o reporte). Fuente: elaboración propia.	17
Tabla 7 Tabla RE6. Fechas estimadas para alcanzar los T umbrales con los RCP's (Tabla 1 del 3er reporte de la consultoría). Fuente: elaboración propia.	19
Tabla 8 Tabla RE7. Diferencias entre las anomalías anuales de precipitación (panel de la izquierda) y de temperatura media (panel de la derecha) para RCP8.5 y RCP4.5 en 2041 (1.5 °C) para HadGEM2-ES, GFDL-CM3 y MPI-ESM-LR (Figuras 2 y 3 del 3er reporte).Fuente: elaboración propia.	20
Tabla 9 Tabla RE8. Anomalías de precipitación anual (mm/día) de RCP8.5 y RCP4.5 para HadGEM2-ES, GFDL-CM3 y MPI-ESM-LR en 2041 (1.5 °C). Tabla A1 del 3er reporte. Fuente: elaboración propia.....	21
Tabla 10 Tabla RE9. Anomalías de temperatura media anual (°C) de RCP8.5 y RCP4.5 para HadGEM2-ES, GFDL-CM3 y MPI-ESM-LR en 2041 (1.5 °C). Tabla A2 del 3er reporte. Fuente: elaboración propia.....	22
Tabla 11 Tabla RE10. Escenarios de cambio climático elaborados 2ª etapa. Fuente: elaboración propia.	23
Tabla 12 Tabla RE11. Escenarios de cambio climático elaborados 3ª etapa (tabla 2 del 3er reporte). Fuente: elaboración propia.	25

1. Resumen Ejecutivo

La COP21 planteó reducir los niveles de emisiones de CO₂ de tal manera que el incremento de temperatura global se mantuviera “por debajo” de los 2°C con respecto a los niveles preindustriales. El IPCC ha mencionado el interés existente entre gobiernos y la comunidad científica hacia las consecuencias de un incremento de 1.5°C. México no contaba con escenarios de cambio climático que consideren estos umbrales de incremento sobre la temperatura global, antes del desarrollo de este proyecto.

El objetivo principal de esta consultoría fue **establecer proyecciones de temperatura y precipitación, para México, en las fechas en que se alcancen 1.0, 1.5 y 2.0°C sobre la temperatura media global, en función de diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero y diferentes AOGCMs.**

Para lo anterior se utilizó la climatología base del World Clim 1950 – 2000 (precipitación y temperaturas media, máxima y mínima), porque es más adecuada para escenarios de cambio climático del AR4 y AR5.

Se construyeron escenarios de anomalías anuales y mensuales de precipitación y de temperatura media (respecto del periodo 1950-2000), para los años en los que se estima se alcance un incremento de 1.0, 1.5 y 2.0°C sobre la temperatura media global con dos AOGCMs del IPCC para el AR4, usando escenarios de emisiones de trayectorias lineales. Para este caso se utilizó el software MAGICC/SCENGEN v5.3.

Para el AR5, además de las variables que se estimaron para el AR4, también se generaron escenarios de anomalías anuales y mensuales, respecto al periodo 1950 – 2000, de temperatura media de superficie, temperaturas máxima y mínima y precipitación utilizando las trayectorias de emisiones de RCP4.5 y RCP8.5 como referencia, para tres AOGM del IPCC AR5, usando el software MAGICC 6.0.

Como resultado se encontró que los escenarios lineales de 5CO₂ (cinco veces las emisiones de 1990) y 0CO₂ permitieron establecer la incertidumbre en las fechas en que se alcanzan los umbrales de 1.0°C, que sería entre 2030 y 2048; 1.5°C, entre 2041 y 2066 y 2.0°C, entre 2051 y 2100, ya que dentro de estos escenarios lineales se encuentran los diferentes escenarios de cambio climático tanto del AR4 y del AR5 (Figura 1). Entre otras aplicaciones, estas fechas estimadas serán útiles para implementar acciones de adaptación y/o mitigación, por parte de los tomadores de decisiones considerando siempre que en todo momento se está hablando de estimaciones.

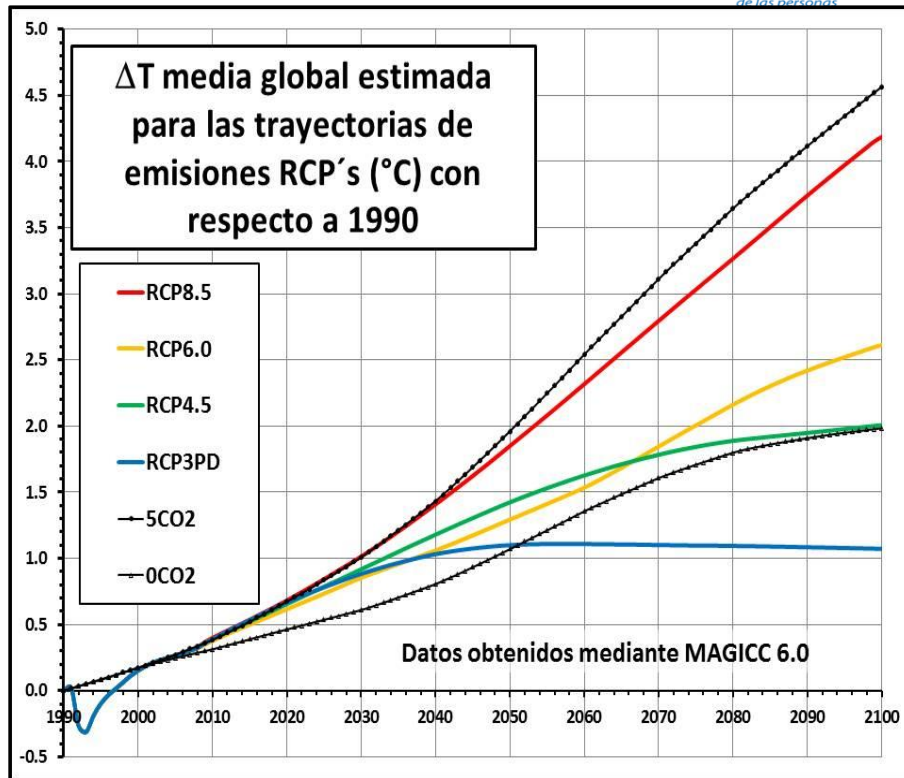


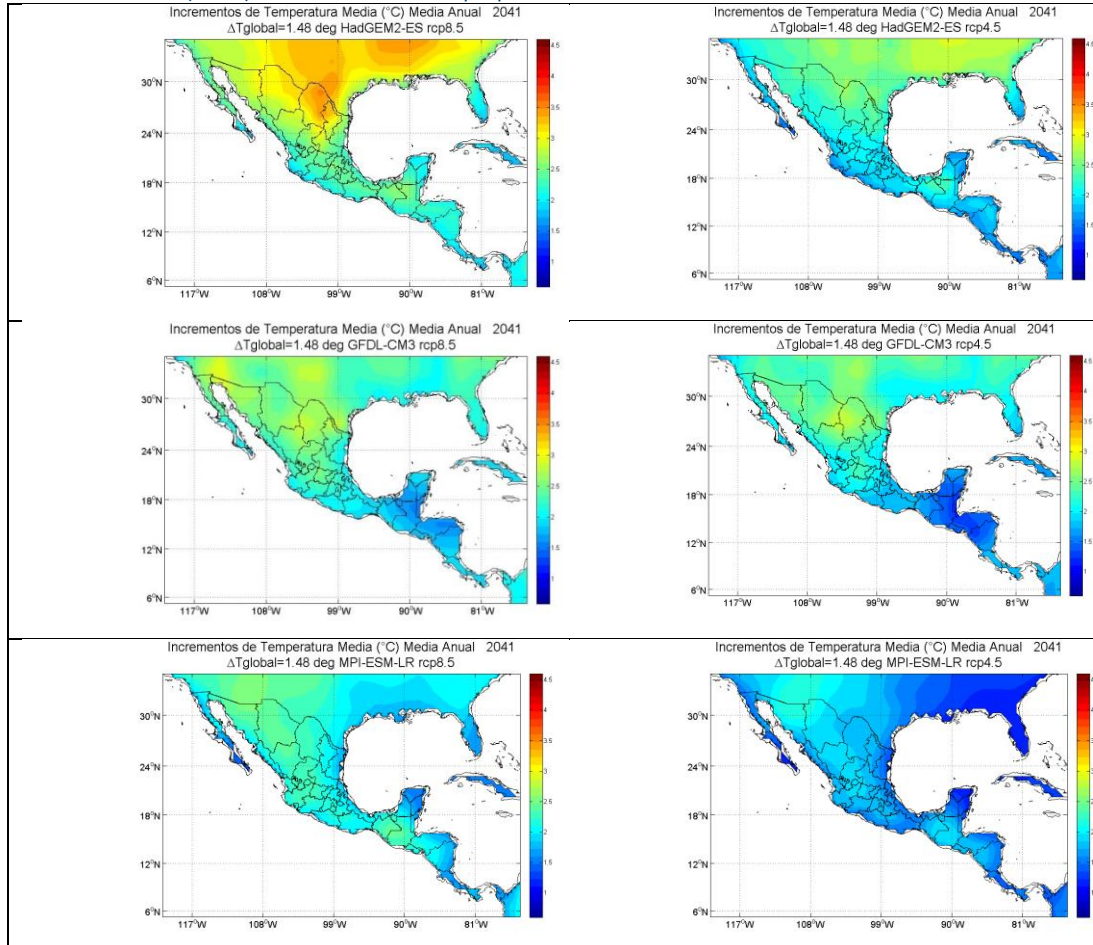
Figura 1. Series de tiempo de incrementos en la temperatura media global para los RCP's obtenidos con MAGICC6.0 (Meinshausen et al., 2011)¹. También se incluyen en la gráfica, las series correspondientes a las trayectorias lineales de emisiones 5CO₂ y 0CO₂. Las trayectorias RCP tienen actualizados los datos con las observaciones hasta el año 2004, esta parte de la gráfica aparece en color azul y es común a los 4 RCP's.

Se seleccionaron los horizontes 2030 (2015-2045), 2041 (2026-2056) y 2051 (2036-2066) que corresponden a las fechas en que se alcanzan los valores umbrales de incremento de temperatura de acuerdo con el escenario 5CO₂.

Uno de los productos de la consultoría son los mapas donde se muestra la anomalía de temperatura media anual (°C) de RCP8.5 y RCP4.5 para HadGEM2-ES, GFDL-CM3 y MPI-ESM-LR en 2041 (1.5°C). Se observa que el HadGEM2-ES parece mostrar mayores incrementos en la temperatura media y el MPI-ESM-LR menores, mientras el GFDL-CM3 es más moderado, lo cual se puede verificar más fácilmente en la figura 3, en la que se aprecia que las diferencias son muy cercanas a cero para casi todo el mapa. HadGEM2-ES proyecta calentamiento y MPI-ESM-LR ligero enfriamiento para 2041 (Tabla 1).

¹ Meinshausen, M., S. C. B. Raper and T. M. L. Wigley, 2011. "Emulating coupled atmosphere-ocean and carbon cycle models with a simpler model, MAGICC6: Part I – Model Description and Calibration." Atmospheric Chemistry and Physics 11: 1417-1456. doi:10.5194/acp-11-1417-2011.

Tabla 1. Anomalías de temperatura media anual (°C) de RCP8.5 y RCP4.5 para HadGEM2-ES, GFDL-CM3 y MPI-ESM-LR en 2041 (1.5°C). Fuente: elaboración propia.



Finalmente se observa que una manera de enriquecer y fortalecer la modelación del clima en México se lograría desarrollando este tipo de ejercicio usando modelos regionales para México.

2. Resumen Extenso

2.1 Introducción

Durante la COP21², se planteó el objetivo de reducir los niveles de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) de tal manera que el incremento de temperatura global se mantenga “por debajo” de los 2°C con respecto a los niveles preindustriales. Recientemente el IPCC³, en un comunicado de prensa⁴, mencionó el interés existente entre gobiernos y la comunidad científica hacia las consecuencias de un incremento de 1.5°C sobre la temperatura media global, por lo cual se dio a la tarea de elaborar un reporte especial al respecto, que será incluido en el Sexto Informe de Evaluación a publicarse en 2020/2021. Escenarios de cambio climático para incrementos umbrales de temperatura global, aplicables en México, no se habían elaborado antes, sin duda, serán de gran interés para la comunidad científica involucrada en el estudio del cambio climático en nuestro país. Los escenarios publicados hasta ahora han estado dirigidos hacia distintos horizontes de tiempo^{5 6 7 8}. La metodología utilizada en este trabajo permitirá a los tomadores de decisiones, planear adecuadamente la implementación de medidas de adaptación y/o mitigación orientadas a prevenir los efectos de incrementos umbrales de temperatura media global. Este trabajo se elaboró como insumo para la Sexta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

2.2 Objetivos

En esta consultoría, el objetivo primordial ha sido **establecer proyecciones de temperatura y precipitación**, para la República Mexicana, **cuando se alcancen 1.0, 1.5 y 2.0 °C** sobre la temperatura media global, en función de diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Para lograrlo se propusieron tres etapas de trabajo:

1) Búsqueda de una base de datos climatológica confiable sobre las variables de más amplio uso como la precipitación y las temperaturas media, máxima y mínima (1er reporte del proyecto).

² Conferencia de las Partes No. 21, París, Diciembre 2015 (www.cop21paris.org/about/cop21).

³ Panel Intergubernamental de Cambio Climático.

⁴ http://www.ipcc.ch/news_and_events/pdf/press/170616_pr_es.pdf.

⁵ http://www2.inecc.gob.mx/cgacc/escenarios_cu/

⁶ Conde, C., F. Estrada, B. Martínez, O. Sánchez and C. Gay. 2011. Regional climate change scenarios for México. *Atmosfera*, Vol. 24 (1), 125-140. ISSN: 0187-6236

⁷ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. 2006. México, Tercera Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 245pp. ISBN: 968-817-811-X.

⁸ Magaña, V., Conde, C., Sánchez, O., Gay, C. 1999. Evaluación de Escenarios Regionales de Clima Actual y de Cambio Climático Futuro para México. Capítulo en el libro: México: Una Visión en el Siglo XXI. El Cambio Climático en México. Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA) ISBN: 968-36-7562-X Ed. Toffer S.A. de C.V.

2) Construir **escenarios de cambio climático** de acuerdo con el objetivo general de la consultoría, para dos AOGCM's⁹ del **IPCC AR4**¹⁰ con un escenario de emisiones, cercano a los datos observados, con fines de referencia (2o reporte del proyecto).

3) Construir **escenarios físicos de temperatura media de superficie, temperatura máxima y mínima y precipitación** para la República Mexicana para incrementos de 1, 1.5 y 2 °C en la temperatura media global, para tres AOGCM's del **IPCC AR5**¹¹ y tomando las trayectorias de emisiones RCP4.5 y RCP 8.5¹² (Meinhausen, 2011)¹³ (3er reporte del proyecto).

2.3 Métodos y resultados relevantes

De acuerdo con los términos de referencia establecidos, se realizó lo siguiente:

1) Climatología base.

Se buscó entre las fuentes disponibles, **nacionales e internacionales**, la base de **datos más completa y con mejores controles de calidad**, que pudiera ser usada con los escenarios de cambio climático desarrollados en este trabajo. Las fuentes consultadas fueron:

- Extractor Rápido de Información Climatológica, **ERIC III**, herramienta que fue elaborada por el Instituto Mexicano del Tecnología del Agua (IMTA) con los datos de la Red del Servicio Meteorológico Nacional, sin interpolación a una malla regular¹⁴.
- Climatic Research Unit (**CRU**) de la East Anglia University del Reino Unido, en su sitio de internet¹⁵ se puede descargar una climatología del periodo 1961–1990, y una más que cubre el periodo 1901–2015, esta climatología cubre todas las regiones del globo, en una malla regular de 0.5 x 0.5 grados, excepto Antártida y océanos, ya que está basada en datos de estaciones en tierra, más de 8000 para la temperatura y 6000 para precipitación. Las variables que incluye, en escala mensual, son: temperatura media, rango diario de temperatura, precipitación, presión de vapor y cubierta nubosa, también incluye temperaturas máxima y mínima (y otras variables derivadas) calculadas a partir de las variables anteriores (Harris *et al.*, 2014)¹⁶. Esta base de datos no es específicamente

⁹ Modelos de Circulación General con Atmósfera y Océano Acoplados .

¹⁰ Cuarto Reporte de Evaluación del IPCC, 2007.

¹¹ Quinto Reporte de Evaluación del IPCC, 2013.

¹² Trayectorias de concentraciones representativas (RCP por sus siglas en inglés).

¹³ Meinshausen, M., Smith, S.J., Calvin, K., Daniel, J.S., Kainuma, M.L.T., Lamarque, J-F, Matsumoto, K., Montzka, S.A., Raper, S.C.B., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G.J.M., van Vuuren, D.P.P. 2011. "The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300", Climatic Change 109 (1-2): 213–241, doi:10.1007/s10584-011-0156-z.

¹⁴ Disponible en el sitio de internet del IMTA: <https://www.imta.gob.mx/productos/software/eric-iii-version-3-2-extractor-rapido-de-informacion-climatolo-detail>

¹⁵ <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>

¹⁶ Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J. and Lister, D.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. 2014. Int. J. Climatol. 34: 623–642. Royal Meteorological Society. DOI: 10.1002/joc.3711.

homogénea, aunque incluye datos de series homogeneizadas, no es un requisito y los autores recomiendan usarla solamente para análisis de tendencias climáticas.

- **WorldClim** - Global Climate Data, de acuerdo con Hijmans et al., 2005¹⁷, esta climatología está organizada en superficies de clima interpolado para todo el globo con una resolución de 0.5 x 0.5 grados. Las variables incluidas son temperaturas media, máxima y mínima y precipitación, todas mensuales, preferentemente dentro del periodo 1950 – 2000. El control de calidad que los autores usaron incluye: verificación de ubicación geográfica de las estaciones, la elevación de las mismas, a través de un modelo digital de elevación, depuración de errores comunes en los datos, análisis de incertidumbre del algoritmo de interpolación utilizado (*spline* suavizado), según la orografía del terreno y la densidad de estaciones.
- En el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, dentro del proyecto **UNIATMOS**, se desarrolló una climatología especialmente para México, siguiendo la metodología usada por Hijmans et al., 2005. Los detalles del control de calidad se pueden consultar en Fernández-Eguiarte, et al., 2014¹⁸. Un detalle a observar es que esta base incluye datos desde 1902, cuando la densidad de estaciones climatológicas era muy escasa.

Entre las bases de datos revisadas, las que cuentan con una metodología más detallada de control de calidad son UNIATMOS y World Clim, estas bases usaron metodologías similares y ambas son **más inciertas en regiones montañosas o con baja densidad de estaciones**, condición presente en nuestro país.

World Clim fue seleccionada debido a que su periodo de referencia (1950 -2000) es más adecuado para usarlo con los escenarios de cambio climático de AR4 y AR5 y porque su metodología de control de calidad es más completa.

2) Escenarios 1.0, 1.5 y 2.0°C con AOGCM's de AR4.

Los escenarios de **temperatura promedio y precipitación** para los umbrales de 1.0, 1.5 y 2.0°C sobre la temperatura media global, se elaboraron con el software **MAGICC/SCENGEN v5.3** usando los AOGCM's: **GFDL CM2.0**¹⁹ y **HADGEM1**²⁰ del AR4.

MAGICC/SCENGEN (Wigley, 2008²¹) es un software empleado para elaborar escenarios de cambio climático con los AOGCM's de AR4, emulando las proyecciones del cambio climático hechas con los

¹⁷ Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978.

¹⁸ Fernández-Eguiarte, A., Romero-Centeno, R., and Zavala-Hidalgo, J. 2014. Metodologías empleadas en el Atlas Climático Digital de México para la generación de mapas de alta resolución. *GeoActa*, 39, 165-173.

¹⁹ Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, sitio de internet: <http://data1.gfdl.noaa.gov/CM2.X/>

²⁰ Hadley Centre Global Environmental Model, version 1, sitio de internet: <http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadgem1>

²¹ Wigley T. M. L., 2008. MAGICC/SCENGEN 5.3: User Manual (version 2). NCAR, Boulder, CO. 80 pp. (disponible en línea en: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/wigley/magicc/>).

AOGCM en función de los escenarios de emisiones de GEI²² (la versión anterior del software fue usada por el IPCC en el Tercer Informe de Evaluación). Consta de dos módulos:

- MAGICC (Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change) que es, esencialmente, un **modelo climático simple que acopla los ciclos de los gases atmosféricos más importantes con el clima y**
- SCENGEN (SCenario GENerator), que recoge los datos generados por MAGICC, con diferentes escenarios de emisiones de GEI y los **proyecta sobre dominios geográficos específicos**, a través de variables climáticas, usando AOGCM's, con una resolución de 2.5° x 2.5°. Dicha resolución se refina, usando un algoritmo de interpolación bilineal, para poder combinar los datos generados con la climatología WorldClim.

Con la intención de establecer una **referencia práctica para la estimación de las incertidumbres originadas por el uso de distintos escenarios de emisiones de GEI**, en este trabajo se usaron los escenarios de trayectorias lineales mostrados en la figura RE1. Dichos escenarios se construyen tomando las emisiones de 1990 y proyectándolas en línea recta hacia el año 2100 para alcanzar emisiones de -2 a 5 veces las emisiones de 1990, por ejemplo, la trayectoria 5CO₂ inicia en 1990 con las emisiones observadas para ese año (7.098 Gt C²³) y termina en 2100 con 35.49 Gt C.

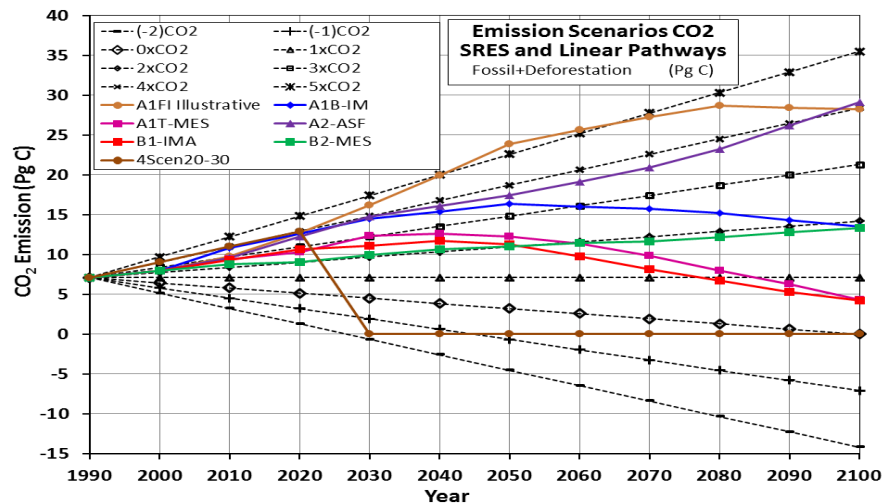


Figura 2 **Figura RE1**. Escenarios de emisiones de CO₂, desde el año 1990 hasta el año 2100, de trayectorias lineales en comparación con los escenarios SRES. El escenario 4Scen20-30 considera un caída abrupta de emisiones hasta el valor 0 Pg C²⁴ entre el año 2020 y el 2030 y se incluye con fines ilustrativos (Figura 1 del 2o reporte de esta consultoría, tomada de Gay et al., 2014²⁵).

²² Randall, D.A., R.A. Wood, S. Bony, R. Colman, T. Fichefet, J. Fyfe, V. Kattsov, A. Pitman, J. Shukla, J. Srinivasan, R.J. Stouffer, A. Sumi and K.E. Taylor, 2007: Climate Models and Their Evaluation. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

²³ Gt C abreviatura de giga toneladas de carbono.

²⁴ Pg C abreviatura de petagramos de carbono, (1 Gt C = 1 Pg C).

²⁵ Gay, C., O. Sánchez, B. Martínez-López, A. Nébot, F. Estrada. 2014. Fuzzy Models: Easier to Understand and an Easier Way to Handle Uncertainties in Climate Change Research. En: Mohammad S. Obaidat, Joaquim Filipe, Janusz Kacprzyk,

En la figura RE2, se puede observar que dichas **emisiones lineales envuelven a las líneas que representan la evolución de la temperatura media global**, para otros escenarios de emisiones usados de manera regular en los estudios de cambio climático, como los así llamados SRES²⁶ y una adaptación de los RCP's a esta versión de MAGICC.

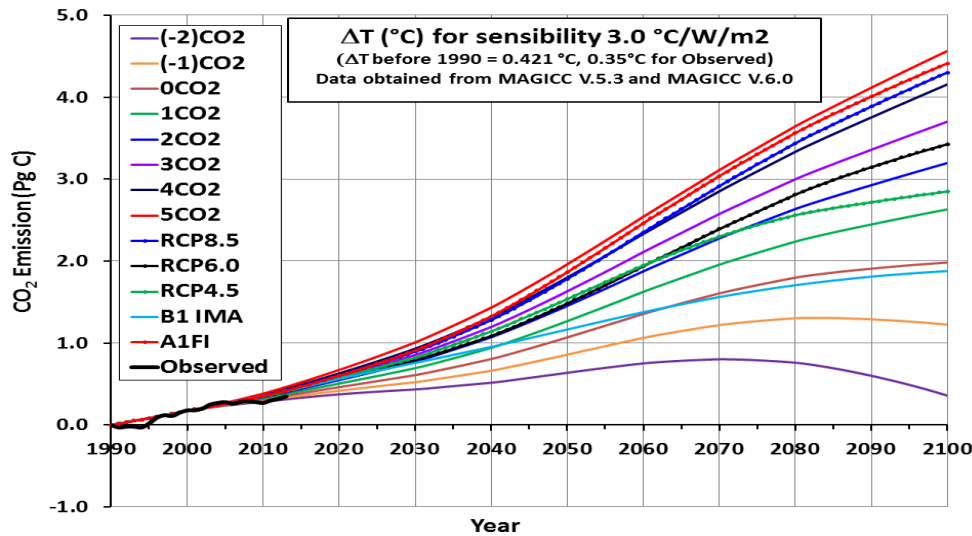


Figura 3 **Figura RE2**. Escenarios de incremento en la temperatura media global para las emisiones lineales. Se incluyen el A1FI y RCPs (Figura 5 del 2o reporte de esta consultoría, tomada de Gay et al., 2014 op. cit.).

El MAGICC v5.3 permite establecer las fechas en que se alcanzan los umbrales de incrementos en la temperatura media global para los escenarios lineales, en la tabla RE1 se muestran dichas fechas, incluyendo, con fines de comparación, los escenarios SRES A1FI y B1-IMA.

Se elaboraron los escenarios de cambio climático de AR4 para las fechas 2030, 2041 y 2051 en que se presentan, respectivamente, los incrementos de 1.0, 1.5 y 2.0°C en la temperatura global, estimadas con el escenario 5CO₂.

El escenario de emisiones **5CO₂** **representa un límite superior** para las trayectorias de emisiones de GEI que pueden, razonablemente, esperarse en el futuro. Por esta razón las fechas estimadas con 5CO₂, son una **referencia adecuada para los tomadores de decisiones que necesiten implementar medidas de adaptación y/o mitigación para enfrentar los efectos de un aumento en la temperatura media global.**

Una muestra de los mapas se presenta en las tablas RE 2 a 5, donde se observa que:

- **La estructura de las líneas de contorno es prácticamente la misma para cada mes, o año en el caso de los anuales) en un mismo AOGCM para cada escenario.**

Nuno Pina. Editors, Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, Advances in Intelligent Systems and Computing 256, Springer International Publishing Switzerland, pp. 223- 237. DOI: 10.1007/978-3-319-03581-9_16. ISBN 978-3-319-03580-2.

²⁶ Reporte Especial sobre Escenarios de Emisiones (SRES, por sus siglas en inglés).

- En la tabla RE2 se puede observar que para el GFDL CM2.0 en enero, la región poniente del país es la que se calienta más pronto, cuando el planeta se calienta de 1 a 2°C, mientras que las zonas relativamente más frías se ubican hacia el noreste de la república. Para julio el sureste y el noroeste son las zonas que presentan un mayor incremento en la temperatura media.
- En la tabla RE3 el modelo GDFL CM2.0 presenta incrementos porcentuales de precipitación para enero más altos en el noroeste del país y más bajo hacia el sureste, siendo a grandes rasgos, al contrario para el caso del mes de julio. En el centro norte se tienen incrementos porcentuales de precipitación más altos y en el noroeste, para julio, presenta un alto contraste entre fuertes incrementos sobre el océano cerca de la costa de Baja California y bruscos decrementos porcentuales sobre Sonora y Baja California.
- En la tabla RE4 se observa que en el mes de enero la región con mayor incremento en la temperatura se ubica hacia el poniente del país y la que se calienta menos hacia la península de Yucatán, En julio los incrementos son menores en el centro y centro-oriente y mayores hacia el sur, norte y noroeste.
- Para precipitación, el HADGEM1 muestra en la tabla RE5, que en enero la región poniente sufre un incremento porcentual notorio y, en contraste, la región sur muestra un decremento porcentual más allá de 40%. Para julio, y en general, para enero también, es claro que HADGEM ofrece contrastes menores en el incremento porcentual de precipitación en la República Mexicana.
- **A grandes rasgos, HADGEM1 estima incrementos de temperatura mayores, que los que se muestran para el GFDL CM2.0 y para precipitación, ambos modelos estiman una disminución, ligeramente menor en el caso del GFDL CM2.0.**

Tabla 2 **Tabla RE1.** Años para alcanzar los incrementos umbrales de temperatura de 1.0, 1.5 y 2.0°C para las trayectorias de emisiones lineales de -2CO₂ a 5CO₂ y con una sensibilidad climática de 3.0°C/W/m² usando MAGICC v5.3 (Tabla 1 del 2o reporte de esta consultoría). Fuente: elaboración propia.

Trayectoria de emisiones	Umbral de incremento en la temperatura media global (°C)		
	1.0	1.5	2.0
-2CO ₂			
-1CO ₂	2057		
0CO ₂	2048	2066	2100 (1.98°C)
1CO ₂	2042	2056	2072
2CO ₂	2038	2051	2064
3CO ₂	2035	2047	2058
4CO ₂	2032	2044	2054
5CO ₂	2030	2041	2051
B1-IMA	2043	2066	
A1FI-MI	2033	2043	2053

Tabla 3 **Tabla RE2.** Escenarios GFDL CM2.0. Anomalías de la temperatura media (°C) para la trayectoria lineal de emisiones 5CO₂, respecto de las emisiones de 1990. Cuando el incremento en la temperatura media global alcanza 1.0, 1.5 y 2.0 °C (tabla 3 del 2o reporte). Fuente: elaboración propia.

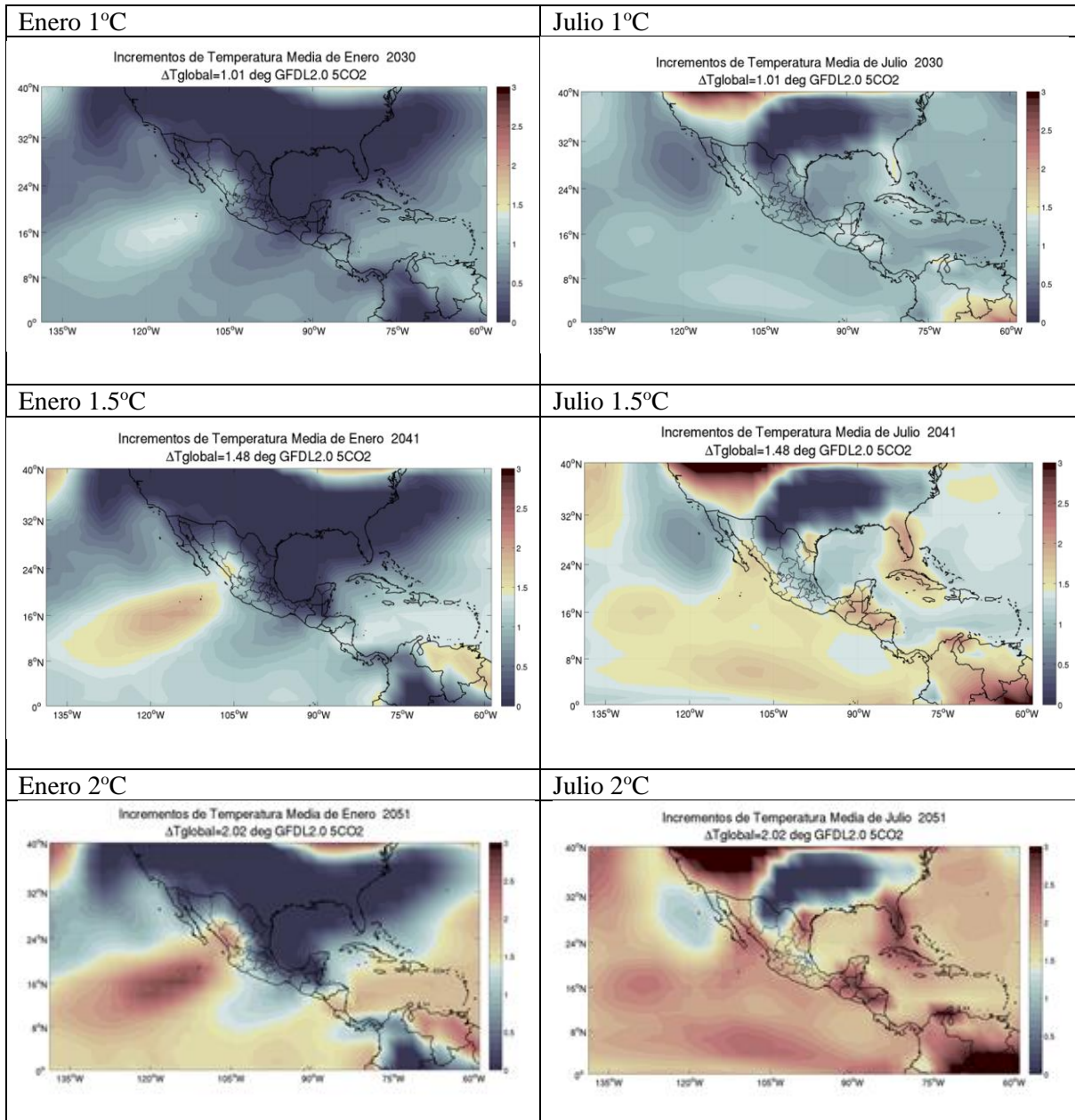


Tabla 4 **Tabla RE3**. Escenarios GDFL CM2.0. Anomalía de precipitación (%) para la trayectoria lineal de emisiones 5CO₂, respecto de las emisiones de 1990. Cuando el incremento en la temperatura media global alcanza 1.0, 1.5 y 2.0°C (tabla 4 del 2o reporte). Fuente: elaboración propia.

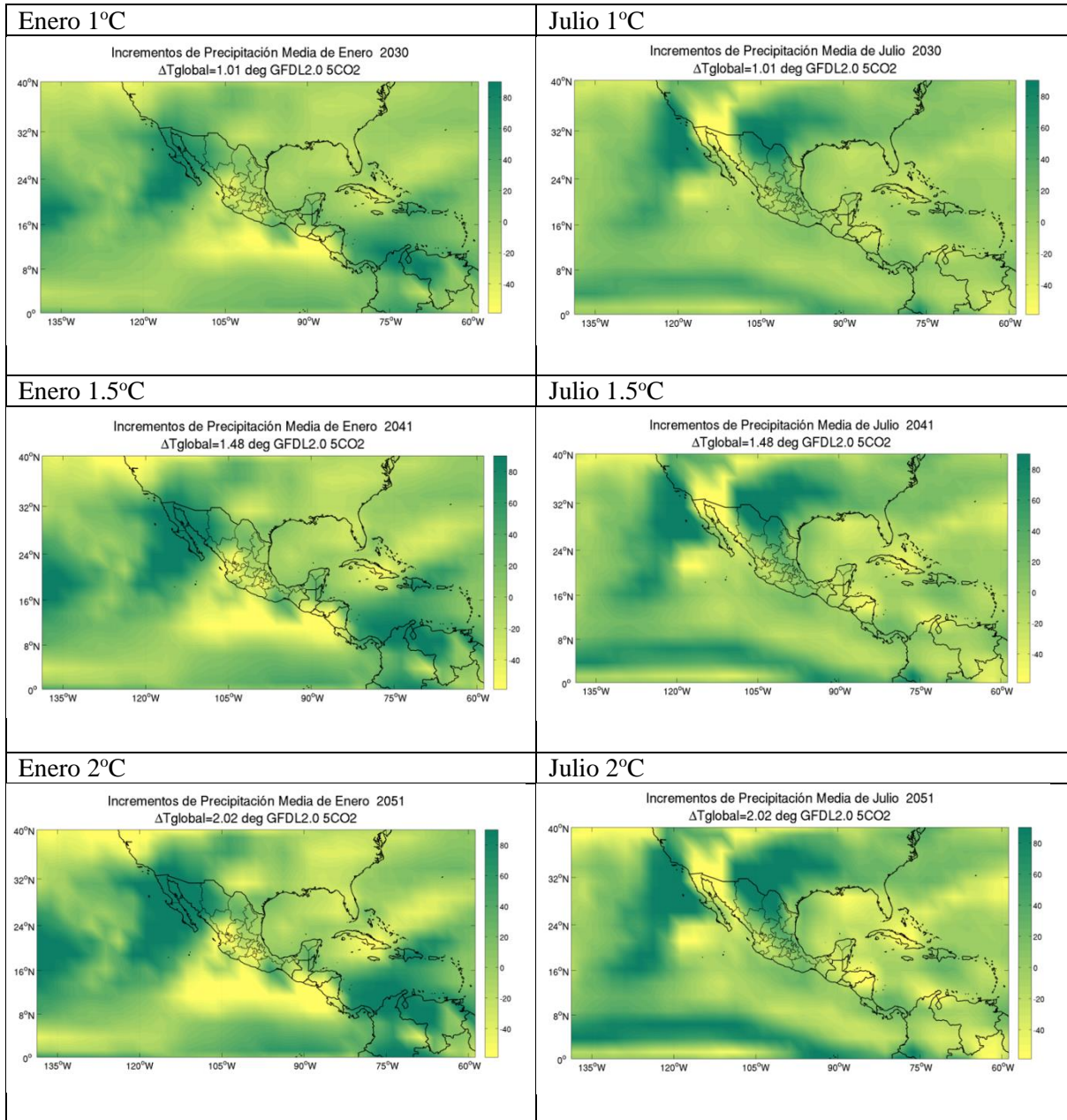


Tabla 5 **Tabla RE4**. Escenarios HADGEM1. Anomalía de la temperatura media global (°C) para la trayectoria lineal de emisiones 5CO2, respecto de las emisiones de 1990. Cuando el incremento en la temperatura media global alcanza 1.0, 1.5 y 2.0°C (tabla 5 del 2o reporte). Fuente: elaboración propia.

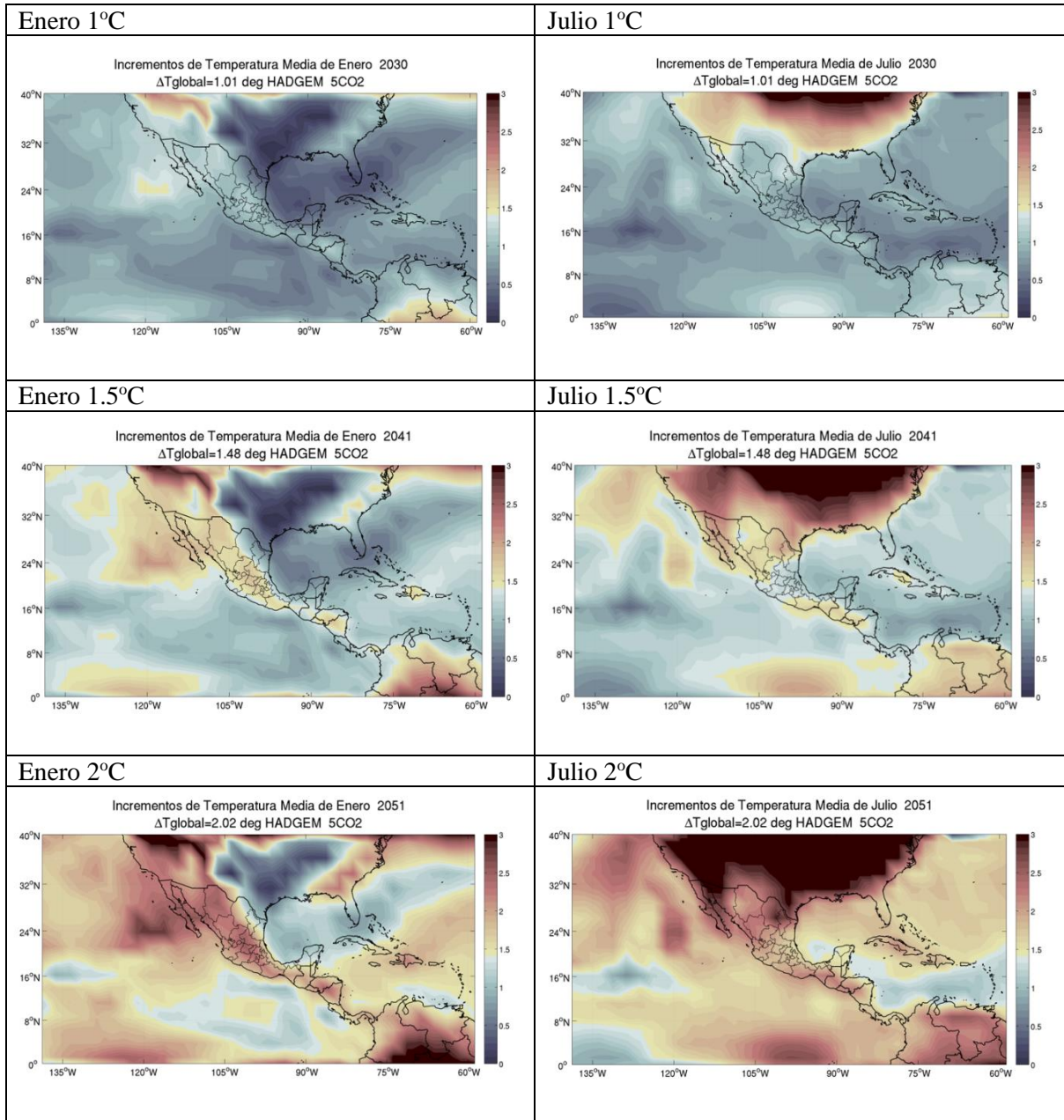
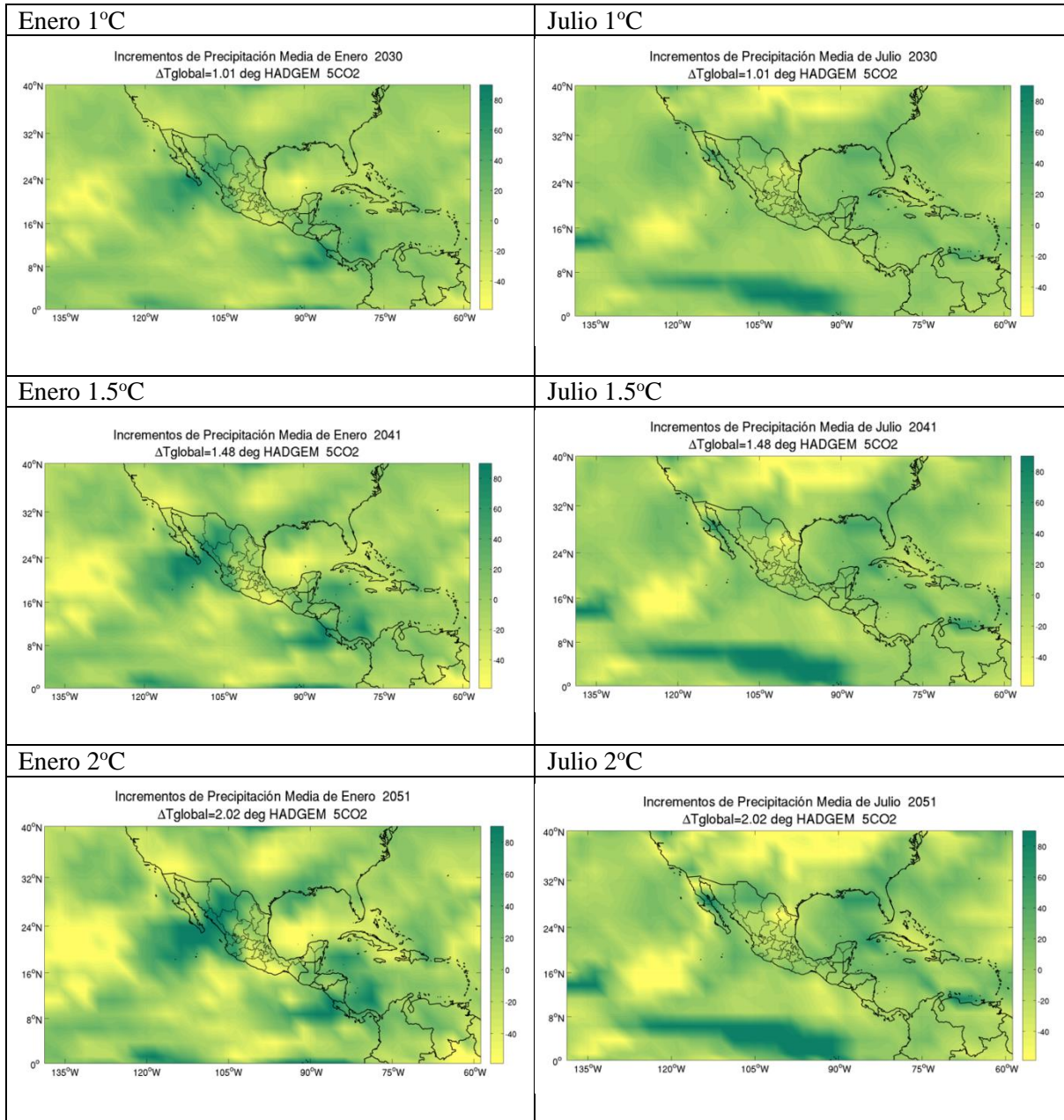


Tabla 6 **Tabla RE5.** Escenarios HADGEM1. Anomalía de precipitación (%) para la trayectoria lineal de emisiones 5CO₂, respecto de las emisiones de 1990. Cuando el incremento en la temperatura media global alcanza 1.0, 1.5 y 2.0°C (tabla 6 del 2o reporte). Fuente: elaboración propia.



3) Escenarios 1.0, 1.5 y 2.0°C sobre la temperatura media global con AOGCM's de AR5.

Para la 3a etapa del proyecto se elaboraron los escenarios de cambio climático tomando las variables climáticas: **precipitación y temperaturas media, máxima y mínima**, se usaron los AOGCM's del AR5: **GFDL-CM3, MPI-ESM-LR y HADGEM2-ES** y los **RCP's 8.5 y 4.5**

Se compararon los escenarios de emisiones asociados con RCP8.5 y RCP4.5, con los escenarios lineales de la 2ª etapa de este proyecto mediante el uso de la versión 6.0 de MAGICC²⁷.

MAGICC v6.0 es una versión actualizada de la v5.3, no posee un módulo para la generación de escenarios sobre una región geográfica (no produce mapas y no tiene bases de datos de realizaciones de AOGCM's) como la v5.3, pero contiene **series de tiempo actualizadas de emisiones de GEI y temperaturas**. Dentro de sus trayectorias de emisiones están las series de tiempo de los cuatro RCPs: 8.5, 6.0, 4.5 y 2.6.

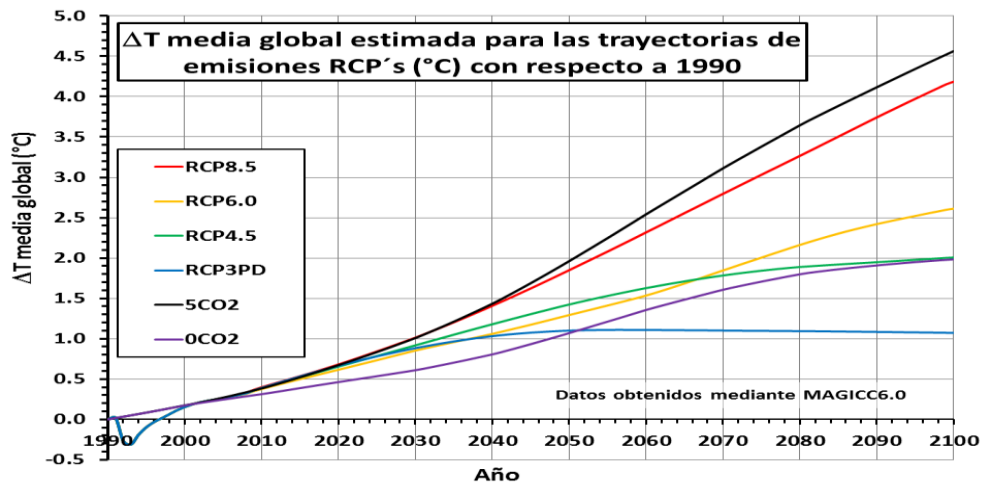


Figura 4 Figura RE3. Incrementos en la temperatura media global para los RCP's incluyendo datos observados hasta 2004 (línea color azul) tomados de MAGICC6.0. También se muestran las trayectorias lineales de emisiones 5CO₂ y 0CO₂ (Figura 1 del 3er reporte de esta consultoría). Fuente: elaboración propia.

La figura RE3 muestra los escenarios asociados a las RCP's y los escenarios lineales 5CO₂ y 0CO₂, los datos de las RCP's fueron tomados de MAGICC v6.0. Se puede ver en la figura que **RCP8.5 y 5CO₂ son indistinguibles casi hasta 2040** y que **5CO₂ y 0CO₂ envuelven a los tres RCP's de emisiones más altas, acotando los incrementos entre 4.6°C y 2.0°C para 5CO₂ y 0CO₂, respectivamente, hacia el año 2100.**

²⁷ Meinshausen, M., S. C. B. Raper and T. M. L. Wigley, 2011. "Emulating coupled atmosphere-ocean and carbon cycle models with a simpler model, MAGICC6: Part I – Model Description and Calibration." Atmospheric Chemistry and Physics 11: 1417-1456. doi:10.5194/acp-11-1417-2011.

En la tabla RE6 se muestran las fechas que MAGICC v6.0 proporciona, para cuando se alcanzan los umbrales 1.0, 1.5 y 2.0°C, **las fechas obtenidas son consistentes con las calculadas a partir de las trayectorias de emisiones usadas en la segunda etapa del proyecto** (ver tabla RE1).

Tabla 7 Tabla RE6. Fechas estimadas para alcanzar los ΔT umbrales con los RCP's (Tabla 1 del 3er reporte de la consultoría).
Fuente: elaboración propia.

Trayectoria de emisiones	Umbral de incremento en la temperatura media global (°C)		
	1.0	1.5	2.0
RCP8.5	2030	2042	2053
RCP6.0	2037	2059	2075
RCP4.5	2033	2053	2098
RCP3PD	2038		
5CO₂	2030	2041	2051
0CO₂	2048	2066	2100 (1.98°C)

Por lo tanto, los escenarios lineales 5CO₂ y 0CO₂ son una buena referencia para establecer la incertidumbre en las fechas en que se alcanzan los umbrales de 1.0, 1.5 y 2.0°C, dichos intervalos son los siguientes:

1.0°C	entre 2030 y 2048
1.5°C	entre 2041 y 2066
2.0°C	entre 2051 y 2100

Con la información que se ha generado en este trabajo se puede estimar, adicionalmente, la **incertidumbre** que se presenta al considerar los dos posibles escenarios de emisiones RCP8.5 y RCP4.5. Solamente para ilustrar lo anterior, se hizo una comparación gráfica entre los mapas de anomalías anuales de las cuatro variables estudiadas para RCP8.5 y RCP4.5 obteniéndose **mapas de diferencias RCP8.5 - RCP4.5**, como muestra, seis de ellos se presentan en la tabla RE7.

Los mapas de diferencias se pueden interpretar como la distribución del rango de variación de una variable sobre la región de estudio, definido por RCP8.5 y RCP4.5.

- En la tabla RE7 para **anomalías de precipitación anual**, HadGEM2-ES muestra **mayor sensibilidad a los RCP's que los otros dos AOGCM's**, los cuales muestran diferencias menores, sobre la región mostrada, GFDL-CM3 casi no discrimina entre los dos RCP's, y MPI-ESM-LR apenas registra una diferencia positiva (ver también tabla RE8).
- HadGEM2-ES muestra **mayores incrementos en la temperatura media anual** y el MPI-ESM-LR **menores**, mientras el GFDL-CM3 es más moderado, se aprecia que las diferencias son muy cercanas a cero para casi todo el mapa. HadGEM2-ES proyecta calentamiento y MPI-ESM-LR ligero enfriamiento para 2041 (ver también tabla RE9).

El **producto importante de la 3ª etapa del proyecto**, son los mapas y bases de datos señalados en la tabla RE11, correspondientes a los escenarios incrementales de 1.0, 1.5 y 2.0°C sobre la temperatura media global.

Por razones de espacio, se presentan solamente 12 de los 72 mapas de anomalías anuales elaborados (tablas RE8 y RE9). La base completa de mapas y datos, para esta etapa de la consultoría, incluye también los mapas y datos mensuales.

Tabla 8 **Tabla RE7**. Diferencias entre las anomalías anuales de precipitación (panel de la izquierda) y de temperatura media (panel de la derecha) para RCP8.5 y RCP4.5 en 2041 (1.5 °C) para HadGEM2-ES, GFDL-CM3 y MPI-ESM-LR (Figuras 2 y 3 del 3er reporte). Fuente: elaboración propia.

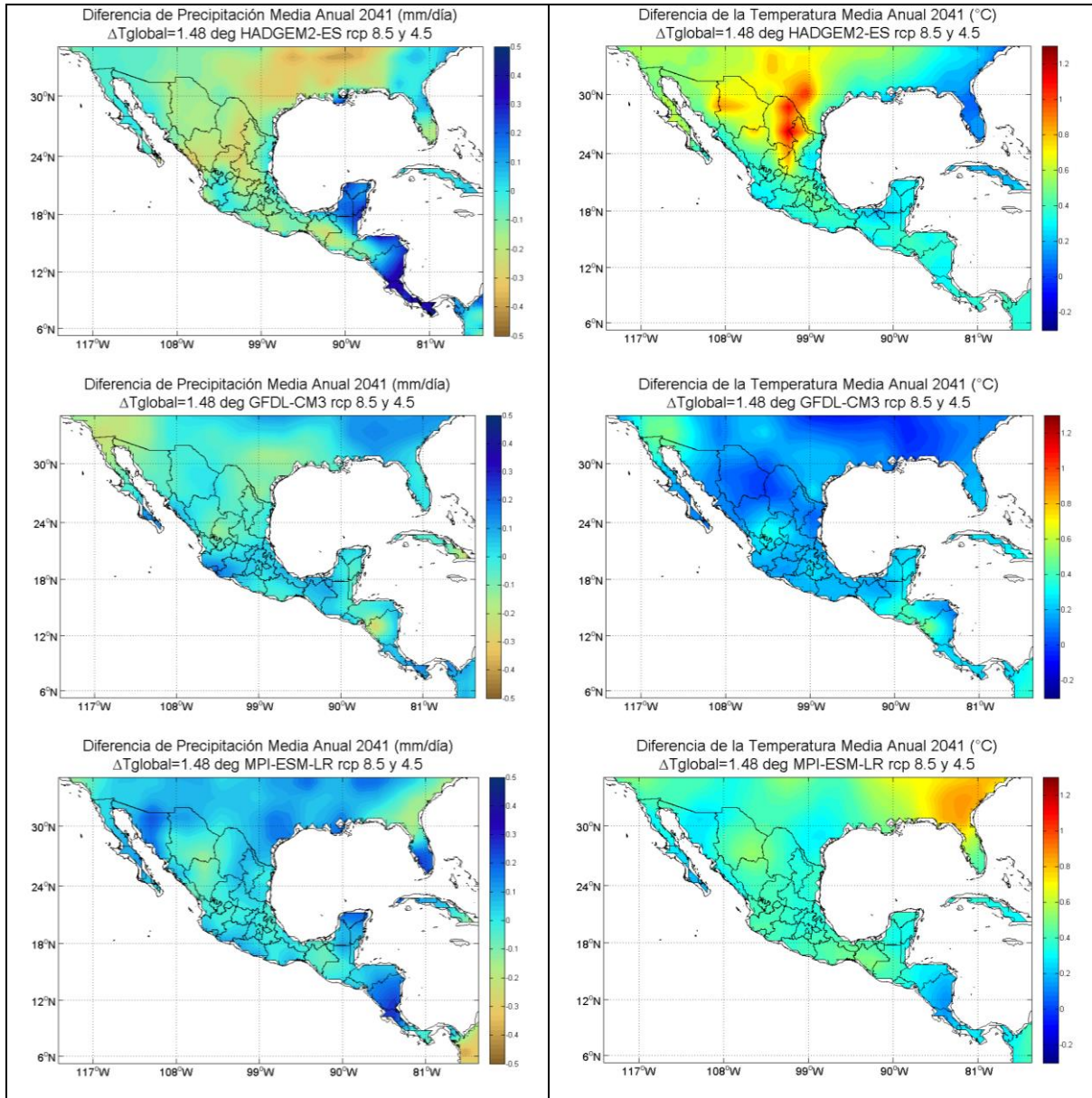


Tabla 9 **Tabla RE8.** Anomalías de precipitación anual (mm/día) de RCP8.5 y RCP4.5 para HadGEM2-ES, GFDL-CM3 y MPI-ESM-LR en 2041 (1.5 °C). Tabla A1 del 3er reporte. Fuente: elaboración propia.

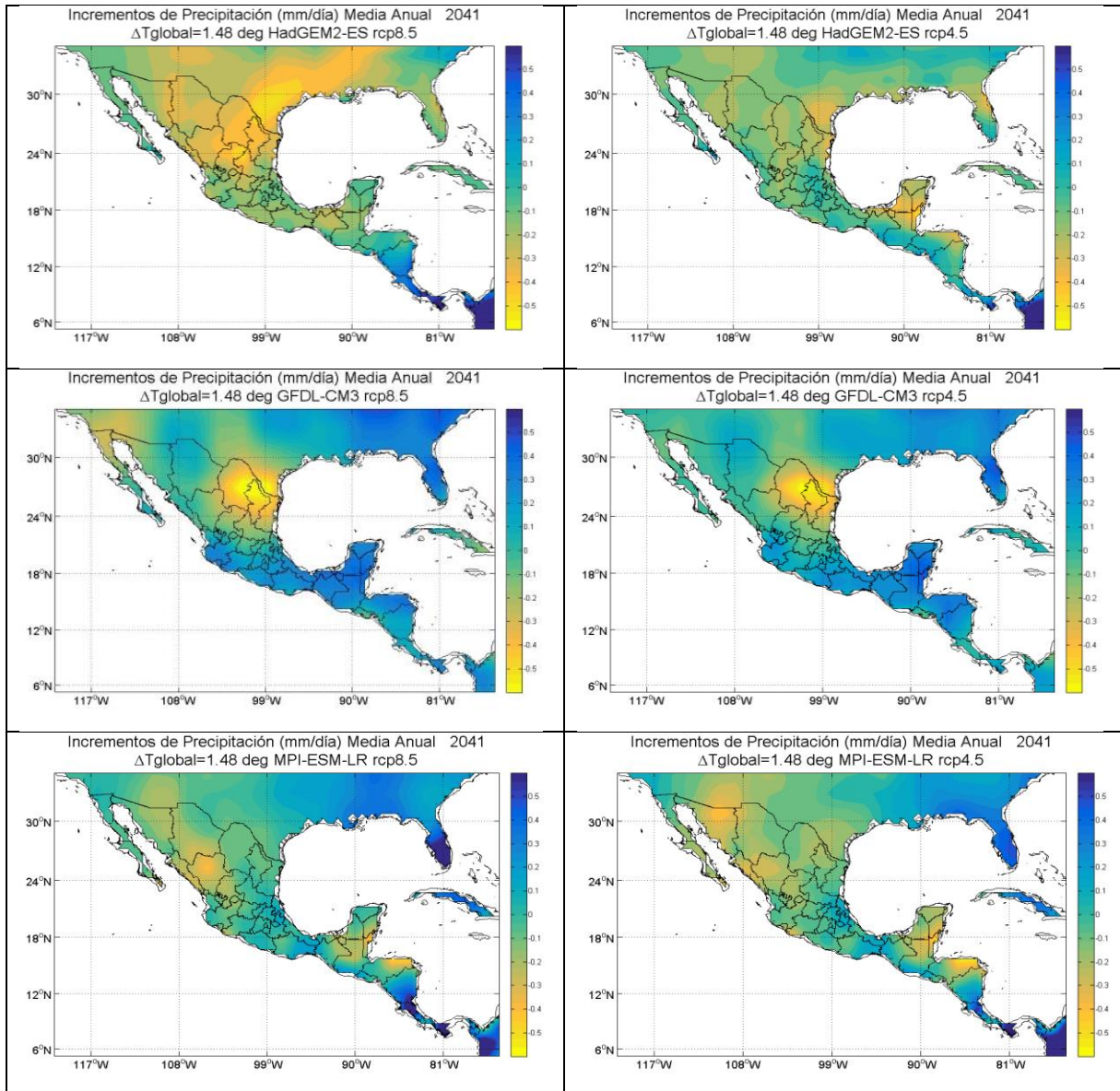
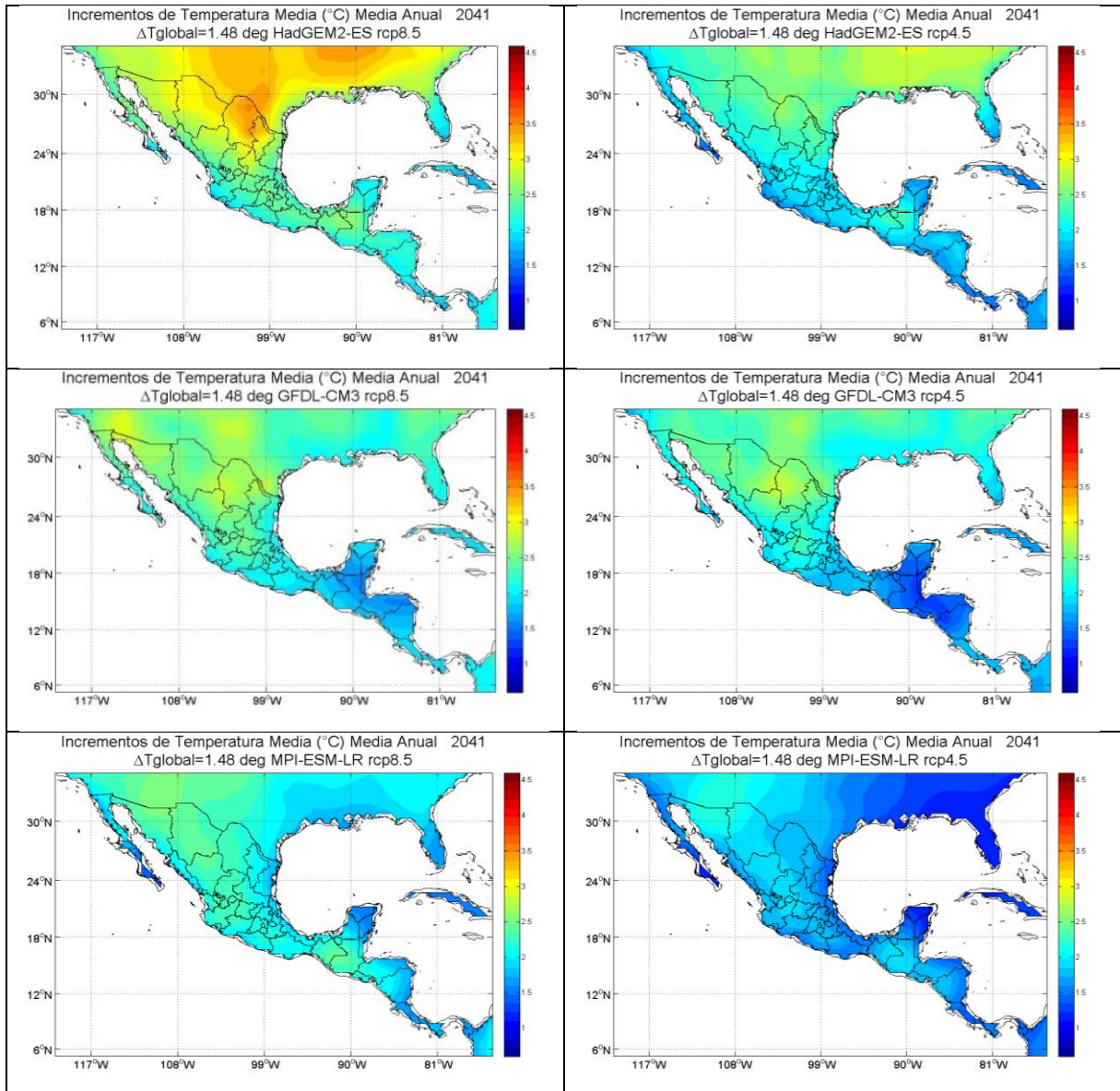


Tabla 10 **Tabla RE9.** Anomalías de temperatura media anual (°C) de RCP8.5 y RCP4.5 para HadGEM2-ES, GFDL-CM3 y MPI-ESM-LR en 2041 (1.5 °C). Tabla A2 del 3er reporte. Fuente: elaboración propia.



Elaboración de mapas

Para la segunda etapa de esta consultoría, los mapas se elaboraron a partir de las matrices de datos georreferenciados que proporciona el MAGICC/SCENGEN v5.3.

A partir de las matrices georreferenciadas se elaboraron las figuras en formatos jpg y png usando una licencia temporal gratuita del software MatLab, ajustando la resolución de los datos originales (2.5° x 2.5°) a una resolución mayor (0.5° x 0.5°) mediante el uso de un algoritmo de interpolación bilineal. Para el formato shapefile se empleó el software libre GDAL²⁸.

Los archivos de datos y los mapas se entregaron en un DVD (Escenarios AR4) en forma de carpetas comprimidas con archivos Geotiff y txt. Se incluyen también en dicho DVD mapas en formato shapefile y las figuras jpg y png, para los valores de las anomalías medias anuales de las dos variables. Los datos mensuales están todos en formatos Geotiff y Txt, jpg y png.

Tabla 11 **Tabla RE10.** Escenarios de cambio climático elaborados 2ª etapa. Fuente: elaboración propia.

AOGCM's	Horizontes de tiempo	Trayectorias de emisiones	Anomalías de variables climáticas	Mensuales	Anuales
2	3	1	2	12	1
HADGEM1	2030	5CO2	Precipitación	Ene - Dic	
GFDL-CM2.0	2041		Temperatura media		
	2051				

Total de mapas y datos: 2x3x1x2x13 = 156

Para la tercera etapa, los mapas fueron elaborados a partir de la información disponible en el sitio de internet del CMIP5²⁹, donde se encuentran los resultados de diferentes realizaciones de los AOGCM's preparadas para el AR5. Se utilizó software de acceso libre para manipularlos:

- CDO ☞ Climate Data Operators <https://code.zmaw.de/projects/cdo> ☞ y
- GDAL ☞ Geospatial Data Abstraction Library <http://www.gdal.org/> ☞

El CDO se usó para:

- 1.- Agrupar los datos por periodo de tiempo.

²⁸ Geospatial Data Abstraction Library.

²⁹ Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados fase 5, por sus siglas en inglés, sitio de internet: <https://esgf-node.llnl.gov/>

- 2.- Seleccionar, entre la base de datos, los horizontes 2030 ~~2015-2045~~, 2041 ~~2026-2056~~ y 2051 ~~2036-2066~~ que corresponden a las fechas en que se alcanzan los valores umbrales de incremento de temperatura de acuerdo con el escenario 5CO₂.
- 3.- Calcular la media climatológica de los horizontes 2030 ~~2015-2045~~, 2041 ~~2026-2056~~ y 2051 ~~2036-2066~~.
- 4.- Calcular las anomalías de los horizontes 2030 ~~2015-2045~~, 2041 ~~2026-2056~~ y 2051 ~~2036-2066~~ restando la climatología del periodo 1950-2000 de sus respectivas series históricas.
- 5.- Calcular media anual de las anomalías de los horizontes 2030 ~~2015-2045~~, 2041 ~~2026-2056~~ y 2051 ~~2036-2066~~.

El GDAL se usó para:

- 1.- Interpolan las medias mensuales y anuales a una resolución de 0.5° x 0.5°
- 2.- Dar formato raster datum elipsoide WGS84 ~~(con coordenadas geográficas)~~ a las matrices de datos.
- 3.- Recortar a la ventana 121°W, 5°N: 75°W, 35°N correspondiente a la República Mexicana.
- 4.- Eliminar los datos ubicados sobre el océano para que los mapas fueran consistentes con el dominio de la climatología 1950 -2000.
- 5.- Generar los archivos con formato Geotiff, txt y shapefile requeridos para esta consultoría.

El procedimiento se aplicó a las bases de datos correspondientes a las cuatro variables climáticas mensuales: precipitación, temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima, para cada uno de los dos RCP's (8.5 y 4.5) y para los tres AOGCM's: GFDL-CM3, HadGEM2-ES y MPIESM-LR.

Para elaborar las figuras en formatos jpg y png se empleó una licencia temporal gratuita del software MatLab. Para el formato shapefile se empleó el software libre GDAL.

Los archivos de datos y los mapas se entregaron en un DVD (Escenarios AR5) en forma de carpetas comprimidas con archivos Geotiff y Txt, se incluyen también en dicho DVD mapas en formato shapefile y las figuras jpg y png, para los valores de las anomalías medias anuales de las cuatro variables. Los datos mensuales están todos en formatos Geotiff y Txt.

El formato shapefile está diseñado para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de entidades geográficas, expresados como vectores, por lo que no es muy recomendable para la elaboración de mapas de escenarios de cambio climático cuyos datos están georreferenciados y pueden ser considerados como píxeles; para estos, es más adecuado usar datos ráster, como el formato Geotiff.

Tabla 12 **Tabla RE11.** Escenarios de cambio climático elaborados 3^a etapa (tabla 2 del 3er reporte). Fuente: elaboración propia.

AOGCM's	Horizontes de tiempo	Trayectorias de emisiones	Anomalías de variables climáticas	Mensuales	Anuales
3	3	2	4	12	1
HadGEM2-ES	2030	RCP8.5	Precipitación	Ene - Dic	
GFDL-CM3	2041	RCP4.5	Temperatura media		
MPI-ESM-LR	2051		Temperatura máxima		
			Temperatura mínima		

Total de mapas y datos: 3x3x2x4x13 = 936

2.4 Conclusiones

- La climatología seleccionada fue la de World Clim por tener un control de calidad más detallado y porque su periodo de referencia (1950 -2000) es más adecuado a los estudios de cambio climático que se realizan en nuestro país.
- El uso de los escenarios de emisiones lineales proporciona una referencia sólida y práctica para establecer incertidumbres en las fechas en que se pueden alcanzar los umbrales de incremento de temperatura media global, para AOGCM's de AR4 y AR5.
- Las trayectorias de emisiones asociadas con RCP8.5 y RCP4.5 están contenidas dentro de las trayectorias 5CO₂ y 0CO₂.
- Las incertidumbres en las fechas en que se alcanzan los umbrales de incrementos de temperatura media global 1.0, 1.5 y 2.0°C, los establecen las trayectorias de emisiones 5CO₂ y 0CO₂:

1.0 C	entre 2030 y 2048
1.5°C	entre 2041 y 2066
2.0°C	entre 2051 y 2100
- Las fechas estimadas por el escenario 5CO₂, constituyen una referencia primordial para implementar acciones de adaptación y/o mitigación, por parte de los tomadores de decisiones.
- El escenario 0CO₂ es congruente con el objetivo de llegar a 2.0°C de calentamiento para el año 2100.

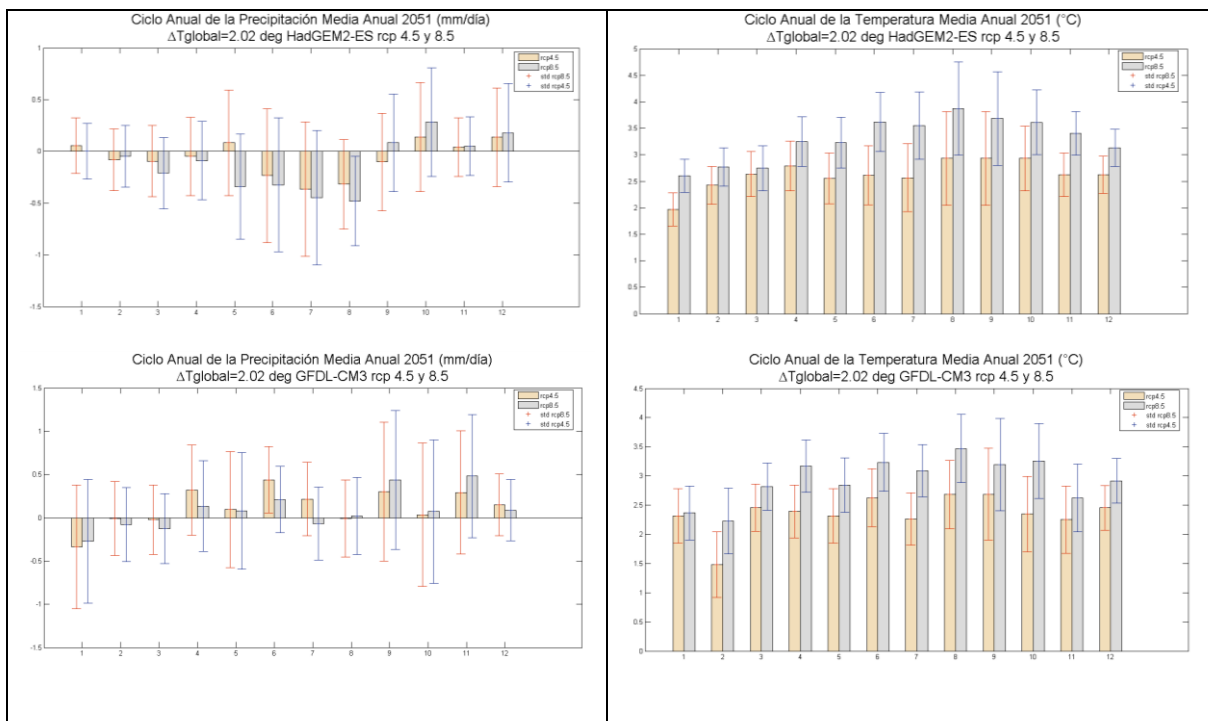
- Para los escenarios AR4 se elaboraron 156 mapas, mientras que para AR5 se elaboraron 936.
- Para el caso de los escenarios AR4, y en los meses de enero y julio, HADGEM1 estima incrementos de temperatura media mayores, que los que se muestran para el GFDL CM2.0 y para precipitación, ambos modelos estiman una disminución, ligeramente menor en el caso del GFDL CM2.0.
- Para el caso de los escenarios AR5, la comparación entre AOGCM's se hizo sobre las anomalías anuales de precipitación y temperatura media. Para precipitación HadGEM2-ES muestra mayor sensibilidad a los RCP's que los otros dos AOGCM's, los cuales muestran diferencias menores, GFDL-CM3 casi no discrimina entre los dos RCP's, y MPI-ESM-LR apenas registra una diferencia positiva. Para temperatura media HadGEM2-ES proyecta calentamiento y MPI-ESM-LR ligero enfriamiento para el año 2041, GFDL-CM3 muestra incrementos muy cercanos a cero.
- Respecto a las climatologías de referencia, MAGICC v5.3 usa el año 1990 para los incrementos de temperatura media global, en ese año el incremento de temperatura era de 0.421°C con respecto al nivel preindustrial (año 1765).
- MAGICC v6.0 tiene una actualización con valores observados de 0.49 para el año 1990.
- En este proyecto, se consideró usar el año de referencia de 1990 para la elaboración de los escenarios AR4 puesto que, al hacerlo con respecto a los niveles preindustriales, las fechas para alcanzar los umbrales propuestos se adelantarían a 2014 (1.0°C), 2030 (1.5°C) y 2041 (2.0°C), quedando fuera de los objetivos el umbral de 1.0°C. Ya hay estimaciones de que 1.5°C, con respecto al nivel preindustrial, se alcanzará en el año 2026³⁰.
- Para los escenarios AR5, las anomalías de las cuatro variables climáticas están calculadas con respecto a la media 1950 – 2000 de cada uno de los tres AOGCM estudiados, de modo que puedan ser usados con la climatología World Clim. Existe una diferencia de 0.153°C entre el nivel de incremento en la temperatura media global observada en el año 2000 (dato de MAGICC 6.0) y el valor respectivo en 1990 (dato de MAGICC v5.3).

Oportunidades

- Desarrollar este tipo de ejercicio usando modelos climáticos regionales diseñados para nuestro país.
- Emplear métodos alternativos para la estimación de incertidumbres, en las proyecciones a futuro de incrementos de temperatura, como los modelos de lógica difusa, la base para aplicar lógica difusa ya se estableció en este proyecto.
- Proponer escenarios simples de emisiones, con un grado aceptable de factibilidad, que tengan como objetivo reducir los niveles de calentamiento hacia el año 2100.

³⁰ <http://climateneutralnetwork.net/warming-exceed-1-5c-limit-2026/>

- Mejorar la resolución de los mapas, con fines de una mejor presentación. No olvidar que, aunque la resolución se puede aumentar por métodos geo-estadísticos, la información sustentada científicamente está restringida a la resolución original de cada AOGCM.
- Incluir, como parte de los objetivos específicos del proyecto, la realización de reuniones de intercambio de opiniones y retroalimentación con terceras personas, usuarios potenciales, de los escenarios de cambio climático, según lo permita la política de confidencialidad.
- Estudiar la incertidumbre de otras variables como el ciclo anual pues los patrones de lluvias podrían cambiar. La figura RE4 (panel izquierdo), muestra que para el HADGEM2-ES los cambios serán más drásticos al disminuirse la lluvia en el verano, en cambio para GFDL-CM3 y MPI-ESM-LR la canícula será más marcada. Lo anterior es importante para la toma de decisiones en cuestiones de adaptación, ya que puede tener mayores impactos que el cambio en la precipitación anual, por ejemplo, un cambio en las fechas de plantación de cultivos. Para la temperatura los cambios todos son positivos para los tres modelos, como puede apreciarse figura RE4 (panel derecho). La combinación del aumento de la temperatura y el cambio en la precipitación podría generar mayores impactos que el simple cambio en la precipitación. Estos rangos de incertidumbre pueden usarse para determinar cuáles pueden ser los escenarios con mayor impacto y mejorar los planes de adaptación hacia el futuro cercano (Horton et al., 2016)³¹.



³¹ Horton, R., Martin, S., De Mel, M., Bartlett, R., Solecki, W., & Rosenzweig, C. (2016). ADVANCE Partnership Adaptation for Development and Conservation. International Climate Change Adaptation Conference. Tomado de https://c402277.ssl.cf1.rackcdn.com/publications/879/files/original/Advance_Approach_web.pdf?1464012860

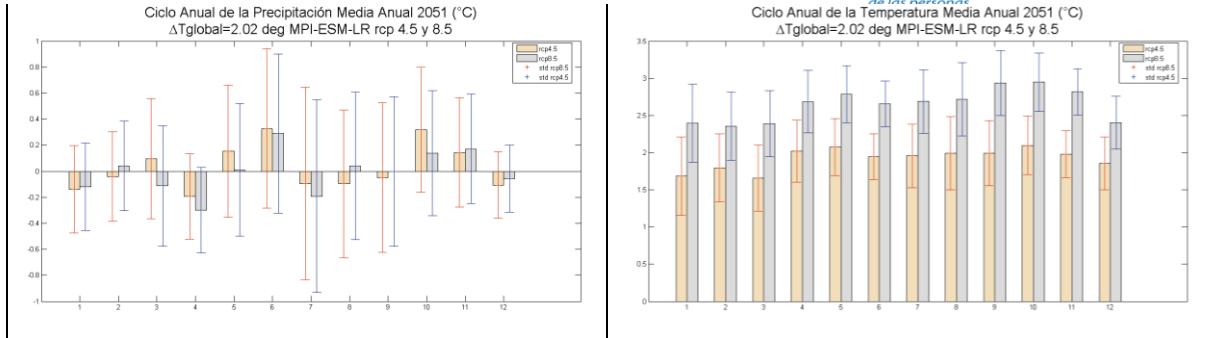


Figura 5 Figura RE4. Contraste entre los ciclos anuales de anomalías de precipitación (panel izquierdo) y temperatura media (panel derecho) para RCP8.5 y RCP4.5 proyectados con tres AOGCM's de AR5 para el año 2051 (umbral 2.0 con respecto a 1990). El diagrama representa el promedio espacial sobre la región de estudio.

Derechos Reservados © 2018

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña,
Delegación Tlalpan, CP. 14210, Ciudad de México.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Colonia Lomas de Chapultepec,
Delegación Miguel Hidalgo, CP.11000, Ciudad de México.

Este trabajo se realizó con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial a través del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo para la Sexta comunicación Nacional ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

