



---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS**  
**COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO A NIVEL MUNICIPAL  
PARA LA REPÚBLICA MEXICANA PARA EL AÑO 2030



**TESIS:**

PARA OBTENER EL GRADO DE  
**LICENCIADO EN GEOGRAFÍA**

PRESENTA:

*Aldo Castañeda Martínez*

ASESORA:

**Mtra. María de la Paz Medina Barrios**



Ciudad Universitaria, México, D.F. Julio del 2012.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

*Agradezco infinitamente la oportunidad del poder haber realizado esta tesis al Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) y en particular a el Área de Salud Ambiental, la cual esta dirigida por el Dr. Horacio Riojas Rodríguez, así como también a la Mtra. Magali Hurtado Díaz y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).*



## AGRADECIMIENTOS

A mi Asesora la Mtra. María de la Paz Medina Barrios y sinodales, la Dra. Laura Elena Maderey Rascón, a la Dra. Guadalupe Rebeca Granados Ramírez, al Mtro. Gilberto Núñez Rodríguez y a la Dra. Leticia Gómez Mendoza.

Al Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), dirección de Salud Ambiental al Dr. Horacio Riojas, la Mtra. Magali Hurtado, la Mtra. Sandra Rodríguez, Jaqueline Martínez, la Mtra. Grea Litai Moreno Banda y en general a su equipo de trabajo. Al área de Geografía Médica, al Ing. Rene Santos Luna, a la Ing. Evangelina Morales Carmona, a la Ing. Lilian Ochoa y a su grupo de trabajo. A Rosaura Pérez Hernández (INSP-TABACO) Al equipo de trabajo del grupo de cambio climático y radiación solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera.

A mis padres Inocente Castañeda y Dolores Martínez Contreras por darme la oportunidad de confiar en mí y apoyarme, a los que espero no defraudar. A mis hermanos Omar y Artemisa y mis sobrinos gracias por todo su apoyo.

A la banda Geográfica de los panchitos, los pandas... de la UNAM, a todos los camaradas con los que conviví en los buenos y malos momentos, por esas prácticas y fiestas tan inolvidables, amigas (os) y compañeros que ya saben quienes son. A Lazaro 'CAFE y a Chente (tacos). A Minerva López Quiroz por su apoyo incondicional en todo momento.

A los profesores que me impartieron clase y que durante toda la carrera compartieron sus conocimientos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México

UNAM

A todos ustedes por su apoyo y consideración

**¡Gracias!**

# CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN .....	8
JUSTIFICACIÓN .....	9
OBJETIVOS.....	10
HIPÓTESIS .....	11
DELIMITACIÓN DEL TEMA.....	11
ANTECEDENTES.....	12
CAPÍTULO I. LITERATURA .....	15
1.1 El Sistema Climático.....	15
1.2 El Cambio Climático .....	16
1.2.1 El Efecto Invernadero.....	19
1.3 Modelos Climáticos.....	21
1.3.1 Modelos de Circulación General Atmósfera-Océano Acoplados (MCGAO).....	25
1.4 Escenarios de Cambio Climático .....	28
1.5 Reducción de Escala (downscaling).....	31
1.6 México ante el Cambio Climático.....	34
1.7 Enfermedades en México: Dengue.....	37
CAPÍTULO II. DATOS Y METODOLOGÍA .....	38
2.1 Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar (GCCRS-CCA-UNAM).....	38
2.1.2 Escenarios de Cambio Climático para México .....	40
2.2 Programa de Cambio Climático en México (INE-SEMARNAT-CCA) .....	44
2.2.1 Sistema de Información de Escenarios de Cambio Climático Regionalizados (SIECCRe).....	46
2.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG) .....	48
2.3.1 Soporte SIG (ArcGIS) .....	51
2.4 Generación de Escenarios de Cambio Climático a nivel municipal .....	55
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	61
3.1 Resultados .....	61
3.2 Climatología 1950-2000.....	62
3.3 Anomalías para el año 2030 .....	64
3.3.1 Temperatura.....	64
3.3.2 Precipitación.....	67
3.4 Escenarios de cambio climático para el año 2030.....	71
CONCLUSIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA .....	81
ANEXO	

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema del sistema climático mundial, procesos e interacciones entre los diversos componentes (flechas delgadas) y procesos que pueden cambiar (flechas gruesas). (SIE-IPCC, 1997). .....	16
Figura 2. Cambios en los sistemas físicos y biológico por la temperatura superficial, 1970-2004. (AR4, 2007) .....	17
Figura 3. El efecto invernadero, imagen extraída del documento Cambio Climático y Salud Humana. (OMS, 2003).....	20
Figura 4. Comparación de modelos climáticos, de acuerdo a su alcance y complejidad. (SIE-IPCC, 1997). .....	24
Figura 5. Modelo de Circulación General Atmósfera-Océano. (A. Henderson Seller y K. McGuffie, 1990).....	25
Figura 6. Modelos de Circulación Global acoplados, con resolución aproximada de A) 300 km. B) 100 km.....	26
Figura 7. Modelos de Circulación General utilizados en el Cuarto Reporte de Evaluación del IPCC. (IPCC-WGI, 2007).....	27
Figura 8. Principales características de las cuatro líneas evolutivas y familias de escenarios. (IE-EE, 2000). .....	30
Figura 9. Técnica de anidamiento. ....	32
Figura 10. Representación metodológica del escalamiento dinámica y estadístico (CMA, 2010). .....	33
Figura 11. Comparación entre los cambios a escala continental y mundial, en un periodo de 1900-2000. (AR4, 2007).....	35

Figura 12. Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar. (GCCRyS-CCA-UNAM, 2011). .....	39
Figura 15. Escenarios de Cambio Climático. (GCCRyS-CCA-UNAM, 2011). Disponible en: <a href="http://www.atmósfera.unam.mx/cclimat/index.php?option=com_content&amp;view=article&amp;id=44&amp;Itemid=63">http://www.atmósfera.unam.mx/cclimat/index.php?option=com_content&amp;view=article&amp;id=44&amp;Itemid=63</a> .....	43
Figura 16. Cambio Climático en México. (INE-SEMARNAT, 2011). .....	44
Figura 17. Información por Estado y Sector. (INE-SEMARNAT, 2011). .....	45
Figura 18. Aspecto gráfico del formulario. (INE-SEMARNAT, 2011). .....	46
Figura 19. Sistemas de Información Geográfica. (ESRI-SIGSA, 2011).....	50
Figura 20. Software ArcGIS 10. (ESRI, 2012). .....	51
Figura 21. Interface para asignar un sistema de coordenadas. ....	57
Figura 22. Ejemplificación de una malla con resolución de 10km x 10km.....	58
Figura 23. Ventana de la interface de la herramienta Join Spatial.....	58
Figura 24. Join Spatial; asignación del punto Valor (Val) malla 10km x 10km al polígono (municipio).....	59
Figura 25. Climatología período 1950-2000 para temperatura Verano A) julio, e Invierno B) diciembre. ....	63
Figura 26. Climatología período 1950-2000 para precipitación, Temporada de lluvias inicio C) junio y fin D) octubre.....	63
Figura 27. Anomalías en la temperatura, A) mes de agosto y B) diciembre.....	65
Figura 28. Anomalías en la temperatura, A) mes de agosto y B) diciembre.....	66
Figura 29. Anomalías en la temperatura, A) mes de mayo y B) enero. ....	67

Figura 30. Anomalías en la precipitación, A) mes de junio y B) septiembre. ....	68
Figura 31. Anomalías en la precipitación, A) mes de septiembre y B) diciembre.....	69
Figura 32. Anomalías en la precipitación, A) mes de febrero y B) agosto.....	70
Figura 33. Escenarios de cambio climático A2, para temperatura modelos A) HADGEM1, Julio. B) MPI ECHAM 5, agosto. C) GFDL CM 2.0, septiembre. Climatología 1950-2000 + incremento al 2030.....	73
Figura 34. Escenarios de cambio climático para precipitación (climatología 1950-2000 + incremento) al 2030. ....	75



## INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.....	64
Tabla 2.....	65
Tabla 3.....	66
Tabla 4.....	68
Tabla 5.....	69
Tabla 6.....	71
Tabla 7.....	72
Tabla 8.....	73

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis forma parte del proyecto “Caracterización de la vulnerabilidad asociada al cambio climático en México y sus efectos locales en la salud” elaborado por la dirección de salud ambiental del Instituto Nacional Pública (INSP), dentro del marco de las recomendaciones emitidas en la Tercera Comunicación Nacional de México para el Instituto Nacional de Ecología (INE) y el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

El cual tiene como objetivo central, identificar y obtener datos específicos de los escenarios de cambio climático que mejor se adecuen a las condiciones espacio-temporales, tomando como referencia los objetivos planteados por el proyecto anteriormente mencionado, considerando el municipio como una escala espacial, los meses como escala temporal, y referido de una climatología base para la República Mexicana.

Así, el presente trabajo, procura aportar un conocimiento con un panorama que va de lo teórico y lo práctico, basado en áreas temáticas para tratar de comprender el sistema clima, el cambio climático y la importancia del método estadístico downscaling, así como también de los Modelos de Circulación General de la Atmósfera Océano Acoplados (AOMCG), los cuales consideran emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se han registrado en los últimos años y que en la actualidad son fundamentales para representar simulaciones del clima futuro, a fin de cuantificar el grado de vulnerabilidad de cierta región, considerando alternativas de desarrollo tecnológico, como son los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La fundamentación teórica, así como la perspectiva metodológica que sustenta este trabajo a lo largo del desarrollo del tema se ha organizado en tres capítulos de forma sintética para su mejor comprensión:

El Capítulo uno. Engloba la fundamentación teórica y básica, para la comprensión del fenómeno del cambio climático, así como de los métodos que implica el regionalizar salidas de Modelos de Circulación General Atmósfera Océano acoplados con Emisiones de

Gases de Efecto Invernadero (GEI). En el capítulo dos. Se abordan los datos validados existentes y la metodología para la integración de datos a nivel municipal con soporte SIG, para la generación de escenarios de cambio climático para la República Mexicana. Y finalmente en el capítulo tres. Se detallaran las principales aportaciones de la presente investigación mostrando los resultados de los escenarios de cambio climático para tres modelos Circulación General Atmósfera Océano acoplados (AOMCG) utilizados al 2030 y la climatología con período 1950-2000 de precipitación y temperatura para ambos casos, a nivel municipal para la República Mexicana.

De esta forma la elaboración de la presente tesis pretende representar un esfuerzo de coherencia respetuosa, tratando de que la elección de la literatura consultada sea la más adecuada a manera de contribuir en la generación de nuevas perspectivas y horizontes para la investigación, en materia de climatología.

En el anexo se podrán consultar los resultados completos obtenidos en el presente trabajo, como también en el formato digital se donde se podrán consultar los mapas.

## JUSTIFICACIÓN

El cambio climático constituye hoy, uno de los retos más importantes al que la humanidad se enfrenta. Hace apenas tres décadas este fenómeno era una cuestión prácticamente desconocida para la mayoría de la población, la sociedad en general y los gobiernos no mostraban interés por este fenómeno. A principios de los años ochenta del siglo xx surgió una oleada de investigaciones en diversos campos y disciplinas importantes, como la meteorología, la geografía, la economía, la ecología, la sociología, el derecho internacional, y muy recientemente como sistema dinámico complejo; esto ha ocasionado entre los científicos una búsqueda interdisciplinaria por comprender mejor el clima.

Así, la presente tesis, está orientada en la representación cartográfica de los escenarios sobre el clima futuro, a partir de proyecciones climatológicas de variables de temperatura y precipitación de los posibles incrementos para el año 2030 a nivel municipal, a fin de integrar dichas proyecciones en un índice de amenaza climática, para la evaluación de la

vulnerabilidad climática futura. Tomando como parte fundamental cierto umbral de información, ante la necesidad de realizar análisis a escalas menores, basadas en información cartográfica-estadística, obtenida de la presente tesis y aplicada en el proyecto de investigación llamado “Caracterización de la vulnerabilidad asociada al cambio climático en México y sus efectos locales en la salud” del Instituto Nacional Pública (INSP). El cual pretende construir escenarios de cambio climático sobre enfermedades asociadas a este fenómeno, como Dengue y Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs), para estimar posibles repercusiones de los impactos del cambio climático en el bienestar de la salud humana y tratar de identificar las zonas más vulnerables ante este fenómeno en la República Mexicana.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Identificar los escenarios regionales de cambio climático con que cuenta actualmente la República Mexicana, a fin de estimar los posibles cambios en la temperatura y precipitación para el año 2030.

### Objetivo particular

- Describir los modelos de circulación general y el método reducción de escala (downscaling), como herramienta básica para realizar las proyecciones con la cual se adaptaron los escenarios regionales para México.
- Modelar los cambios en temperatura y precipitación para el año 2030 a nivel municipal para República Mexicana.
- Generar mapas basales del período (1950-2000) para la República Mexicana a nivel municipio, de temperatura y precipitación.

## HIPÓTESIS

El utilizar modelos de Circulación general de la Atmósfera y Océano Acoplados (AOGCMs), permitirá obtener escenarios de cambio climático regionalizados para la República Mexicana, que posibilitaran representar y simular potencialmente la variabilidad del clima futuro a nivel municipal, para diversos estudios de interés.

## DELIMITACIÓN DEL TEMA

Como parte del proyecto “Caracterización de la vulnerabilidad asociada al cambio climático en México y sus efectos locales en la salud” del Instituto Nacional Pública (INSP), el área de estudio de la presente investigación contempla una perspectiva regional, estacional (mensual) y diferencial según la geografía de cada región, situada dentro de una escala espacial a nivel municipal contemplando los 2 454 municipios y en un contexto nacional integrado por 32 entidades federativas del territorio mexicano, que responde a la desagregación de las variables epidemiológicas y climatológicas, debido a que estos factores a nivel municipal tienen un importante impacto en salud.

De esta forma, la información considerada para generar los escenarios de cambio climático para la República Mexicana para el año 2030, se fundamentaron en las bases teóricas realizadas por el proyecto del INSP mencionado anteriormente, así como en las recomendaciones que en su momento se emitieron en colaboración del Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Autónoma de México (GCCRS-CCA-UNAM), en la selección de los datos que se requerían para la integración y elaboración de las proyecciones de los escenario de cambio climático en la salud.

Así, la información seleccionada comprende un conjunto de tres Modelos de Circulación General de Atmósfera y Océano acoplados (MCGAOs), MPI ECHAM 5, HADGEM1 y GFDL CM 2.0, los cuales se emplearon en la Tercera Comunicación Nacional de México, debido a que representan razonablemente el clima regional en México, con un escenario de emisiones A2, el cual constituye un mundo futuro heterogéneo, con un elevado

crecimiento poblacional y moderado crecimiento económico, características que podrían ser consistentes con el tipo de desarrollo observado a las circunstancias de México, además de una climatología de 1950-2000, como línea basal para tener una visión general sobre la representación del clima histórico. La descripción detallada de los modelos se puede encontrar más adelante en la presente tesis.

Los escenarios de cambio climático para el año 2030, se eligieron porque eran los más difundidos, debido a que están bajo el supuesto de que los combustibles de origen fósil mantendrán su posición dominante en el conjunto mundial de fuentes de energía en un futuro cercano, así también porque en su momento no se disponían de escenarios de cambio climático para el año 2020, con datos validados para México.

## ANTECEDENTES

El cambio climático se ha convertido en uno de los principales retos para la ciencia actual, ya que es un fenómeno que se presenta en distintas escalas y con distintos grados de complejidad, el cual requiere abordarse desde un enfoque interdisciplinario e integral.

Desde hace algunas décadas, los reportes del Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático IPCC (IPCC, AR4), se ha dedicado a analizar y evaluar la información científica necesaria para abordar el problema del cambio climático, a fin de formular estrategias de respuesta realistas, en las cuales se ha llegado a un consenso internacional con base a evidencias sólidas que demuestran un calentamiento global del planeta, ocasionado por la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, debido a las diversas actividades humanas.

Los informes del IPCC, han estimado con un alto grado de confianza, un calentamiento de la superficie terrestre en un 0.74 °C durante el siglo XX, y tan sólo en las últimas cuatro décadas la temperatura se ha incrementado en un 0.52 °C, donde once de los últimos doce años de 1995-2006, se han destacado por ser los más cálidos según registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial, desde 1850, reflejándose en un acelerado derretimiento de grandes masas de nieve y un aumento promedio del nivel del mar.

Así también, el IPCC ha elaborado escenarios de cambio climático, los cuales muestran un umbral para las diferentes proyecciones realizadas para el presente siglo, donde se indican un incremento en las temperaturas globales entre un 1.8 y 5.4 °C, bajo distintos escenarios de emisiones, así como un aumento de 0.4°C para los próximos veinte años independientemente de un escenario de emisiones y un calentamiento adicional de 0.1 °C por cada década, contemplando ondas de calor drásticas, precipitaciones intensas, mayor probabilidad de ciclones y huracanes tropicales, repercutiendo sobre la biodiversidad, los ecosistemas, los mantos acuíferos, la agricultura, así como en el desarrollo económico y considerablemente en la salud pública, ya sea directa o indirectamente.

México no es la excepción ante los diversos impactos del cambio climático que se están produciendo a nivel global y ha considerado adoptar los escenarios planteados por el IPCC, como una herramienta fundamental con la cual se dispone actualmente para proyectar el clima asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con el objetivo de desarrollar estudios de carácter interinstitucional para planificar estrategias de adaptación y mitigación, de forma nacional, regional o local.

Sin embargo, en México existen pocos estudios dedicados al sector salud, en contraste con los documentados por los sectores del agua y la agricultura, que figuran entre los más importantes para el ser humano y que analicen o evalúen los posibles efectos del cambio climático en el bienestar y la salud humana, a pesar de los conocimientos sobre las relaciones entre el clima y la salud, documentados a lo largo de nuestra historia y que han aumentado considerablemente en los últimos diez años.

Es así como, el estudio de país en la Tercera Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la cual coordina la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través del Instituto Nacional de Ecología (INE), por primera vez incluyó en su informe, un diagnóstico sobre los posibles impactos del cambio climático en la salud humana para la República Mexicana, emitido por el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), donde recomienda realizar mayores investigaciones para identificar las poblaciones más

vulnerables en la salud humana debido al cambio climático, y de igual forma el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2004) propone realizar estimaciones futuras, a partir de escenarios climáticos con respecto a la etiología de cada enfermedad y a la población, para entender los efectos del cambio climático en la salud.

En este sentido, el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), mediante la Dirección de Salud Ambiental, realizó un primer estudio llamado “Caracterización de la vulnerabilidad asociada al cambio climático en México y sus efectos locales en la salud” el cual se desprende de la recomendación de la Tercera Comunicación Nacional de México, este estudio consiste en hacer una evaluación de las tasas de incidencia del Dengue y Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs) a nivel municipal con datos de línea basal de temperatura y precipitación con período de 1950-2000, integrando un factor ponderador porcentual con base a las anomalías de temperatura y precipitación, bajo tres Modelos de Circulación General de Atmósfera y Océano acoplados (MCGAOs), MPI ECHAM 5, HADGEM1 y GFDL CM 2.0 y un escenario de Cambio Climático (A2), para el año 2030. A partir de esta información, se construirán escenarios de cambio climático con los cuales se identificarán los factores que hacen a las poblaciones vulnerables en términos de salud.

De esta forma, la presente tesis se desprende del proyecto mencionado anteriormente, el cual fundamenta el conocimiento de la elaboración de escenarios de cambio climático para México, incorporando metodologías que sustentan la obtención de los resultados y de los datos que permitieron orientar y alcanzar los propósitos para dicho proyecto del INSP, los cuales se integraron para el informe de la Cuarta Comunicación Nacional de México, publicado en el año 2009.



## CAPÍTULO I. LITERATURA

### 1.1 El Sistema Climático

El clima de la Tierra está determinado por complejas interacciones entre el Sol, los océanos, la atmósfera, las tierras emergidas y la biosfera, de tal forma que el Sol es la principal fuerza determinante del tiempo y clima, debido al calentamiento desigual en la superficie terrestre, que da lugar a los diversos cambios vistos a lo largo de la historia del planeta (Maderey, 1982), ver Figura 1

Estos cambios hacen referencia a los estados que presenta la atmósfera en distintos lugares de la superficie terrestre, donde intervienen los conceptos de tiempo y clima, cuya diferencia es fundamental destacar. Climatólogos destacados como Julius Hann y Max Score, conceptualizan al clima como el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un determinado lugar de la superficie terrestre y el segundo considera al clima como la serie de estados de la atmósfera (Tiempo) sobre un lugar en su sucesión habitual (Maderey, 1982).

De este modo, se tiene que *“ambos conceptos se complementan de tal manera que para determinar el clima es necesario por una parte, definir, a través de las características atmosféricas las condiciones medias existentes en una región dada, y por la otra, conocer los tipos de tiempo que explican esas condiciones”* (Maderey, 1982).

Por tanto, el tiempo es el estado continuamente cambiante de la atmósfera, considerando en general una escala cronológica que puede ir de minutos a semanas, y el clima; estado medio de las capas inferiores de la atmósfera, conforme a las características de la tierra de una región concreta generalmente durante un mínimo de 30 años (OMS, 2003).

*“Así se pueden distinguir sucesiones frecuentes de tipos de tiempo que dan lugar al clima”* (Maderey, 1982). Considerando adecuado que la variabilidad del clima es la variación con respecto al clima medio, incluidas las variaciones estacionales y los ciclos regionales a gran

escala de las circulaciones atmosféricas y oceánicas, como El Niño-Oscilación Austral (ENOA) o la Oscilación del Atlántico Norte (OMS, 2003).

“En un sentido más amplio, el clima es el estado del sistema climático en términos tanto clásicos como estadísticos” (OMM, 2007).

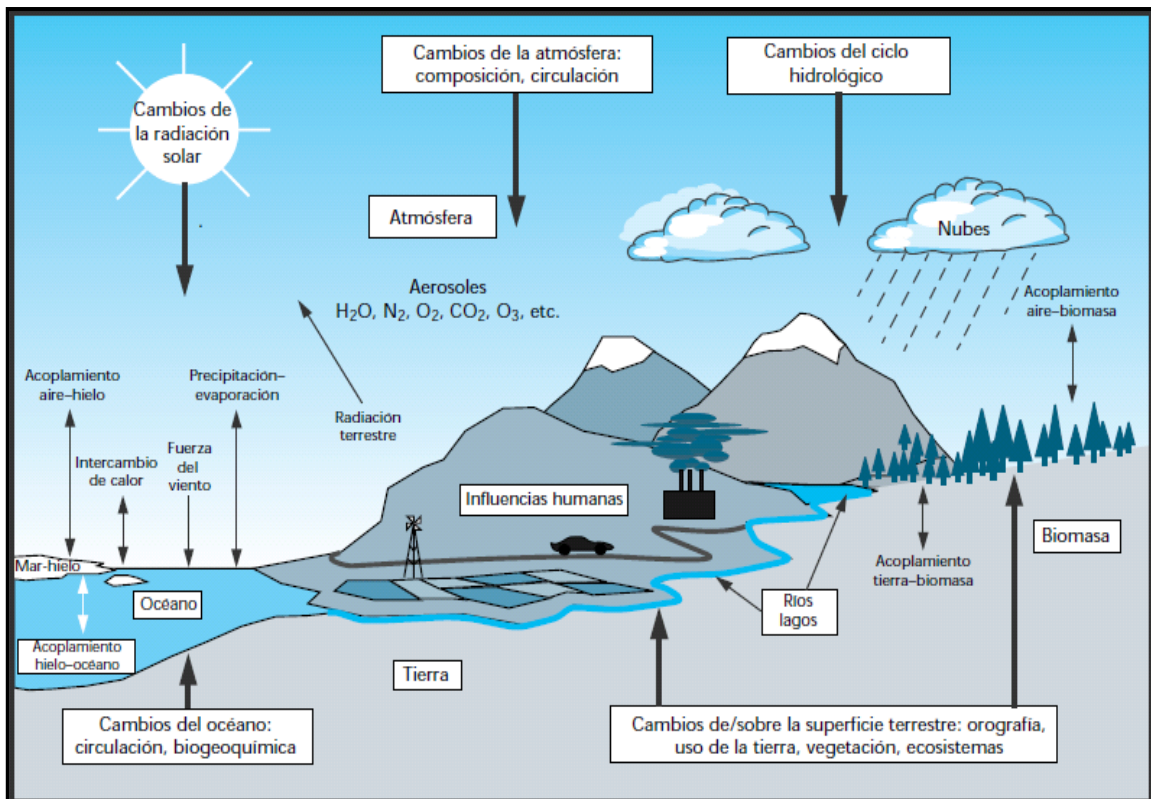


Figura 1. Esquema del sistema climático mundial, procesos e interacciones entre los diversos componentes (flechas delgadas) y procesos que pueden cambiar (flechas gruesas). (SIE-IPCC, 1997).

## 1.2 El Cambio Climático

Una de las principales preocupaciones para la sostenibilidad futura de nuestro desarrollo, dado su impacto no solo en numerosos sectores socioeconómicos de la actividad humana, sino también reflejado en el sistema biótico a nivel mundial ha sido atribuible al cambio climático.

Este fenómeno ha despertado gran interés sobre todo en la última década de este siglo, donde investigadores han llevado a cabo un enorme esfuerzo científico y tecnológico para

explicar las posibles causas de este fenómeno y tratar de predecir la tendencia futura para tomar medidas preventivas de mitigación y adaptación (Consejería de Medio Ambiente, 2007).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), en su artículo 1 publicado en 1992, menciona que el cambio climático es “el cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad del clima observada durante períodos de tiempo comparables”, como se muestra en la Figura 2, donde se hace una distinción entre el “cambio climático”, atribuible a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera, y la “variabilidad del clima”, atribuible a causas naturales, desde el año 1970 al 2004 con un aumento gradual de -1.0 a 3.5 °C (CMNUCC, 1992).

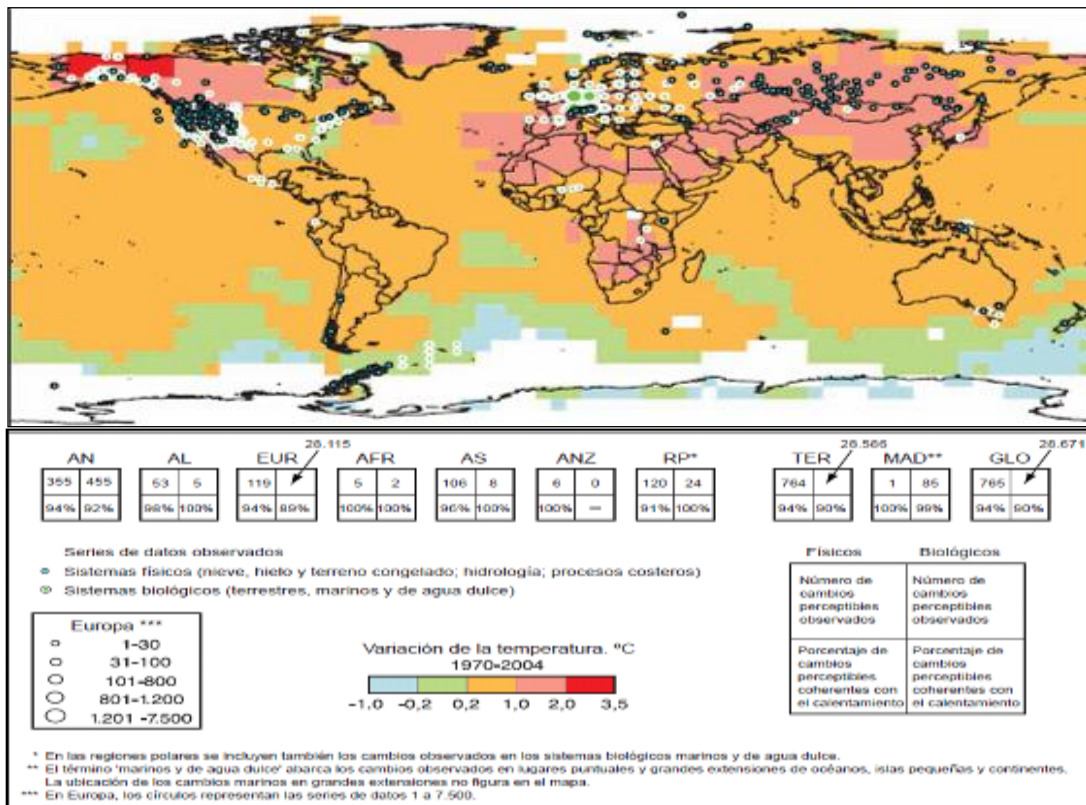


Figura 2. Cambios en los sistemas físicos y biológico por la temperatura superficial, 1970-2004. (AR4, 2007)

Mientras que el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), es un grupo de científicos de todo el mundo creado por la Organización

Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1988, dedicado a evaluar bibliografía científica publicada en el mundo (OMS 2003), hace referencia al cambio climático como *“un estado del tiempo identificable en cuanto a las variaciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima en todas las escalas temporales y espaciales de un fenómeno en particular”* esta variabilidad se debe a procesos naturales internos dentro del sistema climático, así como a variaciones en el forzamiento externo natural o antropógeno (IPCC, 2001).

En este sentido, dadas las definiciones mencionadas anteriormente, es necesario considerar la distinción entre el cambio climático global, producido por los procesos naturales a lo largo de la historia del planeta y el inducido por la actividad humana.

Durante siglos o milenios los cambios en el clima del planeta se habían producido de manera natural, por procesos internos y externos; internos como el de la deriva continental, la actividad volcánica y externos; como la energía solar y la rotación e inclinación de la tierra principalmente (OMS, 2003), aunque en los últimos decenios estos cambios causados de manera natural, han sido influenciados y asociados a la actividad humana (Conde, 2006).

A partir de la revolución industrial y hasta la actualidad los procesos industriales siguen vigentes, de manera más intensa y extensa desarrollándose básicamente con la quema de combustible fósiles (petróleo, gas y sus derivados, como la gasolina) aunado a una acelerada pérdida de bosques y vegetación en distintas regiones de la superficie terrestres, estas acciones humanas hacen que se modifique y afectan de forma directa e indirectamente a la composición de la atmósfera (Conde, 2006).

En este sentido el IPCC sugiere una influencia humana discernible en el clima global, con un nivel de confianza del 90%, atribuida al calentamiento observado en cuanto a las concentraciones de GEI (gases de efecto invernadero) causada de manera entrópica y que inciden en los patrones de temperatura y precipitación del planeta (IPCC, 2007). (Figura 3)

### 1.2.1 El Efecto Invernadero

El efecto invernadero, al igual que el cambio climático es un proceso natural, acción fundamental para que ocurra el fenómeno del cambio climático, debido al incremento de las concentraciones de la cantidad y variedad de algunos de los gases que la componen, estos gases de efecto invernadero están presentes en la atmósfera (PNUMA, 2005; INE, 2010).

La atmósfera de manera natural es una mezcla de varios gases y aerosoles (partículas sólidas y líquidas en suspensión), (Garduño, 2004), compuesta por 78.1% de nitrógeno, 20.9% de oxígeno, y el restante 1% por otros gases, entre los que se encuentran el argón, el helio, y algunos gases de efecto invernadero, como el bióxido de carbono (0.035%), el metano (0.00015%), el óxido nitroso (0.0000016%) y el vapor de agua (0.7%) (INE, 2010), que está integrada como de cinco capas que envuelven al planeta, la más baja (troposfera) se extiende del nivel del suelo hasta los 10-12 km de altitud; en ella se desarrolla el tiempo que afecta a la superficie terrestre. La siguiente capa importante (la estratosfera) que llega hasta unos 50 km de la superficie; el ozono que contiene, absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta de alta energía del Sol. Por encima de la estratosfera existen tres capas más: la mesosfera, la termosfera y la exosfera (OMS, 2003).

De esta forma, la atmósfera reduce la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre atrapando el calor emitido por la Tierra y manteniéndola dentro de esta, proceso conocido como efecto invernadero, este fenómeno depende en gran medida a las características de la atmósfera dado a que es la que impide o permite el paso de la energía solar, así como de las formas en que esta la presenta y la que modula la intensidad de este fenómeno, sin embargo no todo el calor se mantiene en la atmósfera ya que una parte regresa al espacio exterior (OMS, 2003). En la Figura 3, se ejemplifica este proceso.

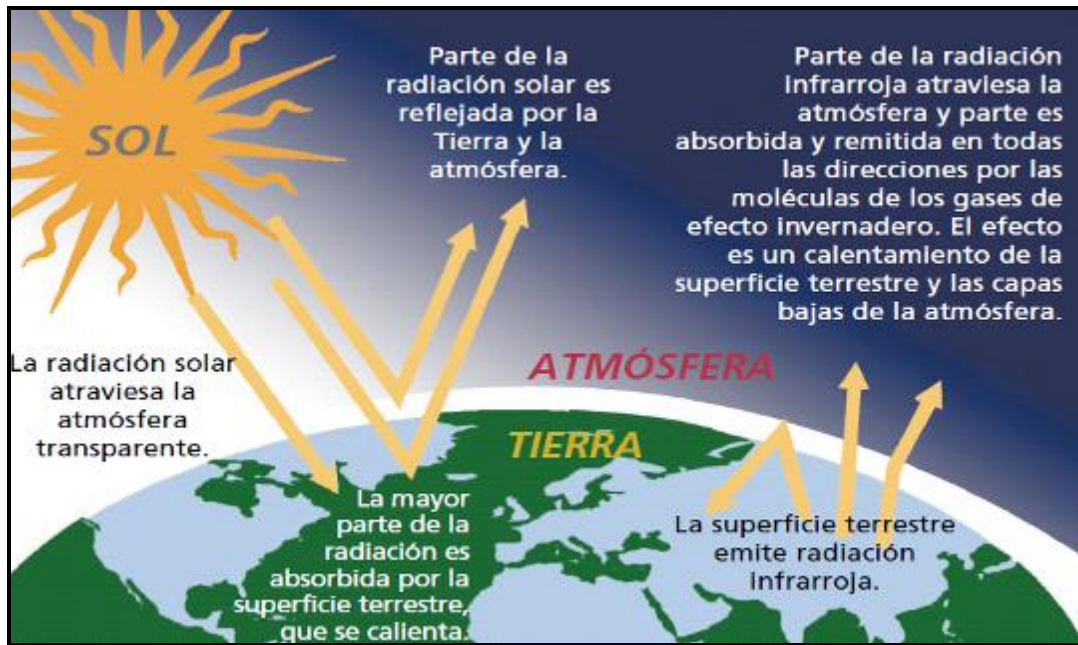


Figura 3. El efecto invernadero, imagen extraída del documento Cambio Climático y Salud Humana. (OMS, 2003).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), define como gases de efecto invernadero a los gases que conforman la atmósfera, tanto naturales como antropógenos que absorben y emiten radiación infrarroja. Los gases de efecto invernadero naturales mantienen y regulan la temperatura en la Tierra, así como la vida en ella son los siguientes:

- Vapor de agua ( $H_2O$ )
- Bióxido de carbono ( $CO_2$ )
- Metano ( $CH_4$ )
- Óxido nitroso ( $N_2O$ )
- Ozono ( $O_3$ )

Por otra parte tenemos a los gases producidos por la actividad humana:

- Bióxido de carbono ( $CO_2$ )
- Metano ( $CH_4$ )
- Óxido nitroso ( $N_2O$ )
- Perfluorometano ( $CF_4$ ) y perfluoroetano ( $C_2F_6$ )
- Hidrofluorocarbonos (nombres comerciales: HFC-23, HFCS-134a, HFC-152a)
- Hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ )

Estos gases generados por la actividad humana han alterado el volumen y la proporción de los gases de efecto invernadero en la atmósfera durante los últimos años,

contribuyendo a un calentamiento suplementario en el planeta llamado cambio climático, cabe señalar que estos gases están regulados por CMNUCC y por su Protocolo de Kioto el cual contiene 6 categorías que son las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero atribuibles a la actividad humana (INE, 2010).

- Energía (Consumo de combustibles fósiles y Emisiones fugitivas de metano)
- Procesos Industriales
- Solventes
- Agricultura
- Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS)
- Desechos

De tal manera, que lo que pareciera un fenómeno de efecto invernadero benéfico para el desarrollo y existencia del planeta, se ha convertido en un tema preocupante, resultado de la misma actividad humana expuesta a este fenómeno.

### 1.3 Modelos Climáticos

El ser humano desde inicios de la civilización ha tratado de entender el mundo que lo rodea y de esta forma beneficiarse o reducir peligros que lo acechan, siendo así el pronóstico de las condiciones atmosféricas de gran ayuda para determinar las temporadas de migración, cacería, recolecta y de cultivo (Magaña, 2010; FCEA, 2012).

De esta forma los primeros métodos de predicción se realizaban de forma empírica, incorporando el estudio de períodos estacionales y posteriormente se elaboraron modelos numéricos que trataban de representar la relación entre los elementos climáticos, pero dada la complejidad de estos sistemas, se promovió la creación de máquinas que fueran capaces de desarrollar los modelos propuestos, dando lugar a la primera computadora multifuncional ENAC, del MIT, con la que se desarrolló el primer modelo climático (FCEA, 2012).

Un modelo climático es un intento de simulación de los múltiples procesos que originan el clima, dicha simulación se basa mediante la descripción del sistema climático en términos de leyes físicas básicas, compuesto por una serie de funciones matemáticas que expresan estas leyes, si el modelo contiene suficientes elementos de los componentes del sistema climático para efectuar simulaciones del clima, se denomina “*modelo climático*” (McGuffie & Henderson Seller, 1990; IPCC, 1997).

En otras palabras un modelo de simulación climática, es un complejo desarrollo de funciones matemáticas que contempla las leyes de la termodinámica que rigen el movimiento atmosférico, dadas estas funciones matemáticas es posible integrar en el espacio (a lo largo de todo el planeta y la atmósfera) y en el tiempo, poder simular el comportamiento global del sistema a futuro, obteniendo una simplificación del mundo real (FCEA, 2012).

Para que un modelo se considere válido y representativo de los procesos naturales se debe tener en cuenta el conjunto del sistema climático, así como la integración de todas las interacciones entre los componentes, los cuales deben ser considerados como los principales para la simplificación en la construcción o comprensión de un modelo climático como a continuación se define (McGuffie & Henderson Seller, 1990; FCEA, 2012):

- *Radiación*: La forma en que son tratadas la entrada y absorción de la radiación solar y la emisión de la radiación infrarroja.
- *Dinámica*: El movimiento de energía alrededor del globo (específicamente, desde las latitudes bajas a las altas) y movimientos verticales (es decir, convección).
- *Procesos de la superficie*: Inclusión de la tierra/océano/hielo y el cambio resultante en el albedo, el poder de emisión y los intercambios de energía superficie/atmósfera.
- *Resolución en el tiempo y el espacio*: El intervalo de tiempo del modelo y las escalas horizontales y verticales determinadas.



Dichos componentes, consideran cuatro modelos básicos, denotando una jerarquización debido a que presentan diferentes niveles de complejidad dimensionalidad y resolución espacial, cada uno de los modelos globales que se describen a continuación, proporcionan diversas respuestas para diversas cuestiones de estudio, entre otros modelos existentes (McGuffie & Henderson Sellar, 1990; IPCC, 1997):

- 1) *Los modelos de balance de energía (MBE)* son modelos unidimensionales, que predicen la variación de la temperatura de la superficie (estrictamente, el nivel del mar) con la latitud. Se utilizan relaciones simplificadas para calcular las condiciones que contribuyen al balance de energía en cada zona latitudinal.
- 2) *Los modelos unidimensionales radiativos-convectivos (RC)* calculan el perfil vertical de la temperatura (normalmente con el valor medio global), mediante la modelización explícita de los procesos radiativos y una corrección convectiva que establece un gradiente preestablecido.
- 3) *Los modelos dinámico-estadísticos bidimensionales (DE)* tratan explícitamente los procesos de la superficie y la dinámica en un marco promediado zonalmente y tiene una atmósfera establecida verticalmente.
- 4) *Los Modelos de circulación general (MCG)* incorporan el carácter tridimensional de la atmósfera o el océano. En estos modelos se intenta representar la mayoría de procesos físicos considerados como importantes.

Hay que tener en cuenta que cada modelo del sistema climático varía continuamente con respecto a su alcance y complejidad, por alcance se refiere al número de componentes incluidos y a complejidad se entiende el nivel detalle con que se trata cada uno de los componentes del modelo, en la Figura 4 se muestran los modelos (IPCC, 1997).

Por lo tanto, un modelo climático no es una bola de cristal, el cual debe de entenderse como una herramienta científica, sofisticada que tiene como objetivo comprender procesos y predecir los efectos de los cambios y las interacciones del sistema climático, que ayudan a pronosticar los climas futuros, ya que su funcionamiento solo puede ser probado con respecto al clima pasado o actual, considerando que incluso los modelos más sofisticados son representaciones aproximadas de un sistema muy complejo, de forma que nunca podrán ser una guía fiable para el futuro (McGuffie & Henderson Seller, 1990; FCEA, 2012).

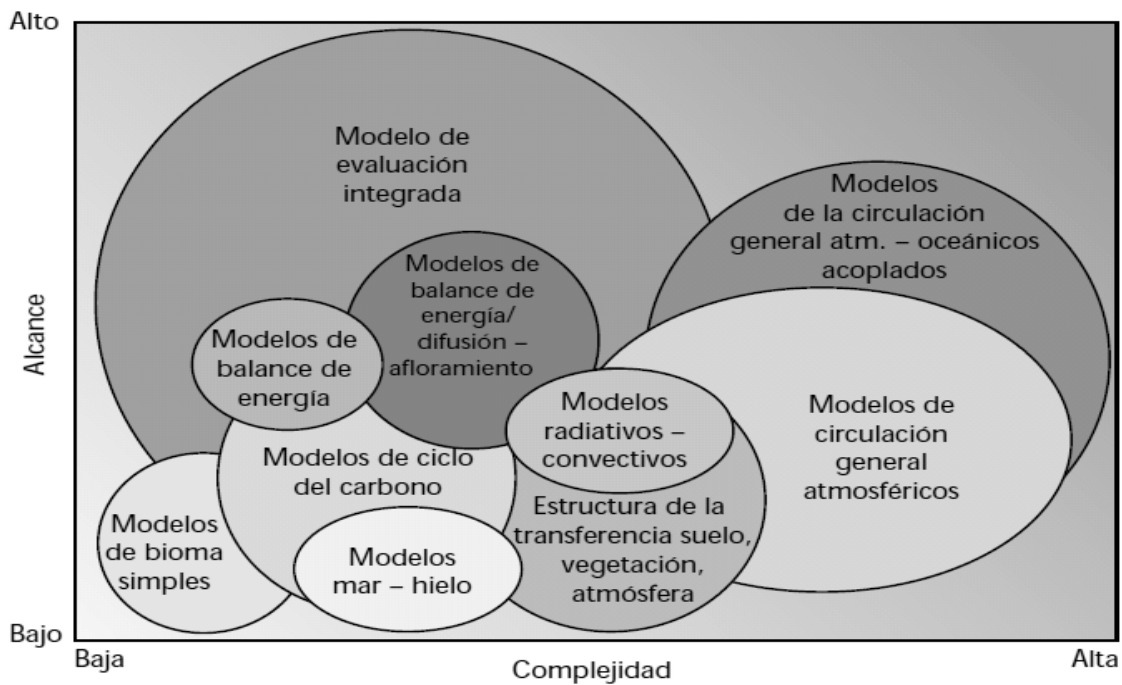


Figura 4. Comparación de modelos climáticos, de acuerdo a su alcance y complejidad. (SIE-IPCC, 1997).

### 1.3.1 Modelos de Circulación General Atmósfera-Océano Acoplados (MCGAO)

La herramienta más completa y avanzada con que se dispone actualmente para el estudio del clima, es el conjunto de Modelos de Circulación General de la Atmósfera y Océano Acoplados (AOGCMs por sus siglas en inglés Atmosphere-Ocean General Circulation Models), que se desarrollan en un reducido número de centros de investigaciones internacionales de investigación climática, estos modelan la tridimensionalidad completa de la atmósfera (intercambios verticales y horizontales de momento, calor y humedad), incluyendo un submodelo de la capa de mezcla del océano (de momento, calor y salinidad) y una serie de otras características, véase Figura 5, (McGuffie & Henderson Seller, 1990; Rodríguez, 2006; Conde & Gay, 2008).

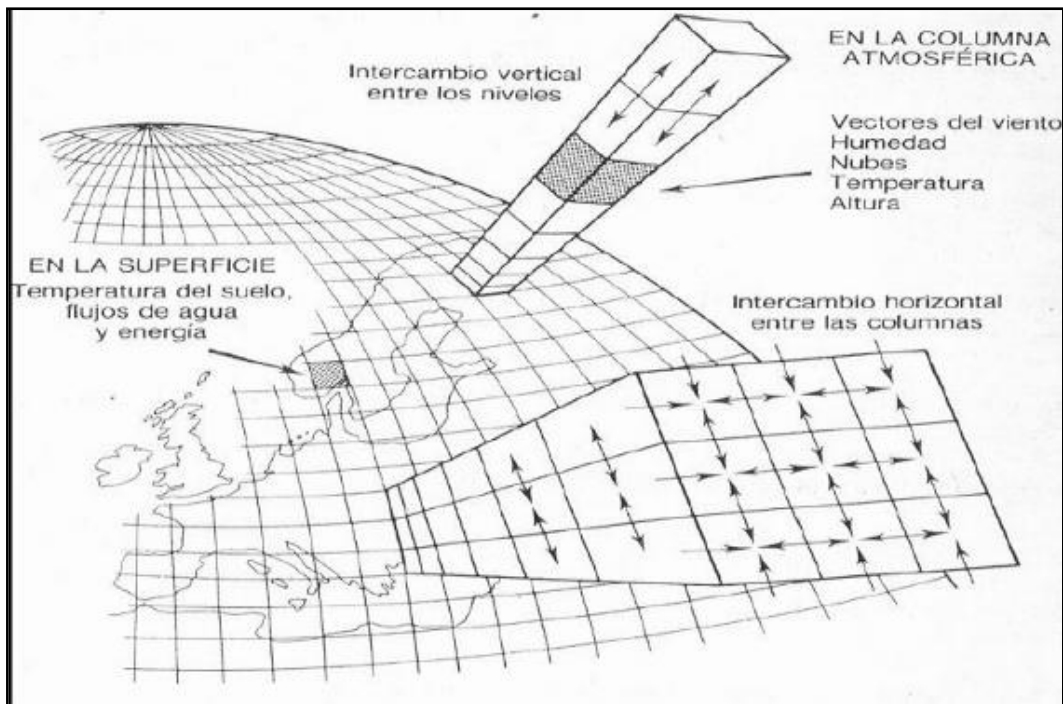


Figura 5. Modelo de Circulación General Atmósfera-Océano. (A. Henderson Seller y K. McGuffie, 1990).

Estos se basan en una serie de expresiones matemáticas, formuladas a partir de leyes fundamentales de física que simulan una gran variedad de procesos que ocurren entre los diversos subsistemas climáticos a diferentes escalas espaciales y temporales, compuestos por tres componentes primarios (SENAMHI, 2005; Conde & Gay, 2008):

- *La dinámica del sistema del clima* que describe el movimiento a gran escala de las masas de aire y el transporte de la energía y momentum.
- *La física del sistema climático* tal como transmisión de la radiación a través de la atmósfera, la termodinámica, y la evaporación. Otros factores tales como *la interacción océano-atmósfera*, topografía, y parámetros de la vegetación. El objetivo de los MCGAO, es tratar de representar los componentes mencionados anteriormente con la mayor precisión posible, especificando las condiciones atmosféricas en una retícula de puntos, obtenidos dividiendo la superficie de la Tierra en una serie de rectángulos formando una red regular, cada punto especifica la condición de la superficie y de otras capas de la atmósfera, como se ejemplifica en la Figura 5 y Figura 6, (McGuffie & Henderson Seller, 1990).
- La exactitud del modelo estriba en gran medida en la resolución espacial de los puntos de la retícula con espacios de  $3^\circ$  y  $5^\circ$  de latitud y longitud, teniendo un intervalo de tiempo aproximadamente de 30 minutos con una resolución vertical que se obtiene dividiendo la atmósfera desde seis hasta quince niveles (McGuffie & Henderson Seller, 1990).

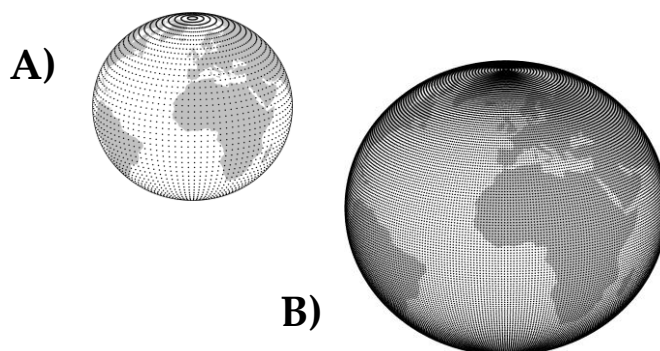


Figura 6. Modelos de Circulación Global acoplados, con resolución aproximada de A) 300 km. B) 100 km.

Aunque los MCGAO están basados con las mismas ecuaciones de movimiento que un modelo de predicción numérica del tiempo (PNT), los MCGAO corren a mayor tiempo, es decir años en un sentido estadístico, tiempo suficiente para comprender mejor el clima, a diferencia de los PNT que son instrumentos de predicción del tiempo a corto plazo (1-3 días) y a mediano plazo (de 4 a 10 días), (SENAMHI, 2005).

De esta manera los MCGAO son capaces de aproximarse a las condiciones probables de la atmósfera real y proveer información útil para diversas investigaciones. Sin embargo las limitaciones de los resultados de los MCGAO, hacen imposible aplicarlos a estudios de cambio climático y particularmente en las concentraciones de gases de efecto invernadero, por tener una resolución de 200 a 300 km véase Figura 6, aproximadamente considerando que actualmente el clima no solo está condicionado por los factores a gran escala, sino también por factores regionales o locales (SENAMHI, 2005; Conde & Gay, 2008).

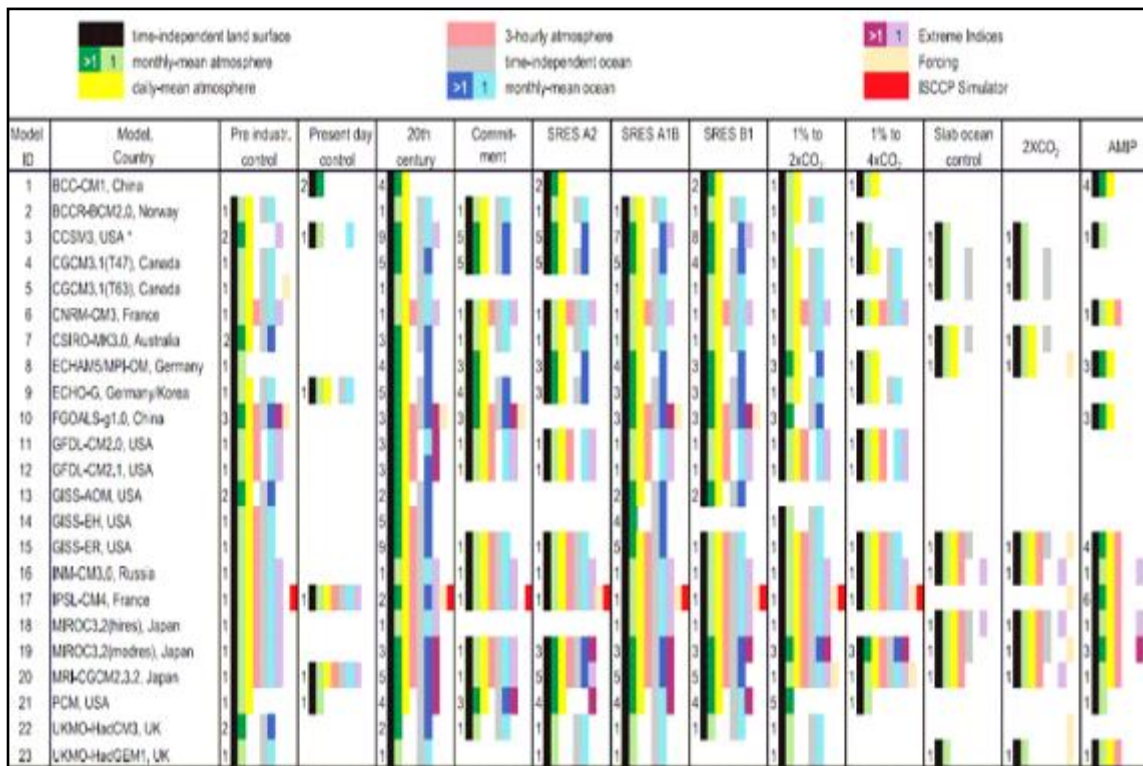


Figura 7. Modelos de Circulación General utilizados en el Cuarto Reporte de Evaluación del IPCC. (IPCC-WGI, 2007).

El IPCC en su cuarto informe AR4 en su grupo de trabajo I, ha generado un mayor número de simulaciones para las proyecciones de cambio climático, con diferentes modelos de circulación general tipo de variables y corridas para cada uno de ellos, en la Figura 7 se muestran los principales modelos que ha considerado el IPCC.

#### 1.4 Escenarios de Cambio Climático

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) refiere a que el incremento por emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se ha ido incrementado gradualmente a partir de la revolución industrial y derivado de la actividad humana, principalmente por los cambios de uso de suelo y mayormente por el dióxido de carbono, ocasionado por la quema de combustibles fósiles en un 80%, un quinto las de metano (CH<sub>4</sub>) y una cantidad significativa de las de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), así como los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos (HCs) y monóxido de carbono (CO), estos últimos aunque no son considerados gases de efecto invernadero, influyen en los ciclos químicos de la atmósfera que crean o destruyen otros gases de efecto invernadero, como el ozono troposférico ( PNUMA & CMNUCC, 2003).

En consecuencia, en 1992 el IPCC publicó los primeros escenarios de emisiones que sirvieron de base para los modelos de circulación general (MCGAO), con la finalidad de desarrollar escenarios de cambio climático llamados *“escenario IS92”*, estos escenarios globales estimaban todos los gases de efectos invernadero descritos anteriormente, y para 1996 desarrollo un nuevo conjunto que serviría de base para el Tercer y Cuarto Informe de Evaluación cuales fueron documentados por el IPCC e ideados por Nakicenovic y otros en el *“Reporte Especial de Escenarios de Emisiones”* en el año 2000, estos consideran una amplia gama de las posibles condiciones de un desarrollo global, dado por diversas fuerzas determinantes tales como el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico o el cambio tecnológico para el período de 1990 al 2100 (IPCC, 2000; Agencia Estatal de Meteorología, 2009), según el IPCC, *“un escenario de cambio climático es*

*una imagen alterna que representara la influencia y evolución de los GEI”, de diversas fuerzas determinantes junto a las relaciones climatológicas, resultando una posible descripción simplificada del clima futuro, y sirviendo como base para las proyecciones climáticas de los MCGAO (Conde & Gay, 2008).*

Existen dos grandes familias de escenarios, los “A” que describen un mundo futuro con alto crecimiento económico y los “B” dicho crecimiento es más moderado, los escenarios A1 y B1 consideran un desarrollo globalizado donde sus economías convergerán, y los A2 y B2 supone un desarrollo más regional, adicionalmente existe un escenario llamado COMMIT el cual idealiza un escenario donde todos los países están al margen de las emisiones de GEI, bajo el protocolo de Kyoto (Conde & Gay, 2008; Magaña, 2010).

Así, cada escenario representara específicamente una de las cuatro líneas evolutivas cualitativas como se muestran en la Figura 8, las cuales se basan en un cambio o tendencia demográfica, social, económica, tecnológica y medioambiental, proporcionando cuatro conjuntos de escenarios denominados “familias” (IPCC, 2000):

- 1) *La línea evolutiva y familia de escenarios A1 describe un mundo futuro con un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados del siglo y disminuye posteriormente, existe una introducción de tecnologías nuevas, la cual se caracteriza por una convergencia entre regiones. En esta familia se desarrollan tres grupos que describen direcciones alternativas del cambio tecnológico en el sistema de energía como la utilización intensiva de combustibles de origen fósil (A1FI), utilización de fuentes de energía no de origen fósil (A1T), o utilización equilibrada de todo tipo de fuentes (A1B).*
- 2) *La familia de líneas evolutivas y escenarios A2 describe un mundo muy heterogéneo, su características es la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales, 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.

- 3) *La familia de líneas evolutivas y escenarios B1 describe un mundo convergente con una misma población mundial, similar a la línea evolutiva A1, pero con rápidos cambios de las estructuras económicas orientados a una economía de servicios y de información, se da importancia a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y medioambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima.*
- 4) *La familia de líneas evolutivas y escenarios B2 predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. La población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con niveles de desarrollo económico intermedios, y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional.*

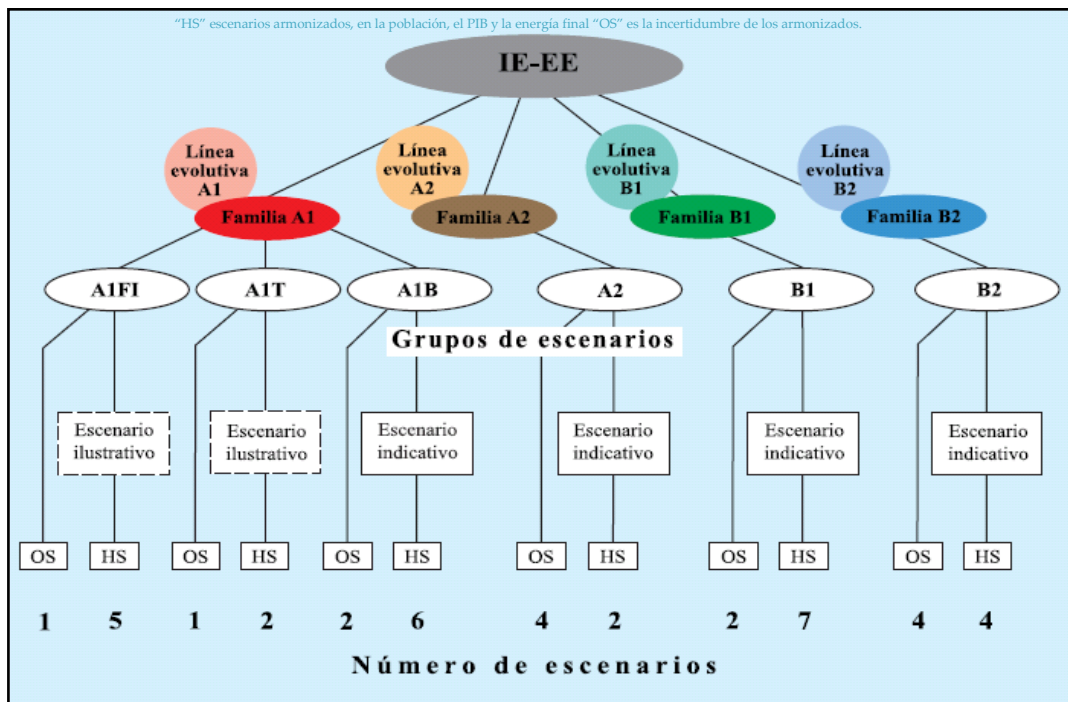


Figura 8. Principales características de las cuatro líneas evolutivas y familias de escenarios. (IE-EE, 2000).



## 1.5 Reducción de Escala (downscaling)

En los últimos años diferentes iniciativas internacionales y nacionales, han priorizado su interés por obtener información adecuada que permita conocer las variaciones del clima futuro en variables de temperatura y precipitación no solo a nivel global, sino también a nivel regional o local, para poder llevar a cabo estudios de impacto y planes de adaptación ante el cambio climático (Gutiérrez J. M. et al., 2010).

Es así, como las proyecciones climáticas realizadas con MCGAO para escenarios de emisiones alternativos, proporcionan información valiosa para simular la variabilidad del clima futuro (Rodríguez 2006). Sin embargo no es la adecuada ante la necesidad de estimar la magnitud de los posibles impactos potenciales a nivel local de una zona en particular, debido a que las proyecciones climáticas carecen de una suficiente resolución espacial-temporal a nivel global, y no considera la heterogeneidad regional del clima que en gran medida está condicionada por la fisiografía del lugar (Magaña, 2010).

Por ello, aunque la información que proporcionan los MCGAO no sea la adecuada, resulta fundamental para la utilización de técnicas de escalamiento llamada reducción de escala espacial (Downscaling) estadísticas o dinámicas, la cual consiste en adaptar las proyecciones o salidas globales de un MCGAO a una escala más pequeña asociada con información adicional de orografía, fisiografía, etc. (Rodríguez 2006). Así de esta forma se pueden obtener escenarios de cambio climático regionales que representaran los elementos del clima regional que no aparecen en los MCGAO (Magaña, 2010).

El método de reducción de escala se complementa de dos técnicas de escalamiento de las salidas de MCGAO (Conde & Gay, 2008; Gutiérrez J. M. et al., 2010; Magaña, 2010):

- 1) *El escalamiento dinámico* utiliza modelos regionales (RCM, del inglés Regional Climate Model), de un área limitada, anidando la información de este en un modelo global únicamente de la zona de interés véase Figura 9 y Figura 10. Algunos ejemplos de modelos de escalamiento dinámico más populares que existen son el MM5 y RegCM3 desarrollados por los proyectos como el

PRUDENCE en Europa, o NARCCAP para Norte América integrado por instituciones científicas de Estados Unidos, Canadá y México, el PRECIS del centro Hadley o el Instituto de Investigación Meteorológica de Japón con el Simulador de la Tierra, estos dos últimos cubren en su totalidad a México, Centroamérica y el Caribe.

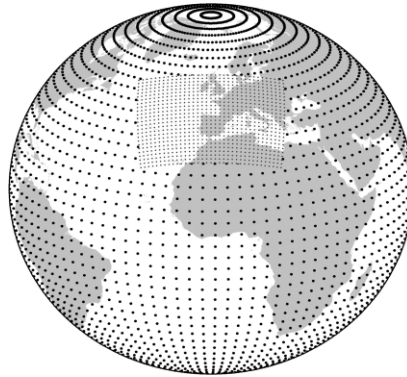


Figura 9. Técnica de anidamiento.

- 2) *El escalamiento estadístico* utiliza modelos estadísticos empíricos para calibrar las salidas de los MCGAO en función del clima local observado, basado en un registro histórico de por lo menos de 30 años, en la Figura 10, se muestra este tipo de escalamiento. El *Climate Predictability Tool* (CPT), desarrollado por International Research Institute for Climate and Society (IRI), de Estados Unidos <http://iri.columbia.edu>, y el Statistical Downscaling Method (SDSM) son herramientas estadística que permite reducir la escala espacial de salidas de MCGAO, el primero esta basado en la corrección de errores sistemáticos de pronósticos estacionales regionalizadas, el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, cuenta con una versión con la que se pueden procesar gran cantidad de datos y reducir la escala para los modelos que plantea el IPCC-AR4.

El *Statistical Downscaling Method* (SDSM) es el más conocido utilizado por el IPCC AR4 y en diversos estudios de cambio climático regional, la cual se basa en una regresión lineal múltiple a un punto, basada en técnicas que permiten reducir el error del modelo como:

- Funciones de transferencia, basados en regresiones lineales y no lineales para inferir las relaciones entre los predictandos locales y los predictores de larga escala,
- Relación patrones de relación entre el clima local y el de gran escala, estas son construidas a partir de una clasificación de patrones de circulación y sus relaciones con condiciones de tiempo.
- Generadores estocásticos de tiempo, es una técnica de desagregación de escala temporal, mensual, estacionaria o diaria, y simula estocásticamente una serie de valores diarios consistente con una climatología prevista.

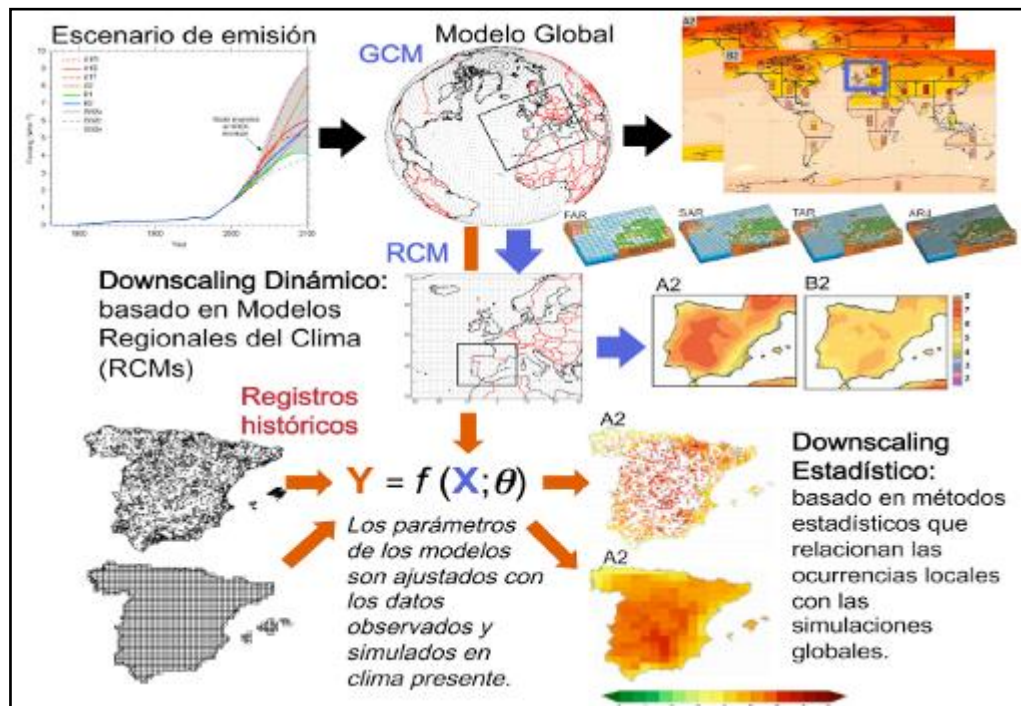


Figura 10. Representación metodológica del escalamiento dinámica y estadístico (CMA, 2010).

Por lo tanto, la técnica de reducción de escala no solo es un simple proceso de interpolación de una malla de baja resolución a una de alta resolución, ya que el simple procesos de sumar una anomalía del MCGAO a una climatología de alta resolución a quedado de lado, dando lugar a los principios físicos y probabilísticos que determinan condiciones locales a partir de información de baja resolución en la actualidad (Conde & Gay, 2008).

## 1.6 México ante el Cambio Climático

El IPCC en su Cuarto Informe sobre Cambio Climático establece que el calentamiento del sistema climático es inequívoco y evidente, observándose en las temperaturas globales promedio de la atmósfera- océanos, el derretimiento de la nieve-hielo y en el aumento global del nivel medio del mar debido a la acumulación e incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera causados por la actividad humana, véase Figura 11, donde se muestran las comparaciones entre los cambios naturales y antropógenos.

En este contexto los efectos del cambio climático para el caso de América Latina y el Caribe son de gran consideración ya que se prevé un calentamiento de 1° a 4° C de acuerdo a diferentes modelos para un escenario B2 y de 2 a 6° C para un escenarios A2 para finales de siglo (Conde & Saldaña, 2007).

México no es la excepción a este calentamiento previsto y actualmente el país contribuye con 1.5% de las emisiones mundiales, ocupando el lugar 14 entre los países que más emiten GEI en América Latina, siendo uno de los principales países que más contribuye a las emisiones totales de esta región (Salazar y Masera 2010), la posición geográfica, las condiciones climáticas, la orografía e hidrología, así como su situación económica y social, hacen que México sea considerado como una de las zonas más vulnerables del mundo ante el cambio climático (SGNU, 2012).

La vulnerabilidad de México está relacionada con diversos eventos naturales como es el caso en particular del fenómeno El niño y la niña, se estima que los efectos de estos fenómenos se incrementaran a consecuencia del cambio climático exponiendo al país a fuertes eventos climáticos intensificándose las ocurrentes sequías severas y lluvias del norte y centro del país (INE-SEMARNAT, 2006; SGNU, 2012).

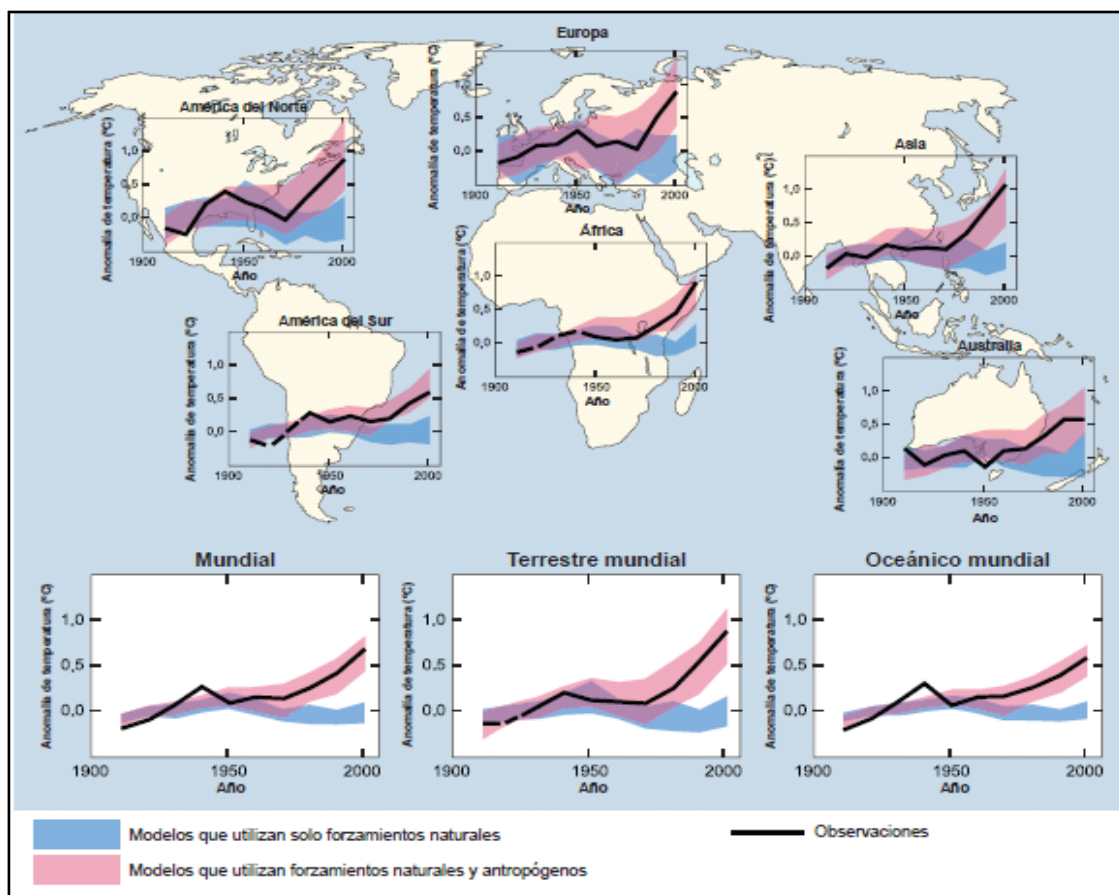


Figura 11. Comparación entre los cambios a escala continental y mundial, en un periodo de 1900-2000. (AR4, 2007).

Un estudio realizado por el INE considera que hay diez sectores vulnerables debido a los impactos del cambio climático, entre los que destacan por su vital importancia para el país:

- 1) *La agricultura*: se contempla que para el 2030 la sobreexplotación y contaminación de los acuíferos provoque que todos los distritos de riego sean económicamente

inviabiles y que para 2050 cambie drásticamente entre 5 y 29% la aptitud del suelo para poder cultivar maíz u otros cereales.

- 2) *La salud*: estimaciones del INE considerará que los factores de riesgo de muertes por golpes de calor se incrementarán en los próximos años, algunas zonas serán más vulnerables a enfermedades como el dengue o el paludismo, así como gastrointestinales e infecciosas, afectando principalmente a niños y ancianos.
- 3) *El agua*: para los veranos de 2020 y 2050 se prevén aumentos en la temperatura media entre uno y tres grados centígrados, así como disminución en las precipitaciones de 5 a 10% anualmente, lo que provocará menor disponibilidad de agua.

También señala que los estados más afectados por esta situación en mayor o menor medida serán Baja California, Sonora, Sinaloa, la región hidrológica de Lerma, las zonas al sur de México y la península de Yucatán (Uribe, 2010).

Antes estas circunstancias, La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) reconoce la necesidad de adaptarse al cambio climático, y especifica que la asistencia estaría disponible para “Los países en desarrollo que son particularmente vulnerables a los efectos adversos del cambio climático, al hacer frente a los costos de adaptación a estos efectos adversos” (INE-SEMARNAT, 2006).

De esta manera, México ha tomado acciones para integrar las agendas de cambio climático y la de gestión de riesgos de desastres con la finalidad de desarrollar estrategias integrales como (SGNU, 2012):

- El Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 un enfoque de prevención, gestión de riesgos y adaptación ante fenómenos hidrometeorológicos y el cambio climático.
- Institucionalizar la articulación de ambas agendas (Cambio Climático y Gestión de Riesgos en desastres) a través de la Comisión intersecretarial de Cambio Climático.

- la Estrategia Nacional de Cambio Climático que incluye líneas de acción para atender la gestión de riesgos a desastres.
- Preparación del Programa Especial de Cambio Climático que identificará acciones específicas para reducir los riesgos a desastres.

Acciones que contribuirán en la comprensión de las prácticas de adaptación (*la capacidad de respuesta del ser humano para realizar ajustes y disminuir los impactos del cambio climático*), en la reducción de vulnerabilidad (*la susceptibilidad de una localidad, región o país frente a los impactos causados por el cambio climático*) y mitigación (*encontrar medidas para evitar emisiones, ya sean tecnológicas, políticas o de alguna otra índole*) frente al cambio climático (INE-SEMARNAT, 2006; Salazar & Masera, 2010).

### 1.7 Enfermedades en México: Dengue.

La identificación, cuantificación y predicción de los impactos del cambio climático en la salud plantea retos relacionados con la escala, la especificación de la "exposición" y la elaboración de cadenas causales, a menudo complejas e indirectas.

En primer lugar, la mayoría de los investigadores no están familiarizados con la escala geográfica de las repercusiones del clima en la salud ni con los normalmente dilatados periodos en que se manifiestan. En general, los epidemiólogos estudian problemas localizados desde el punto de vista geográfico, de comienzo bastante rápido y que afectan directamente a la salud. La unidad natural de observación suele ser el individuo.

En segundo lugar, la variable "exposición" (que comprende el tiempo, y la variabilidad y las tendencias del clima) plantea dificultades. No existe un grupo manifiestamente "no expuesto" que sirva de referencia para las comparaciones. De hecho, la escasa diferencia existente entre los individuos de un mismo lugar en cuanto a la exposición al tiempo o al clima generalmente impide comparar entre sí grupos de personas con distintas "exposiciones". Deben compararse comunidades o poblaciones enteras, prestando atención a las diferencias de vulnerabilidad intercomunitarias.

En tercer lugar, algunas repercusiones en la salud se producen por vías indirectas y complejas. Por ejemplo, los efectos de las temperaturas extremas en la salud son directos. Por el contrario, los cambios complejos en la composición y el funcionamiento de los ecosistemas median el impacto del cambio climático en el contagio de infecciones transmitidas por vectores y en la productividad agrícola. Y Un último reto es la necesidad de estimar los riesgos para la salud en relación con escenarios climaticoambientales futuros. A diferencia de la mayoría de los peligros ambientales conocidos para la salud, gran parte de los riesgos previstos como consecuencia del cambio climático global se sitúan a años o décadas vistas.

De acuerdo a los datos de la organización mundial de la Salud (OMS), México ocupa el octavo lugar entre los países que reportaron casos de dengue en el periodo comprendido de 1995-2005, en México la secretaria de salud define al dengue como un síndrome febril agudo, infeccioso de origen viral, transmitido por un vector, de curso auto limitado, incapacitante y con riesgo de complicaciones letales, endoepidémica, que afecta con mayor frecuencia a los grupos de poblaciones económicamente activa, actualmente es considerada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como al enfermedad emergente mas importante transmitida por vector en el mundo.

## CAPÍTULO II. DATOS Y METODOLOGÍA

### 2.1 Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar (GCCRS-CCA-UNAM)

A principios de los noventa el tema sobre el cambio climático generó cierto interés en México, aunque inicialmente solo era de carácter institucional, centrado en un grupo pequeño de científicos y de tomadores de decisiones como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).



Para 1992, después de la Convención Marco de las Naciones Unidas en un esfuerzo conjunto entre el INE y la UNAM (Centro de Ciencias de la Atmósfera-CCA) véase Figura 12, se logró establecer un Programa Nacional Científico sobre Cambio Climático Global, del cual surgió un estudio de país México coordinaron por estas instituciones, y con la ayuda del Programa de Estudios de País de los E.U, el cual tiene como objetivo proporcionar asistencia técnica y financiar a países en vías de desarrollo en dirección al fenómeno del cambio climático.

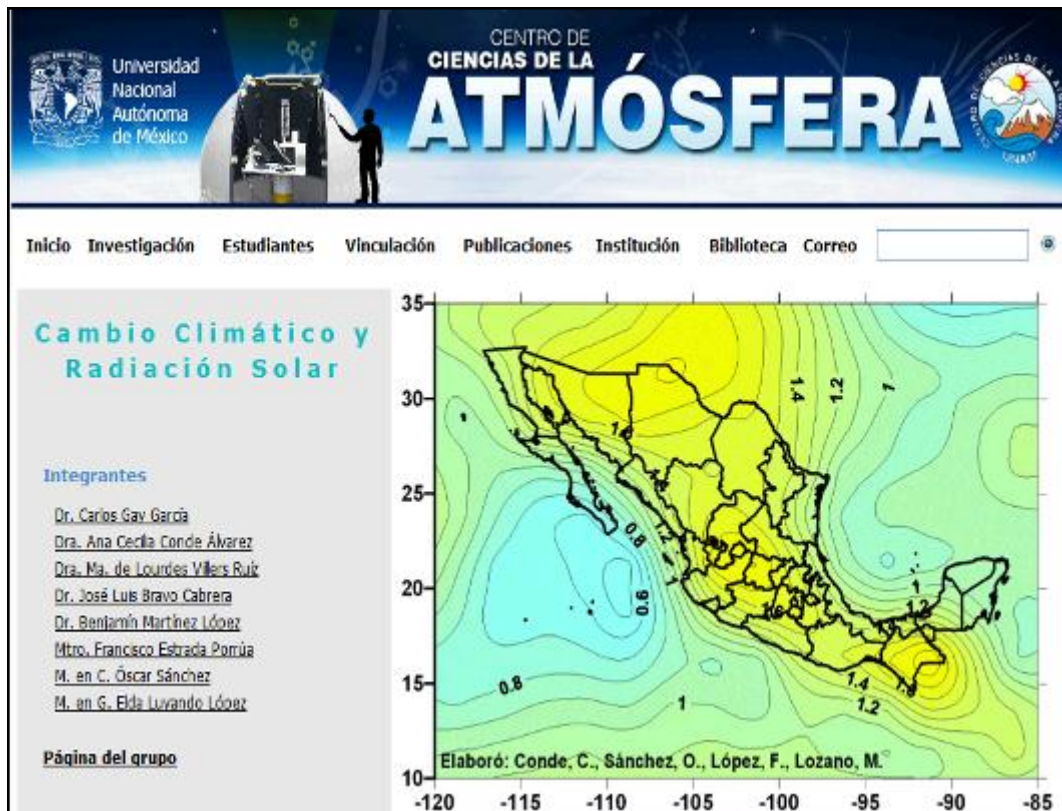


Figura 12. Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar. (GCCRS-CCA-UNAM, 2011).  
Disponible en: [http://www.atmosfera.unam.mx/grupos/cambio\\_climatico.html](http://www.atmosfera.unam.mx/grupos/cambio_climatico.html)

El estudio de país México genero tres tópicos de información importante:

1. Un inventario de gases de efecto invernadero para México,
2. Escenarios de cambio climático y de emisiones de gases de efecto invernadero
3. Y mejoras sobre estudios anteriores de la vulnerabilidad de México a los impactos del cambio climático.

Los resultados políticos y técnicos a corto plazo fueron tres talleres en abril de 1994, mayo de 1995, y enero de 1996, formando la base de un informe sobre estudios de vulnerabilidad así como también de un primer informe de gases de efecto invernadero de México publicados en 1995 y sometidos a la UNFCCC como comunicación nacional inicial de México en 1997, de esta forma el INE, la UNAM, y el Instituto Mexicano de Petróleo (IMP), contribuyeron en talleres e informes sobre el tema del cambio climático.

Así, el grupo de investigación del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, tiene como objetivo primordial, estudiar y conocer el sistema climático para generar estudios que ayuden a reducir la vulnerabilidad del país y tener una visión general para que los diversos sectores puedan elegir las mejores estrategias de mitigación y adaptación ante el cambio.

### 2.1.2 Escenarios de Cambio Climático para México

El Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar (GCCRS) pone a disposición para estudios de adaptación y vulnerabilidad del usuario, diferentes proyecciones de escenarios de cambio climático para la República Mexicana y Centroamérica, basados tanto en modelos de circulación general acoplados (MCGAO), como modelos de emisiones para los años 2030 y 2050, además de una climatología base correspondiente a un período de 1950-2000, véase Figura 13.

Dichas proyecciones de escenarios de cambio climático, dadas en variables de temperatura y precipitación se realizaron a partir del software Magicc-Scengen, el cual consiste en asignar un puntaje a cada modelo de circulación general acoplado para una región a estudiar, para el caso de la República Mexicana, el GCCRS eligió tres modelos de circulación general, basándose en los criterios del manual de usuario del software mencionado anteriormente:

- *El modelo Alemán ECHAM* del Max-Planck-Institut for Meteorology Germany, y el European Center for Medium Range Weather Forecast, es un modelo utilizado por la comunidad Europea para realizar predicciones del clima, ya que se han mejorado las formulaciones del régimen de variables completas y ecuaciones continuas, su modificación de radiación de onda larga, cubierta de nubes, efectos orográficos, y parámetros orbitales en superficie terrestre entre otros, además de tener una resolución espacial de 90 metros para la República Mexicana.
- *El modelo GFDL* del Geophysical Fluid Dynamics Laboratory USA, líder mundial en modelización por utilizar modelos matemáticos para la comprensión del comportamiento de la atmósfera, océanos y clima, este modelo tiene una resolución romboidal compuesto por cuatro componentes; con un modelo de circulación espectral, oceánica y dos modelos simples de hielo marino así como superficie terrestre. El modelo cuenta con un componente atmosférico de 24 atmósferas funcionales de resolución variable tanto para el Este-Oeste como para Norte-Sur.
- *El modelo Inglés HADLEY* del Centre for Climate Prediction and Research, Met Office, UK, fue desarrollado en el año 2006 para el medio ambiente mundial, considerado un modelo de nueva generación, este modelo cuenta con un componente atmosférico de 38 niveles que se extienden a 40 km de altura, su configuración climática está dada al usar un Núcleo de Nueva Dinámica lo que lo hace posible emplearlo en diversas escalas temporales y espaciales de alta resolución, el modelo fue utilizado por en el Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre cambio climático (IPCC).

Estos modelos fueron seleccionados a que presentan razonablemente el clima tanto regional observado como esperado, muestran un rango de incertidumbre y están siendo utilizados por otros países que comprenden la misma región de México, además de que estos mismos modelos se emplearon en la Tercera Comunicación Nacional de México.

En cuanto a los escenarios de emisiones el GCCRS escogió los A1B, A2, B1 y B2, del Tercer Informe de Evaluación del IPCC, de los cuales, los tres primeros sirvieron de referencia para el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, el B2 que ya se usaba en anteriores estudios.

Así, en la página web del GCCRS podemos encontrar información (datos y mapas) descargables referidos a proyecciones de diferentes escenarios de cambio climático para la República Mexicana conformada e integrada de la siguiente manera:

- i. En primera instancia, encontramos escenarios regionales con dos resoluciones espaciales una de baja ( $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ) y otra de alta ( $10\text{km} \times 10\text{km}$ ), para tres modelos de circulación general acoplados (MCGAO), MPI ECHAM 5, HADGEM1 y GFDL CM 2.0, cada modelo cuenta con las anomalías de las variables de temperatura en centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ) y precipitación en porcentaje (%), bajo cuatro escenarios de emisiones A1B, A2, B1 y B2 para los años 2030 y 2050.
- ii. En segunda instancia, también encontramos escenarios de cambio climático interpolados con una climatología observada base que comprende una rejilla de alta resolución ( $10\text{km} \times 10\text{km}$ ) para el período de 1950-2000, la cual incluye las variables de precipitación en milímetros (mm) en valores absolutos y temperatura (medias, mínimas y máximas) dada en centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ).

The image shows a screenshot of a website titled "Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar" under the "CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA UNAM". The website features a navigation menu on the left with categories like "Inicio", "Integrantes", "Cambio Climático", "Boletines de prensa", and "Proyectos". The main content area is titled "Escenarios de cambio climático" and lists several scenarios with links to "Leer más...".

**Menú principal**

- Inicio
- Integrantes
- Cambio Climático
  - Artículos y documentos para discusión
  - Presentaciones
  - Publicaciones
  - Talleres de Cambio Climático
- Boletines de prensa
- Entrevistas
- Proyectos
  - Programa Transversal de Cambio y Variabilidad Climáticos

**Escenarios de cambio climático**

- ✓ **Escenarios de cambio climático México 2008** [Leer más...](#)  
Escenarios de cambio climático de temperatura y precipitación (archivos de datos y mapas de contorno)
  - [MPI ECHAM 5](#)
  - [HADGEM1](#)
  - [GFDL CM 2.0](#)
- Escenarios de cambio climático a partir de la Climatología 1950 -2000 (archivos de datos, mapas de contorno y mapas con valores en una rejilla)
  - [CLIMATOLOGÍA 1950 - 2000](#)
  - [HADGEM1 INTERPOLADO](#)
  - [GFDL CM 2.0 INTERPOLADO](#)
  - [MPI ECHAM 5 INTERPOLADO](#)
- ✓ **Escenarios de cambio climático usando la Regionalización de Douglas** [Leer más...](#)
- ✓ **Nuevos escenarios de cambio climático para México Escenario base 1961-1990** [Leer más...](#)  
Escenarios de cambio climático de temperatura y precipitación (archivos de datos y mapas de contorno)

Figura 13. Escenarios de Cambio Climático. (GCCRYs-CCA-UNAM, 2011). Disponible en: [http://www.atmósfera.unam.mx/ccimat/index.php?option=com\\_content&view=article&id=44&Itemid=63](http://www.atmósfera.unam.mx/ccimat/index.php?option=com_content&view=article&id=44&Itemid=63)

El formato de escritura de los archivos está dado en (.dat), compuesto individualmente para cada mes del año, en forma 3(F8.2), es decir tres columnas contiguas, la 1ra) longitud, 2da) latitud y 3ra) valor, los valores igual a -999.90 indican que la variable no está definida para la localidad (Conde & Gay, 2008), los mapas aparecen en formato (.gif), tanto datos como mapas se encuentran en formato comprimido (.gz) para su descarga conjunta de acuerdo al modelo y escenario requerido.

Cabe señalar que el GCCRS construyó la climatología de la República Mexicana de 10km x 10km, siguiendo una metodología en base a interpolación por splines, similar a la de Hijmans et al (2005), con datos de 30 segundos de arco y referida a 1km<sup>2</sup> de resolución, obtenidos de la climatología mundial observada, la cual se puede consultar en la siguiente página <http://www.worldclim.org> (Conde & Gay, 2008). La misma metodología se aplicó

para los modelos (AOGCMs), los escenarios de emisiones (SRES), variables y anomalías que tienen una resolución de 2.5° x 2.5°, solo superpuestos (interpolados) en la misma malla usada en climatología de largo período de alta resolución de 10km x 10km.

## 2.2 Programa de Cambio Climático en México (INE-SEMARNAT-CCA)

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través del Instituto Nacional de Ecología (INE) tiene como propósito, el promover la generación e integración de la difusión científica y tecnológica ambiental, coadyuvando en la toma de decisiones y la participación ciudadana por medio de sus diversas líneas de investigación, véase Figura 14. En este sentido, el INE busca la participación de distintas instituciones de investigación interesados en unir esfuerzos para generar el conocimiento, la capacitación y la vinculación necesaria, que permita contribuir en guiar una política ambiental para el país.

Figura 14. Cambio Climático en México. (INE-SEMARNAT, 2011).  
 Disponible en: [http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx/](http://cambio_climatico.ine.gob.mx/)

De esta forma el INE, como parte de la difusión científica y del compromiso hacia nuestro país crea la Coordinación del Programa de Cambio Climático (CPCC) con el objetivo de realizar investigaciones de cambio climático en México para mitigarlo y buscar las formas correctas para la adaptación, como lo sugiere la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC).

Por ello, el instituto con el apoyo económico del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y el esfuerzo conjunto entre las instituciones Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Autónoma de México (UNAM) e INE-SEMARNAT, expone en su portal web el tema de Cambio Climático en México, donde se puede encontrar información diversa acerca del tema por estado y sector socioeconómico, así como también se incluyen datos sobre amenazas climáticas, vulnerabilidad y proyecciones de cambio climático regionalizadas para México, véase Figura 15.

The image shows a screenshot of a website titled "El Cambio Climático en México" with the subtitle "Información por Estado y Sector". The header includes logos for SEMARNAT, INE, PNUD, UNAM, and the Global Environment Facility. Below the header are four navigation tabs: "Cambio Climático", "Información por Estado", "Información por Sector", and "Enlaces". The main content area features three small images on the left: a forest fire, a satellite view of Earth, and a group of people in a forest. To the right of these images is a text block that reads: "Este sitio representa un esfuerzo del Instituto Nacional de Ecología/SEMARNAT y del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México por difundir el conocimiento sobre Cambio Climático en México. Para ello, se presenta información sobre el tema para cada estado y para algunos sectores socioeconómicos del país. Se incluyen datos sobre amenazas climáticas, vulnerabilidad y proyecciones de riesgo climático. Se dan ejemplos del trabajo que se lleva a cabo en México sobre mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Asimismo, se sugieren algunas acciones de adaptación al Cambio Climático para diversos sectores. El objetivo es mantener un sitio con información actualizada sobre riesgo ante Cambio Climático para que el gobierno y la sociedad en general, adviertan la importancia del fenómeno ambiental más importante del presente siglo. Es claro que aún falta mucho por conocer en materia de Cambio Climático, principalmente a escala regional por lo que los retos de investigación en la materia son mayúsculos. Es por ello que el sitio es dinámico, es decir, brinda la oportunidad de que se incorpore nueva información sobre el tema para enriquecer nuestro entendimiento del problema." At the bottom right of the text block, it says "Sus comentarios son bienvenidos" followed by the email address "proyecto.estados@gmail.com".

Figura 15. Información por Estado y Sector. (INE-SEMARNAT, 2011).  
 Disponible en: [http://www2.ine.gob.mx/climatico/edo\\_sector/index.html](http://www2.ine.gob.mx/climatico/edo_sector/index.html)

## 2.2.1 Sistema de Información de Escenarios de Cambio Climático Regionalizados (SIECCRe)

El Instituto Nacional de Ecología (INE) pone a disposición del usuario, el Sistema de Información de Escenarios de Cambio Climático Regionalizados (SIECCRe), el cual se muestra en la Figura 16. El sistema se encuentra a manera de formulario, permitiendo consultar y obtener datos de variables de temperatura y precipitación, bajo diversas proyecciones de escenarios de cambio climático regionalizados para la República Mexicana

The screenshot displays the 'Sistema de Información de Escenarios de Cambio Climático Regionalizados (SIECCRe)' interface. On the left, a map of Mexico is shown with a grid overlay and a red pin indicating a location. The map includes state names like Arizona, New Mexico, Texas, Louisiana, Mississippi, Alabama, Georgia, Florida, and others. On the right, a configuration form is visible with the following fields: 'Longitud oeste: -105', 'Longitud este: -98', 'Latitud norte: 22.5', and 'Latitud sur: 19.5'. Below these are dropdown menus for 'Escenario: A2', 'Modelo: ensamble', 'Valor: anomalía', and 'Variable: temperatura (°C)'. There are radio buttons for 'Intervalo continuo' (selected) and 'Intervalos de meses por años'. Date fields are set to 'Fecha inicio: 2000' and 'Fecha fin: 2099', both with 'Ene' as the month. A 'Descargar' button is at the bottom. A note at the bottom of the form states: 'Nota: Las unidades para la temperatura (°K) y para la precipitación (mm). Los datos históricos (1970-1999) son generados por el ensamble de MCG.' A disclaimer at the bottom right reads: 'Información disponible sólo para la parte continental del país.'

Figura 16. Aspecto gráfico del formulario. (INE-SEMARNAT, 2011).  
Disponible en: <http://zimbra.ine.gob.mx/escenarios>

Las proyecciones de los escenarios de cambio climático regionalizadas para México que se encuentran disponibles en dicho sistema, están generados a partir de la aplicación de un método estadístico llamado reducción de escala (downscaling), el cual se realiza mediante la herramienta estadística Climate Predictability Tool (CPT) del International Research



Institute for Climate and Society de Estados Unidos, la cual se basa en corregir errores sistemáticos siguiendo el prototipo del Model Output Statistic (MOS) para reducir la resolución espacial de las salidas del Modelo de Circulación General (MCGAO) del orden de 250 x 250 km aproximadamente, y obtener un escalamiento espacial de 50 x 50 km, esto en base a los datos históricos observados de temperatura y precipitación.

De esta forma, los datos que se pueden encontrar para su descargar en el SIECCRe tienen una resolución espacial de 50 x 50 km para 24 MCGAO utilizados en el Cuarto Informe de Evaluación (AR4) por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), que consideran los siguientes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) A2, A1B, B1 y Committed, para las variables de temperatura y precipitación del período que comprende del 2000-2099, así como los datos históricos de línea basal del 1970-1999 de manera temporal mensual y a partir de las proyecciones mensuales de cambio climático se integraron las proyecciones considerando períodos de 30 años obteniendo tres climatologías, la de los: a) 2020s (representa el período 2010-2039); b) 2050s (representa el período 2040-2069), y c) 2080s (representa el período 2070-2099).

Cabe señalar que el SIECCRe-INE, sugiere utilizar el modelo “ensamble” para realizar estudios de evaluaciones de impactos y vulnerabilidad sobre cambio climático en términos de probabilidad que aparece por default en el formulario del sistema, dicho ensamble se obtiene de la aplicación del método estadístico cual asocia el MCG y los escenarios de GEI que permite generar entre 50 y 90 experimentos de regionalización de proyecciones.

Los datos del formulario SIECCRe están acotados al área geográfica de México por las coordenadas máximas Latitud norte: 34.75, Longitud oeste: -117.75, Latitud sur: 13.75, Longitud este: -86.25, lo cual permite elegir el área de interés, sin embargo este solo cuenta con información para la parte continental del territorio, para el océano se considera como no-dato y se señala con -999.9.

El formato de los datos para su descarga es de texto plano (plaintext), con codificación estándar ISO-8859-1, su extensión es “.txt”, el cual incluye información en forma de cinco

columnas contiguas de latitud, longitud, mes, año y variable, mediante un archivo comprimido en formato “.zip”, las variables de temperatura y precipitación están dadas en las siguientes unidades para el caso del modelo ensamble está dada por:

La Anomalía, es la diferencia entre la proyección de temperatura o precipitación del “ensamble” para los próximos años con respecto a un período base (1970-1999) del ensamble. Las unidades de la temperatura son grados centígrados (°C) y para lluvia en porcentaje (%).

La Dispersión, estimación de la incertidumbre y corresponde a la dispersión de los resultados entre los miembros del ensamble. Las unidades son las del caso de anomalía.

Para el caso de la selección de un MCG que no sea el modelo “ensamble”, también está dada en las unidades del valor de la Anomalía y el proyectado:

El Proyectado, se refiere al valor absoluto estimado para los próximos años. Las unidades de la temperatura están en grados Kelvin (°K) y para lluvia son milímetros (mm). Para convertir a °C restar 273.15 al dato descargado de temperatura. El sistema se encuentra disponible en línea en la siguiente liga <http://zimbra.ine.gob.mx/escenarios>

### 2.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Actualmente, el desarrollo científico y tecnológico ha tenido un avance importante, con el uso de los ordenadores (PC), el hardware y software, han permitido reducir tiempos para procesar, archivar y recuperar grandes volúmenes de datos, así como la posibilidad de ejecutar una amplia gama de combinaciones en el manejo de diversas variables (Arcila, 2003; Reyes & Martínez, 2003).

En este contexto los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (

Figura 17), no han sido la excepción y se han beneficiados paralelamente en su funcionalidad de análisis espacial “Un Sistema de Información Geográfica puede definirse como

*un conjunto de hardware, software, datos geográficos y personal especializado que tiene como objeto la comprensión y caracterización de la Tierra, cuyo fin último es ayudar a las diversas actividades humanas en la gestión, análisis y visualización del conocimiento geográfico, donde los datos espaciales tienen un papel determinante".* Un SIG se estructura de la siguiente manera (Reyes & Martínez, 2003; Vicente & Virginia, 2008; ESRI-SIGSA, 2012):

**Mapas interactivos:** Los mapas son el resultado que proporciona una visión interactiva de la información geográfica para dar respuestas concretas al usuario.

**Datos geográficos:** En la base de datos se incluye información vectorial y raster, como modelos digitales del terreno, información de estudios topográficos, topologías y atributos.

**Modelos de geoprociamiento:** Son flujos de procesos que permiten automatizar tareas, que se repiten con frecuencia, pudiéndose enlazar unos con otros.

**Modelos de datos:** La información geográfica en la Geodatabase es algo más que un conjunto de tablas almacenadas en un Sistema de Gestor de Datos de Bases de Datos, el cual incorpora reglas de comportamiento e integridad de la información.

**Metadatos:** Son los datos que describen la información geográfica como sistema de coordenadas, extensión, formato, usuario, etc.

De esta forma, se puede superar la idea del concepto clásico del mapa, ya que el SIG posibilita identificar, analizar y resolver problemas de uno o más fenómenos reales que afectan el espacio geográfico, cualidad que lo diferencia de otros paquetes de software gráficos, además de permite integrar de manera fácil, rápida y consistente procesos cartográficos, como el de consultar bases de datos, modelar, visualizar, impresión y difundir información por internet (Conde & Gay, 2008; Vicente & Virginia, 2008).

Existe una gran cantidad de programas SIG comerciales, entre los más populares se destacan algunos por la facilidad de acceso, la capacidad de almacenamiento, procesamiento y la posibilidad de análisis complejos que serán elementos esenciales a

valorar en la calidad de un programa SIG, entre estos encontramos a ESRI (ArcGis, ArcView, Arcinfo), Idrisi, Mapinfo, Erdas, Envi, Matlab, etc. (Arcila, 2003).

Los SIG han generado gran interés y relevancia hoy en día, debido a su interdisciplinariedad, por innumerables ciencias, disciplinas e instituciones, que han volteado la mirada al recurso de los SIG y gradualmente se ha vuelto indispensable en ciertos aspectos, avivando una mejora reputación geográfica.

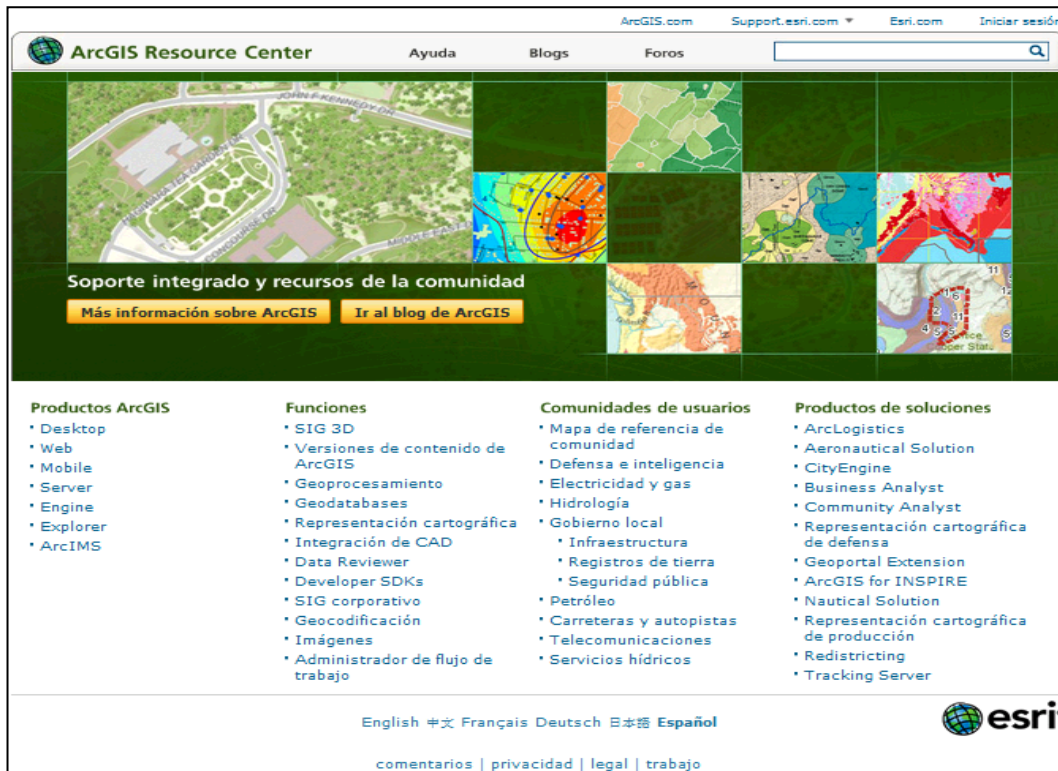


Figura 17. Sistemas de Información Geográfica. (ESRI-SIGSA, 2011).  
 Disponible en: <http://resources.arcgis.com/es>

Es así, como la geografía es la ciencia que está sumamente implicada con los SIG y que va más allá del préstamo del adjetivo “geográfica”, tanto en el momento de su construcción como en el de su utilización posterior, aunque en las aéreas geográficas los SIG juegan un papel importante a ser tema de discusión para algunos investigadores, debido a que es un lugar donde se relaciona la geografía humana y física, integrándolas en un análisis geográfico regional (Arcila, 2003).

### 2.3.1 Soporte SIG (ArcGIS)

Actualmente, el avance tecnológico permite al usuario e instituciones disponer de un gran abanico de software especializadas en SIG, lo cual posibilita elegir el programa que mejor se adapte y obedezca a las necesidades de los diversos estudios de investigación a realizar. La última versión del software ArcGIS Desktop 10, ver Figura 18 de la familia Enviromental Systems Research Institute (ESRI), diseñado por la empresa californiana de Estados Unidos, representa la evolución gradual de los avances tecnológicos, debido a que cumple con las necesidades tanto presentes como futuras, en la informática como en las telecomunicaciones, en función de analizar, intercambiar y realizar mapas, edición y captura de datos, capas, modelos de geopropcesamiento, informes, diseñar, publicar en la web e imprimir información geográfica (ESRI-SIGSA, 2012; 1-ESRI-ArcGIS, 2012).

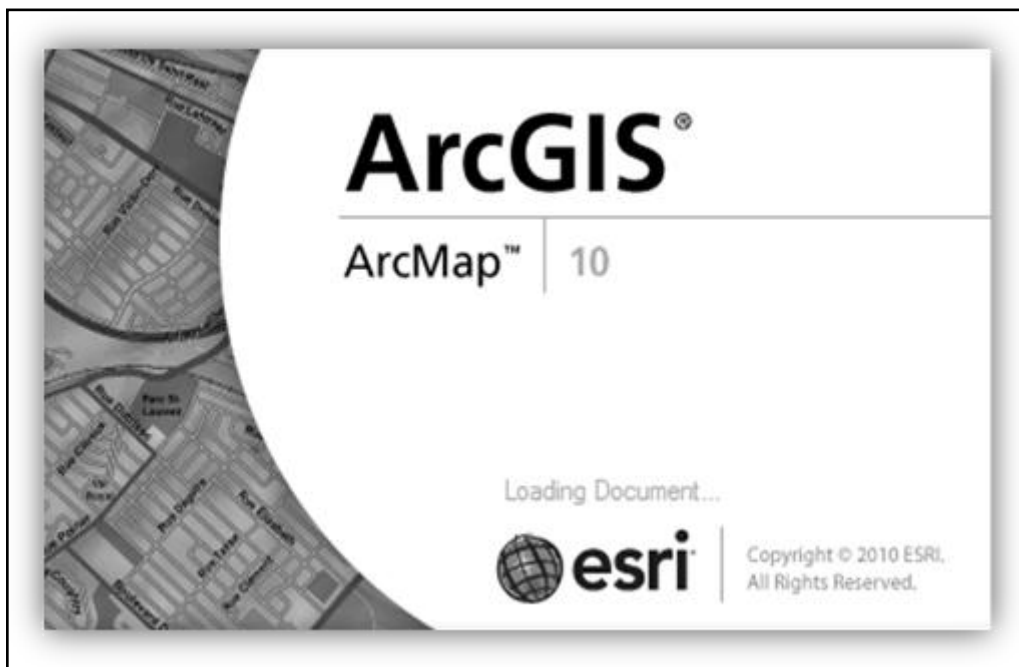


Figura 18. Software ArcGIS 10. (ESRI, 2012).

ArcGIS Desktop 10 se distribuye bajo tres licencias, cada una se distingue por su funcionalidad y costé; Arc View, Arc Editor y Arc Cinfo constando de dos componentes esenciales (ESRI-SIGSA, 2012):

1. *ArcGIS Desktop*, está enfocado a las aplicaciones SIG para PC, en un conjunto integrado por ArcCatalog, ArcMap, ArcToolbox, ArcReader, ArcScene y ArcGlobo.
2. *ArcGIS Server*, es una plataforma escalable que funciona como servidor para crear aplicaciones, capaces de gestionar, visualizar y analizar información geográfica, incorpora las funciones ArcSDE y ArcIMS.

El software ArcGIS Desktop 10, se empleó para georreferenciar y la asignación de un sistema de coordenadas a los datos de las variables de temperatura y precipitación, así como en la aplicación de dos geoprosesamientos (*Spatial join*, *intersección* y el *método de interpolación*) fundamental para el análisis espacial en dichos datos e importantes para los resultados obtenidos de la presente investigación, cuales son:

***La Georreferenciación y sistema de coordenadas:*** La *georreferenciación* es la parte fundamental para la representación cartográfica en el SIG, esta consiste en asignar una ubicación espacial a partir de coordenadas a una entidad geográfica del mapa, permitiendo situarse en o cerca de la superficie terrestre (2-ESRI-ArcGIS, 2012).

Un *sistema de coordenadas*, es un marco de referencia de coordenadas que describe la ubicación y la forma de las entidades, el cual permite asignar una ubicación geográfica a un objeto, existen dos tipos de sistemas, uno es el sistema de coordenadas geográficas en grados (latitud y longitud) y el segundo es el sistema de proyección cartográfica Universal Transversal de Mercator (UTM) en coordenadas cartesianas (X y Y). Cabe señalar que debido a la forma de la Tierra (semiesférica) y los mapas planos, se recurre a la conversión de fórmulas matemáticas llamadas proyecciones de los mapas. En coberturas (shapefile) en ArcGIS la proyección queda implícita en un archivo con extensión .prj (Vicente & Virginia, 2008; 2-ESRI-ArcGIS, 2012).

**Unión espacial o Spatial join:** consiste en la unión de los atributos de dos capas a partir de su ubicación espacial (coordenadas), es decir, anexa los atributos de una capa a otra capa, generando una nueva capa de ambos conjuntos, incluyendo un campo extra en la tabla llamado *Distance*, el cual calcula el rasgo (polígonos - líneas - puntos) más cercano con respecto a la otra capa, dependiendo de la combinación de las capas involucradas. La unión espacial está determinada por los tipos de geometría de las capa de entrada y la concordancia según sea el *Spatial Join*: más cercano (*Nearest*) y dentro (*Inside*):

<b>Geometría</b>	<b>Join Spatial</b>
<i>Punto con Punto</i>	➡ <i>Elige puntos más cercanos a los otros ó misma ubicación</i>
<i>Puntos con Líneas</i>	➡ <i>Elige puntos más cercanos que intercepte a las líneas</i>
<u><i>Puntos con Polígono</i></u>	➡ <u><i>Elige puntos dentro ó en sus límites del polígono</i></u>
<i>Líneas con Líneas</i>	➡ <i>Sólo deben ser parte de ellos, que crucen o coincidan</i>
<i>Líneas con Puntos</i>	➡ <i>Elige líneas más cerca que intercepte a los puntos</i>
<i>Líneas con Polígonos</i>	➡ <i>Elige líneas dentro del límite ó que intercepte al polígono</i>
<i>Polígonos con Polígonos</i>	➡ <i>Elige polígonos dentro del polígono</i>
<i>Polígonos con puntos</i>	➡ <i>Elige puntos dentro ó en sus límites del polígono</i>
<i>Polígonos con Líneas</i>	➡ <i>Elige líneas dentro del límite ó que intercepte al polígono</i>

Cabe mencionar que para cada una de las combinaciones, la unión espacial se hace concordando con la geometría de destino más cercano dentro del radio de búsqueda. Para obtener mejores resultados y la fiabilidad de estos se recomienda que ambas capas tengan el mismo sistema de coordenadas, así para el presente trabajo se aplicó la concordancia *puntos a polígonos* (4-ESRI-ArcGIS, 2012).

**El Método de interpolación:** esta herramienta tiene la función de crear una superficie continua de predicción llamada raster, a partir de una cantidad limitada de punto de muestra que incluyen valores, los cuales pueden ubicarse de forma aleatoria, a espacios regulares o basarse en un esquema de muestreo (3-ESRI-ArcGIS, 2012).

Existe dos tipos de métodos para derivar una predicción, cada método se denomina modelo, así cada modelo prevé diferentes suposiciones aplicables a los datos

determinados, es decir un modelo puede ser mejor que otro dependiendo de los datos e información de la investigación:

*Los métodos determinísticos* de interpolación asignan valores a las ubicaciones basándose en los valores medios circundantes y en fórmulas matemáticas específicas que determinan la suavidad de la superficie resultante como:

*IDW*: interpola una superficie de raster a partir de puntos utilizando una técnica de ponderación de distancia inversa, estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio.

*Vecino natural*: interpola una superficie de raster a partir de puntos, esta técnica halla el subconjunto de muestras de entrada más cercano a un punto de consulta y aplica ponderaciones sobre ellas basándose en áreas proporcionales para interpolar un valor (Sibson, 1981). También se conoce como interpolación de Sibson o de "robo de área".

*Spline*: interpola una superficie de raster a partir de puntos, la cual estima valores usando una función matemática que genera una curvatura mínima bidimensional general de la superficie, creando una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada.

*Spline con barreras*: interpola una superficie de raster con barreras, a partir de puntos, la barrera se introduce como entidades poligonales o polilínea. La técnica es la misma que la de spline.

*Tendencia*: interpola una superficie raster a partir de puntos, utilizando una función matemática (polinómica) a los puntos de muestra de entrada generando una superficie suave. La superficie de tendencia cambia gradualmente y captura patrones de escala sin detallar en los datos.



*Los métodos de estadísticas geográficas* se basan en modelos estadísticos que incluyen la relación estadística entre ellos (autocorrelación), esto permite que el modelo tenga una medida de certeza y precisión de los datos de entrada como:

*Kriging*: es un método de estadística geográfica avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados, el cual describe la correlación tanto espacial como temporal que existe entre los valores de un atributo con valores  $z$ , se debe realizar una investigación profunda del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores  $z$  antes de seleccionar el mejor método de estimación.

Las herramientas de interpolación de topo a raster y de topo a raster por archivo, están diseñados específicamente para crear una superficie que representa con mayor precisión una superficie de drenaje natural y preserva mejor los cordones montañosos y las redes de transmisión de los datos de curvas de nivel de entrada. El algoritmo que se utiliza está basado en el de ANUDEM, desarrollado por Hutchinson y otros en la Universidad Nacional de Australia (3-ESRI-ArcGIS, 2012).

## 2.4 Generación de Escenarios de Cambio Climático a nivel municipal

La información correspondiente para la generación de los escenarios de cambio climático se fundamenta en las bases teóricas dadas en el primer capítulo de la presente investigación, así como en colaboración, recomendaciones y validación de datos (mapas) que se guiaron en su momento para el proyecto “Caracterización de la vulnerabilidad asociada al cambio climático en México y sus efectos locales en la salud” del Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), por parte de los investigadores del Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar (GCCRS) del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Los datos que se ocuparon en dicho estudio realizado por el INSP, son los mismos que se contemplan para la generación de los escenarios de cambio climático en el presente

estudio, el cual tiene la finalidad de asignar a cada uno de los 2454 municipios un valor de la variable temperatura o precipitación en un contexto nacional.

Los datos se obtuvieron y se pueden descargar del GCCRS en su página web, cuales son:

- ❖ Una climatología basal de forma mensual de 1950 – 2000, para las variables de precipitación absoluta en milímetros (mm) y temperatura media en centígrados (°C), con resolución espacial de 10 x 10 km.
- ❖ Anomalías mensuales de las variables de precipitación en porcentaje (%) y temperatura en centígrados (°C) para el año 2030, para los tres modelos de circulación general acoplados (AOGCMs), MPI ECHAM 5, HADGEM1 y GFDL CM 2.0, para un escenario de emisiones A2 y con una resolución de 10 x 10 km para cada modelo.

Para el procesamiento de los datos y la obtención de mapas de escenario de cambio climático de los diferentes modelos de circulación general, se empleó el software ArcGIS versión 10, debido a que este software, en comparación a otros programas, es uno de los más completos en cuanto a su desempeño, facilidad y modelación de datos, de esta forma el sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS 10, resulta el adecuado para la presente metodología, la cual consta de tres fases:

**Generación de una malla espacial de 10km x 10km.** Como se mencionó anteriormente los datos disponibles se pueden descargar en la página web del GCCRS, estos están disponibles en un archivo de formato de escritura con extensión (.dat), compuesto por 16 0425 celdas y un arreglo bidimensional de 465 x345 renglones individualmente para cada mes del año, en forma de tres columnas contiguas, de longitud, latitud y valor, las coordenadas están en valores sexagesimales y de -999.90 indicando que la variable no está definida para la localidad.

Para facilitar el orden y proceso de los datos del archivo (.dat), ya que son archivos hasta cierto punto pesado, se recomienda abrir el archivo con Microsoft Office Excel con versión 2007 o superior, con el cual se tiene la posibilidad de dividir el contenido (longitud, latitud y valor) de la celda en tres columnas para poder ingresar los datos al SIG.

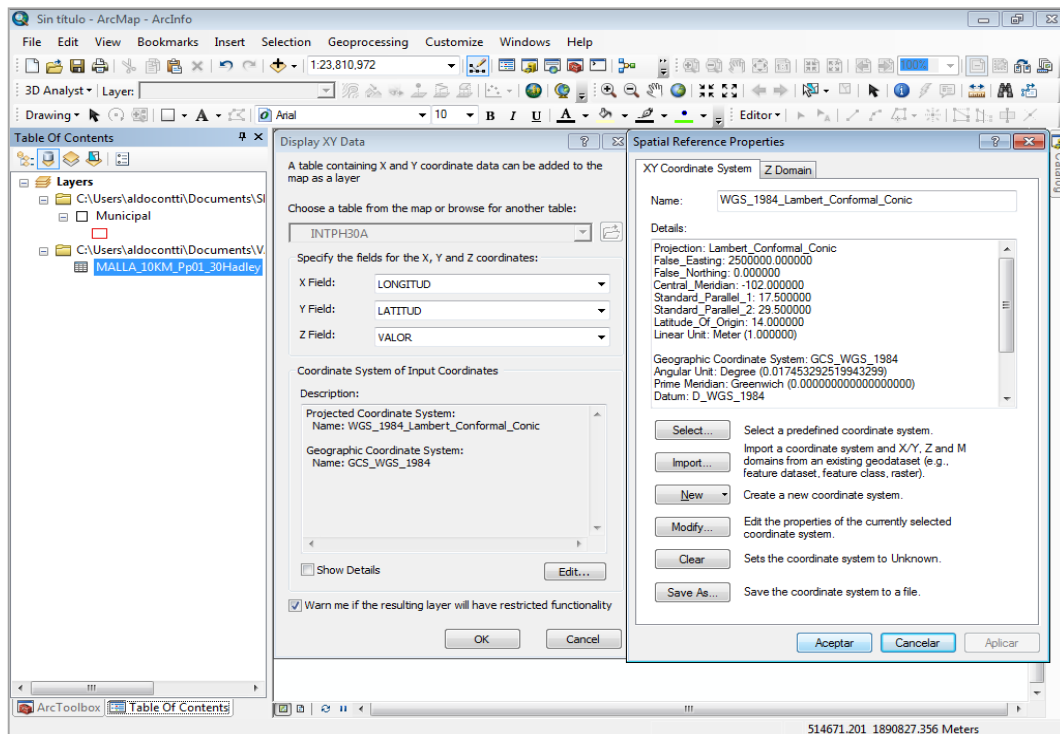


Figura 19. Interface para asignar un sistema de coordenadas.

Posteriormente, para obtener un shapefile de una malla o rejilla de 10 km con datos respecto a la variable de interés, el archivo se ingresara al Sistema de Información Geográfica (SIG), ArcGIS 10, y a continuación se especificaran las coordenadas de longitud, latitud y valor, para asignarle un sistema de coordenadas GCS\_WGS84 con proyección CCL (*Lambert\_Conformal\_Conic* por sus siglas en ingles), con respecto al shapefile de la República Mexicana conformado espacialmente por 2 454 municipios con el mismo sistema de coordenadas como se muestra en la Figura 19.

En primera instancia se generara un shapefile evento, por lo que será necesario exportarlo y guardarlo para obtener una rejilla de alta resolución de 10 km en archivo shapefile, ver Figura 20.

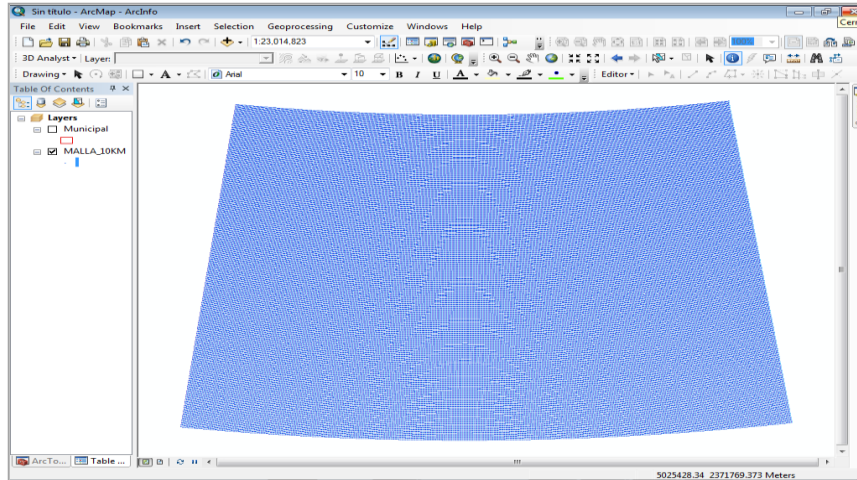


Figura 20. Ejemplificación de una malla con resolución de 10km x 10km.

**Asignación de municipios.** Para realizar la asignación del punto con el valor de la variable de temperatura o precipitación del shapefile de la malla de 10 x 10 km con respecto al shapefile de municipios, se aplicó un geoprocesamiento llamado Join Spatial o Unión espacial, el cual se puede apreciar en la Figura 21.

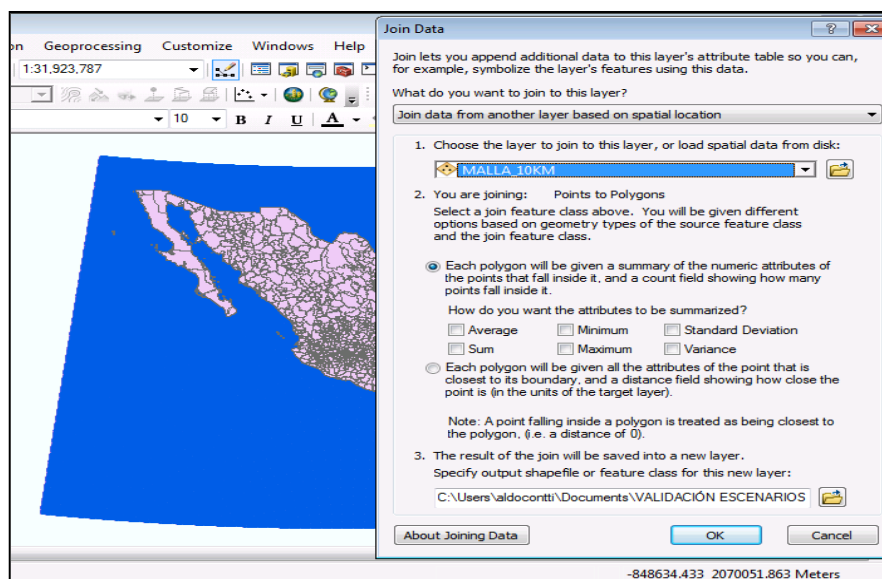


Figura 21. Ventana de la interface de la herramienta Join Spatial.

la cual consiste en unir los atributos de ambas capas de acuerdo a su ubicación espacial y a su concordancia geométrica *punto (malla 10km x 10km) – polígono (2 454 municipios) = puntos dentro ó en sus límites del polígono*, creando una nueva cobertura cartográfica (polígono) en formato shapefile. Con la información del valor del punto de la variable dada de la malla de 10km x 10km más cercano, dentro del radio de búsqueda a la ubicación espacial del polígono del municipio, en la Figura 22 se ejemplifica la asociación (punto-polígono).

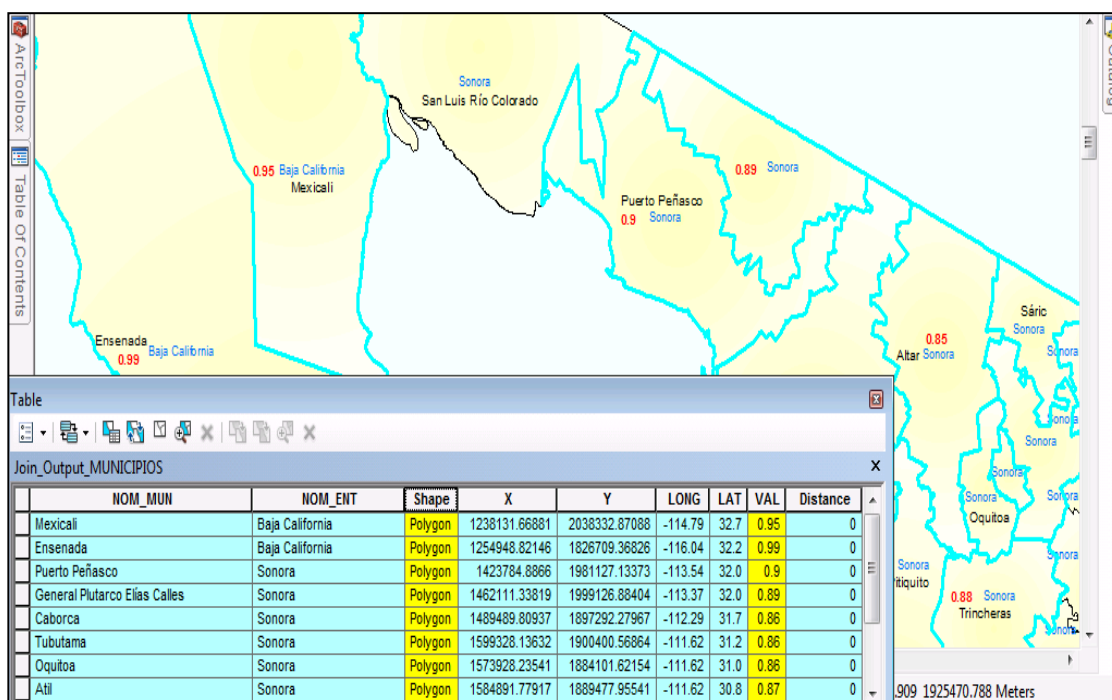


Figura 22. Join Spatial; asignación del punto Valor (Val) malla 10km x 10km al polígono (municipio).

**Modelación de los datos.** El método de interpolación es un procedimiento matemático que permite predecir el valor de la variable, creando una superficie espacial raster continua a partir de la localización de los datos de interés. Para la modelación de los datos de la malla de 10 km se optó por el método Spline, debido a que este modelo con respecto a otros, genera una superficie raster suave que pasa exactamente por los puntos de la malla de 10 km. Este interpolador es muy utilizado por diversas ciencias como la climatología, edafología, geomorfología entre otras, para representar superficies de forma gradual como altitud, temperatura, precipitación etc.

Es importante destacar que la elección del geoprocesamiento Join Spatial o unión espacial se fundamentó en el análisis espacial previamente realizado con la mencionada herramienta para conocer la heterogeneidad y homogeneidad de los datos (distribución-valor) de la malla de 10km x 10km integrada por 16 0425 puntos con respecto al polígono de 2 454 municipios y considerando la aplicación de un principio geográfico “Las cosas que están más cercanas entre sí, poseen una similitud mayor que aquellas ubicadas a una distancia mayor”, así también, los resultados obtenidos del método de interpolación Spline, se contrastaron con los obtenidos del Join Spatial del shapefile municipios y las imágenes de los mapas correspondientes a la malla de 10 km con respecto a los mapas del Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar (GCCRS), como una forma de validación para los mapas de escenarios de cambio climático de las variables de temperatura y precipitación, tanto de la climatología base 1950-2000, como de los escenarios de cambio climático y anomalías al 2030, resultados de este trabajo.

Por último, cabe mencionar que para obtener escenarios de cambio climático (ECC) para México para el año 2030, se realizó un cálculo, el cual consiste en sumar las anomalías (Tt o Pp 2030) a la climatología base (1950-2000 Tt ó Pp), para conocer la precipitación o temperatura absoluta para el año 2030:

Donde, Temperatura (Tt) está en centígrados °C y Precipitación (Pp) en milímetros mm.

$$ECC \text{ de } Tt \text{ o } Pp \text{ al } 2030 = (\text{Valor climatología } 1950-2000 \text{ sea } Tt \text{ o } Pp) + (\text{Valor incremento } 2030 \text{ sea } Tt \text{ o } Pp).$$

Así también, debido a que los datos de las anomalías de precipitación del año 2030 se encuentran en porcentaje (%), y los datos de la línea basal 50-2000 se encuentra en milímetros, fue necesario y de acuerdo al interés del estudio, realizar la siguiente conversión para obtener el incremento en milímetros (mm):

$$\text{Incremento de } Pp \text{ en } mm = (\text{Valor climatología } 1950-2000 \text{ } Pp \text{ en } mm) * (\text{Valor incremento } 2030 \text{ } Pp/100).$$

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1 Resultados

De acuerdo a los objetivos del presente trabajo, los escenarios de cambio climático empleados fueron los modelos de circulación general acoplados, recomendados por el Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar (GCCRS), y mediante la aplicación de la metodología empleada anteriormente, se obtuvieron escenarios futuros de temperatura y precipitación a nivel de su rejilla original de 10km x 10km, de alta resolución espacial, a una escala municipal y de forma mensual para la República Mexicana.

Los resultados obtenidos se ejemplificarán considerándose los más representativos, para el año 2030, la climatología 1950-2000, y de las anomalías (incrementos o decrementos) de temperatura y precipitación, la información completa podrá consultarse en el anexo de este trabajo:

- Mapas con las anomalías para el año 2030, para tres modelos de circulación general acoplados (AOGCMs), MPI ECHAM 5, HADGEM1 y GFDL CM 2.0 con un escenario de emisión A2 de alta resolución de 10 km para cada modelo.
- Mapas de escenarios de cambio climático absolutos para el 2030, para tres modelos de circulación general acoplados (AOGCMs), MPI ECHAM 5, HADGEM1 y GFDL CM 2.0 con un escenario de emisión A2 de alta resolución de 10 km para cada modelo.
- Mapas con una Climatología 1950-2000, la cual se tomó como referencia y caracterización histórica del clima en México.

### 3.2 Climatología 1950-2000.

Con el fin de tener una referencia y visión representativa de los condiciones del clima en México, dado a que el clima está condicionado por diversos factores como la altitud media del nivel del mar, la latitud geográfica y la interacción de la atmósfera-océano-continente (SMN & CNA, 2012), el Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar (GCCRS) genero una climatología histórica observada a largo del período que cubre de 1950 a 2000, con datos de temperatura media anual en grados centígrados (°C) y precipitación acumulada anual en milímetros (mm), a partir de una base climática de alta resolución (10 x 10 km) de WorldClim, la cual consiste en tener rejillas de valores mensuales con variables climáticas y resolución de 30 segundos de arco, para el período 1950-2000 (Hijmans et al; 2010; 2005).

De esta manera, y a lo largo de nuestra historia en México se ha observado un clima donde se han encuentran temperaturas medias anuales que van de mayores a 32 °C, hasta los fríos con temperaturas menores a 10 °C y que se reflejan en la climatología del periodo de 50 años, Por ejemplo; en invierno se alcanzan los mínimos de temperatura principalmente en la región norte y en las zonas montañosas, ocurriendo incluso nevadas en algunas sierras, en los meses de diciembre y enero regularmente, y verano, particularmente en los meses de junio y agosto, que en zonas semiáridas la temperatura llega a ser extrema, alcanzando con frecuencia los 40 °C o más. (Magaña, ed., 1999). En la Figura 23, se muestra para el caso de verano el mes de julio y para invierno, diciembre.

De igual manera, para el caso de la precipitación, resultado de la climatología del periodo de 50 años, se estima que la temporada de lluvias en México, comienza entre mayo y julio y finaliza entre septiembre y octubre, aunque también llueve en invierno, el clima seco regularmente se presente en gran parte del territorio mexicano, pero mayormente en la parte central y norte en invierno, esto debido a la circulación de los vientos que provocan escasa nubosidad y precipitaciones para el noroeste y la vertiente del Golfo de México (Magaña, ed., 1999). En la Figura 24, se ejemplifica el comienzo de la temporada de lluvias con el mes de junio, y octubre como el fin de esta temporada.



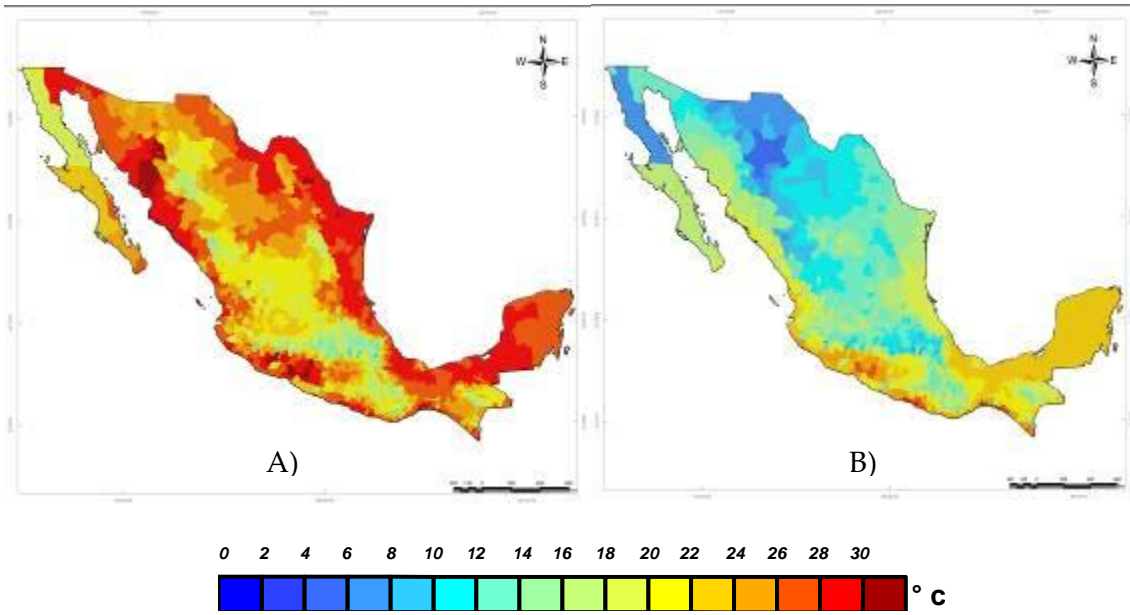


Figura 23. Climatología período 1950-2000 para temperatura Verano A) julio, e Invierno B) diciembre.

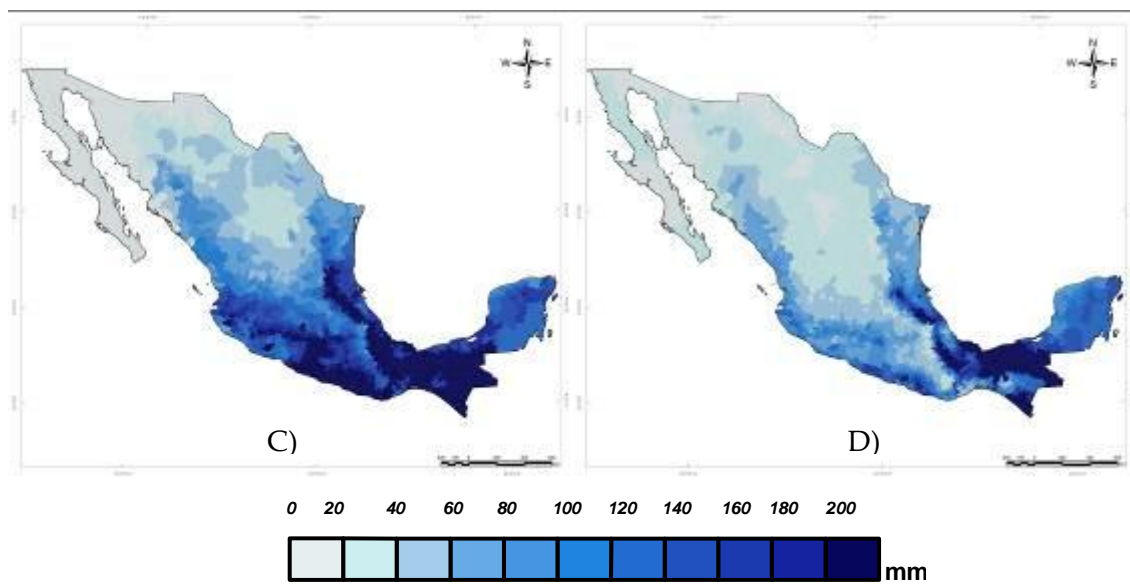


Figura 24. Climatología período 1950-2000 para precipitación, Temporada de lluvias inicio C) junio y fin D) octubre.

### 3.3 Anomalías para el año 2030

#### 3.3.1 Temperatura

Los resultados obtenidos de temperatura para los tres Modelos de Circulación General acoplados (AOGCMs), MPI ECHAM 5, HADGEM1 y GFDL CM 2.0, con un escenario de emisión A2 a escala municipal, consideran un incremento similar, que va de entre 1 a 2 °C, para la República Mexicana, particularmente en verano. En cuanto a los decrementos, estos coinciden en invierno.

El modelo *MPI ECHAM5*, muestra los mayores incrementos en los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto, siendo este último, el mes en el que se encuentran los mayores incrementos de todo el año, reflejándose en la parte norte particularmente en el municipio de Sáric, Sonora con 2.17°C como máxima y la mínima en el municipio de Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo con 0.55°C, los decrementos se presentan en el mes de Diciembre, en el municipio de Nuevo Laredo, Tamaulipas con -0.43 °C y la máxima de 0.88 °C para las Playas de Rosarito, Baja California Figura 25, Tabla 1.

		MÁXIMAS											
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Sonora	Sáric	1.29	0.43	0.29	1.17	0.96	1.27	1.85	2.17	1.87	1.98	1.75	0.78
Sonora	Altar	1.28	0.44	0.31	1.18	0.92	1.22	1.79	2.16	1.88	1.98	1.75	0.79
Sonora	Nogales	1.31	0.41	0.25	1.15	1.06	1.4	1.92	2.14	1.81	1.95	1.75	0.73
Sonora	Tubutama	1.29	0.45	0.31	1.19	0.94	1.25	1.82	2.14	1.87	1.98	1.75	0.79
Sonora	Caborca	1.26	0.45	0.33	1.18	0.86	1.15	1.7	2.13	1.88	1.97	1.73	0.8
Sonora	Magdalena	1.3	0.44	0.29	1.18	1	1.33	1.87	2.12	1.84	1.97	1.74	0.78
		MINIMAS											
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Tamaulipas	Nuevo Laredo	0.66	0.96	0.35	0.64	1.5	1.63	1.05	1.63	0.67	1.19	1.31	-0.43
Coahuila de Zaragoza	Hidalgo	0.7	0.96	0.32	0.65	1.54	1.69	1.06	1.67	0.71	1.23	1.37	-0.42
Nuevo León	Anáhuac	0.65	0.96	0.37	0.64	1.5	1.65	1.04	1.62	0.65	1.16	1.28	-0.4
Tamaulipas	Guerrero	0.63	0.96	0.38	0.63	1.47	1.61	1.03	1.59	0.63	1.14	1.25	-0.4
Coahuila de Zaragoza	Guerrero	0.73	0.95	0.3	0.65	1.59	1.76	1.05	1.7	0.75	1.27	1.41	-0.38
Coahuila de Zaragoza	Nava	0.77	0.93	0.26	0.67	1.62	1.75	1.06	1.74	0.82	1.34	1.49	-0.37

Tabla 1. Anomalías en la temperatura modelo MPI ECHAM5, escenario A2, 2030.

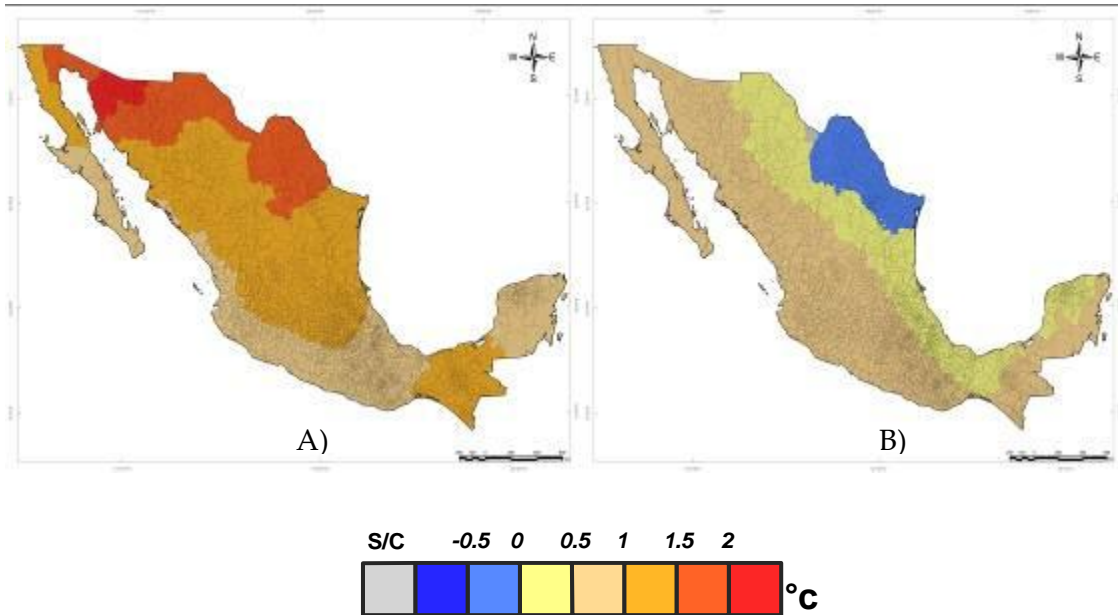


Figura 25. Anomalías en la temperatura, A) mes de agosto y B) diciembre. Modelo MPI ECHAM5, escenario A2, 2030. S/C: Indica que no hay cambios en la temperatura.

Para el caso del modelo HADGEM1, los incrementos máximos se encuentran en el mes de Junio en el municipio de Praxedis G. Guerrero, Chihuahua con 2 °C en todo el año y la mínima en Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo con 0.45 °C, las temperaturas mínimas se presentan en el mes de Diciembre con un decremento de -0.24 °C Celestún, Yucatán y la máxima con 1.11 °C en el municipio de San Luis Río Colorado, Sonora Figura 26, Tabla 2

		MÁXIMAS											
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Chihuahua	Praxedis G. Guerrero	0.98	1.13	1.48	1.04	1.25	2	0.74	1.27	1.57	1.62	1.41	0.58
Chihuahua	Juárez	0.95	1.19	1.48	1.05	1.32	1.98	0.75	1.29	1.62	1.61	1.44	0.58
Chihuahua	Guadalupe	1.01	1.05	1.5	1.01	1.09	1.95	0.73	1.19	1.51	1.58	1.31	0.54
Chihuahua	Ascensión	0.96	1.26	1.49	1.06	1.39	1.92	0.78	1.25	1.7	1.6	1.45	0.61
Chihuahua	Ahumada	1.06	1.25	1.45	1.03	1.33	1.9	0.72	1.17	1.62	1.53	1.38	0.68
Chihuahua	Coyame del Sotol	1.05	1.08	1.49	0.98	1.05	1.87	0.73	1.08	1.48	1.41	1.18	0.51
		MINIMAS											
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Yucatán	Celestún	0.16	0.36	0.61	1.15	0.65	0.53	0.47	0.49	0.53	0.5	0.3	-0.24
Yucatán	Kinchil	0.17	0.36	0.61	1.16	0.64	0.53	0.47	0.51	0.53	0.49	0.31	-0.23
Yucatán	Halachó	0.17	0.36	0.61	1.17	0.63	0.53	0.46	0.5	0.51	0.47	0.31	-0.23
Campeche	Calkiní	0.18	0.35	0.62	1.18	0.63	0.52	0.46	0.5	0.51	0.46	0.31	-0.23
Yucatán	Hunucmá	0.17	0.36	0.61	1.15	0.65	0.54	0.49	0.53	0.58	0.54	0.32	-0.21
Yucatán	Maxcanú	0.18	0.35	0.62	1.17	0.64	0.53	0.47	0.52	0.54	0.5	0.32	-0.21

Tabla 2. Anomalías en la temperatura modelo HADGEM1, escenario A2, 2030.

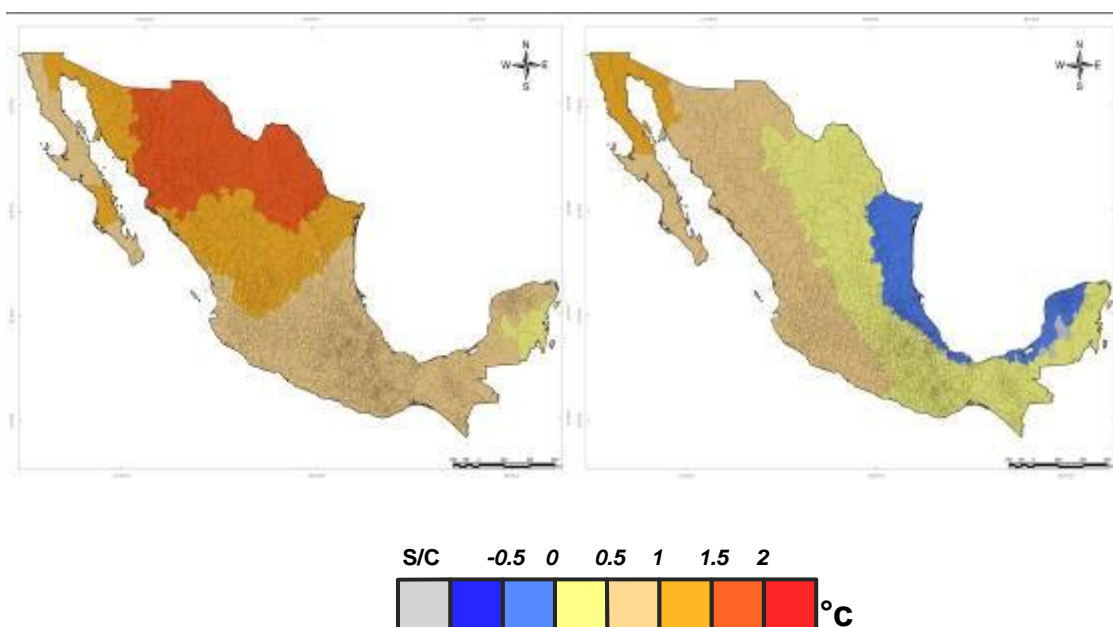


Figura 26. Anomalías en la temperatura, A) mes de agosto y B) diciembre. Modelo HADGEM1, escenario A2, 2030. S/C: Indica que no hay cambios en la temperatura.

El modelo *GFDL CM 2.0*, presenta en el mes de Mayo un incremento máximo de 2.34 °C correspondiente al municipio de Manuel Benavides, Chihuahua, es la temperatura más alta de todo el año, y el mínimo con 0.36°C en el municipio Celestún, Yucatán. Las temperaturas mínimas se presentan en el mes de Enero con un decremento de -0.56°C para el municipio de Gustavo Díaz Ordaz, Tamaulipas y la máxima con 0.84°C en el municipio de Pueblo Nuevo, Durango (Figura 27) Tabla 3.

Entidad	Municipios	MÁXIMAS											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Chihuahua	Manuel Benavides	-0.1	0.99	0.47	0.58	2.34	1.1	-0.29	1.06	1.62	0.62	0.26	0.22
Coahuila de Zaragoza	Sierra Mojada	-0.11	0.97	0.46	0.59	2.31	1.13	-0.12	1.15	1.62	0.6	0.26	0.28
Coahuila de Zaragoza	Ocampo	-0.23	1	0.44	0.49	2.3	0.99	-0.17	1.28	1.85	0.67	0.29	0.13
Chihuahua	Ojinaga	-0.02	0.98	0.44	0.59	2.28	1.12	-0.37	0.81	1.43	0.61	0.27	0.28
Coahuila de Zaragoza	Múzquiz	-0.26	1.01	0.43	0.47	2.26	0.97	0	1.32	1.85	0.69	0.31	0.15
Chihuahua	Guadalupe	0.06	1.01	0.32	0.57	2.22	1	-0.41	0.64	1.32	0.55	0.32	0.2
Entidad	Municipios	MINIMAS											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Tamaulipas	Gustavo Díaz Ordaz	-0.56	0.95	0.17	0.08	1.07	0.92	0.95	1.27	1.26	0	0.31	-0.08
Tamaulipas	Reynosa	-0.56	0.92	0.17	0.06	1	0.9	0.92	1.23	1.22	-0.03	0.3	-0.08
Tamaulipas	Matamoros	-0.56	0.82	0.17	0.01	0.82	0.84	0.86	1.11	1.12	-0.03	0.24	-0.08
Tamaulipas	Río Bravo	-0.55	0.89	0.18	0.05	0.93	0.85	0.85	1.15	1.15	-0.1	0.27	-0.08
Tamaulipas	Valle Hermoso	-0.55	0.83	0.18	0.02	0.83	0.83	0.84	1.1	1.11	-0.06	0.24	-0.08
Tamaulipas	Camargo	-0.54	1.01	0.17	0.11	1.2	0.95	0.96	1.33	1.32	0.02	0.34	-0.06

Tabla 3. Anomalías en la temperatura, modelo *GFDL CM 2.0*, escenario A2, 2030.

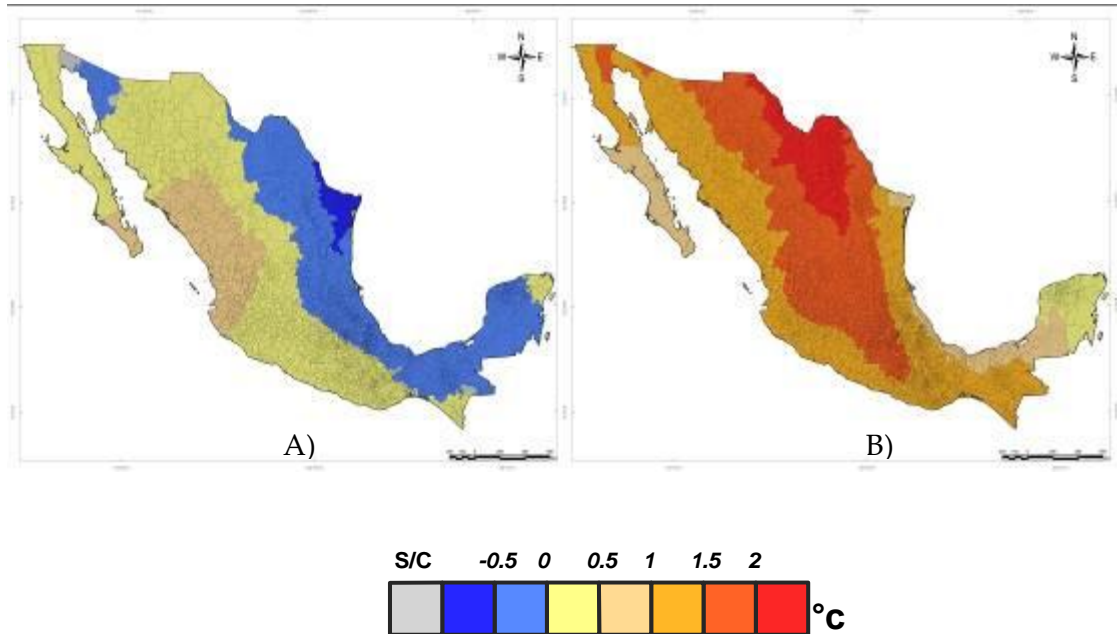


Figura 27. Anomalías en la temperatura, A) mes de mayo y B) enero. Modelo GFDL CM 2.0, escenario A2, 2030. S/C: Indica que no hay cambios en la temperatura.

### 3.3.2 Precipitación.

Para los incrementos de la precipitación, de igual forma se obtuvieron de los tres modelos Modelos de Circulación General Acoplados (AOGCMs), MPI ECHAM 5, HADGEM1 y GFDL CM 2.0., que se utilizaron para temperatura.

Así, para el modelo MPI ECHAM 5, la precipitación máxima de todo el año se presenta en el mes de Septiembre en el municipio de Solosuchiapa, Chiapas con 186.96 mm y un decremento de -12.82 mm en el municipio de Imuris, Sonora. Los decrementos se encuentran en el mes de Junio, Julio y Octubre, siendo Junio, el mes con el menor decremento de -102.42 mm, el cual se encuentra en el municipio de Ixtapangajoya, Chiapas y una precipitación máxima de 11.78 mm en el municipio de Ahuacatlán, Nayarit (Figura 28), (Tabla 4).

		MÁXIMAS											
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Chiapas	Solosuchiapa	60.07	156.27	-14.04	-51.98	-30.97	-100.15	-34.48	37.07	186.97	-52.54	98.08	37.88
Chiapas	Ixtacomitán	60.25	140.71	-11.75	-49.56	-28.47	-90.73	-32.63	40.46	186.71	-49.97	93.73	36.25
Chiapas	Sunuapa	61.27	144.37	-10.97	-50.23	-28.28	-90.95	-30.91	42.21	178.83	-50.63	98.32	38.00
Chiapas	Ixtapangajoyá	55.91	150.62	-15.27	-49.49	-32.14	-102.42	-34.42	30.91	175.13	-51.44	92.26	35.31
Chiapas	Amatán	50.09	133.09	-15.37	-43.88	-31.27	-97.70	-33.17	25.00	161.86	-46.86	82.05	30.55
Chiapas	Tapachula	3.41	9.45	-13.61	-28.34	-18.73	-85.35	-14.54	52.01	159.53	-23.60	59.75	2.20

		MINIMAS											
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Chiapas	Ixtapangajoyá	55.91	150.62	-15.27	-49.49	-32.14	-102.42	-34.42	30.91	175.13	-51.44	92.26	35.31
Chiapas	Solosuchiapa	60.07	156.27	-14.04	-51.98	-30.97	-100.15	-34.48	37.07	186.97	-52.54	98.08	37.88
Chiapas	Amatán	50.09	133.09	-15.37	-43.88	-31.27	-97.70	-33.17	25.00	161.86	-46.86	82.05	30.55
Chiapas	Salto de Agua	38.06	86.03	-17.46	-32.42	-29.68	-94.77	-40.53	-4.44	127.23	-40.73	53.14	11.86
Chiapas	Tila	40.91	95.94	-16.39	-36.42	-27.91	-91.69	-35.78	8.68	144.90	-41.12	58.72	18.33
Chiapas	Sunuapa	61.27	144.37	-10.97	-50.23	-28.28	-90.95	-30.91	42.21	178.83	-50.63	98.32	38.00

Tabla 4. Anomalías en precipitación, modelo MPI ECHAM 5, escenario A2, 2030.

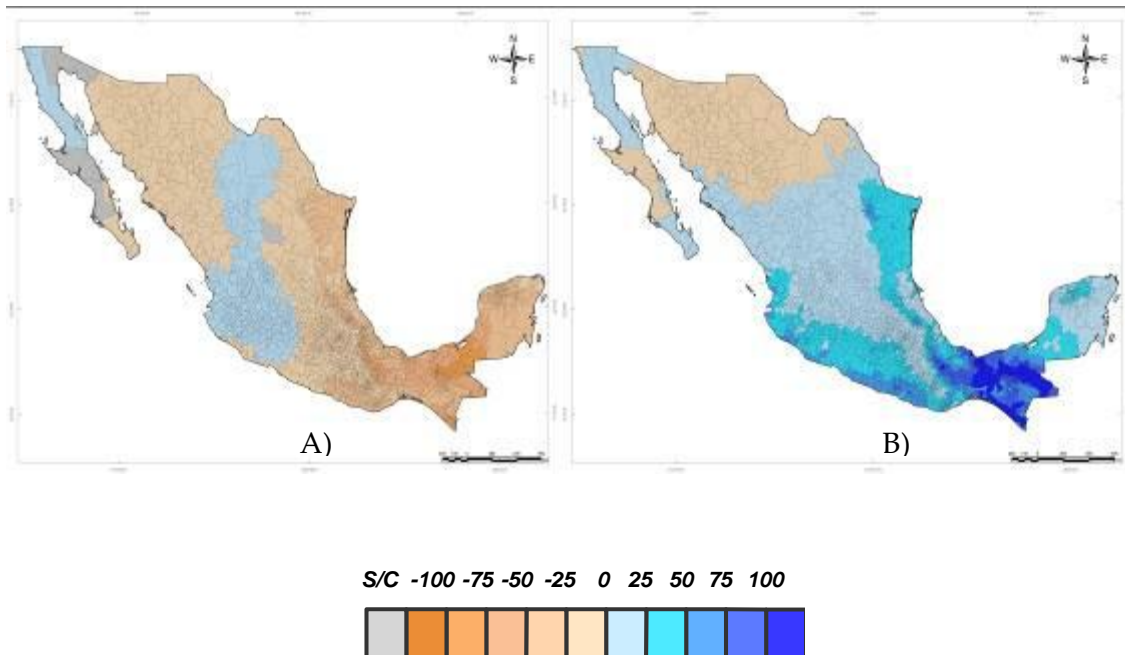


Figura 28. Anomalías en la precipitación, A) mes de junio y B) septiembre. Modelo MPI ECHAM5, escenario A2, 2030. S/C: Indica que no hay cambios en la temperatura.

El modelo *HADGEM1*, muestra la precipitación máxima de todo el año en el mes de Septiembre en el municipio de Unión Juárez, Chiapas con 115.38 mm, con un decremento de -19.75 mm en el municipio de Umán, Yucatán. Los decrementos se muestran en el mes de Diciembre con -89.67 mm para el municipio de Uxpanapa, Veracruz de Ignacio de la Llave con una máxima de precipitación de 29.54 mm para el municipio de Cozumel, Quintana Roo (Figura 29), (Tabla 5)

		MÁXIMAS											
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Chiapas	Unión Juárez	10.43	11.7072	-10.19	29.6208	45.3906	20.1485	-32	-5.83	115.3848	51.035	68.6448	-29.5911
Chiapas	Tuxtla Chico	5.491	6.606	-6.794	24.5208	40.334	13.7602	-34.9	-3.969	113.5158	52.1235	55.5828	-20.33
Chiapas	Tapachula	4.63	6.2946	-6.287	22.9653	34.1924	9.869	-36.5	-0.177	108.6255	59.8752	49.7016	-18.9584
Chiapas	Tuzantán	4.63	6.2946	-6.287	22.9653	34.1924	9.869	-36.5	-0.177	108.6255	59.8752	49.7016	-18.9584
Chiapas	Huixtla	5.508	6.7878	-5.792	22.3721	29.9406	6.8997	-34.2	1.7112	96.9732	57.239	38.35	-18.2208
Oaxaca	Santa María Ipalapa	-1.96	0.5271	-0.42	-0.5628	11.3316	19.7138	41.37	-29.75	94.1752	-9.2664	3.7821	-0.3432
		MINIMAS											
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Veracruz de Ignacio de la Llave	Uxpanapa	-10.7	35.4769	-22.31	1.38	21.1974	-1.8262	40.15	1.638	35.1597	22.6461	54.8024	-89.6768
Chiapas	Sunuapa	18.2	90.2712	-30.61	-9.918	41.6412	12.48	37.55	15.3	48.3208	62.3938	86.663	-74.202
Oaxaca	Santa María Chimalapa	-15.4	21.0896	-13.68	5.1408	21.5631	-4.5468	30.11	-3.281	37.3651	20.7832	44.1965	-70.4352
Chiapas	Ixtacomitán	20.3	90.739	-29.17	-9.9528	41.71	12.5678	36.54	15.392	52.5055	61.7016	83.9106	-67.309
Chiapas	Solosuchiapa	22.64	103.939	-31.25	-10.575	45.1422	13.9104	35.65	14.894	54.774	64.8918	89.4	-66.6473
Chiapas	Cintalapa	-3	24.5702	-12.04	1.235	22.7047	4.2483	19.42	10.144	24.408	38.999	44.8512	-64.8386

Tabla 5. Incrementos y decrementos en precipitación, modelo HADGEM1, escenario A2, 2030.

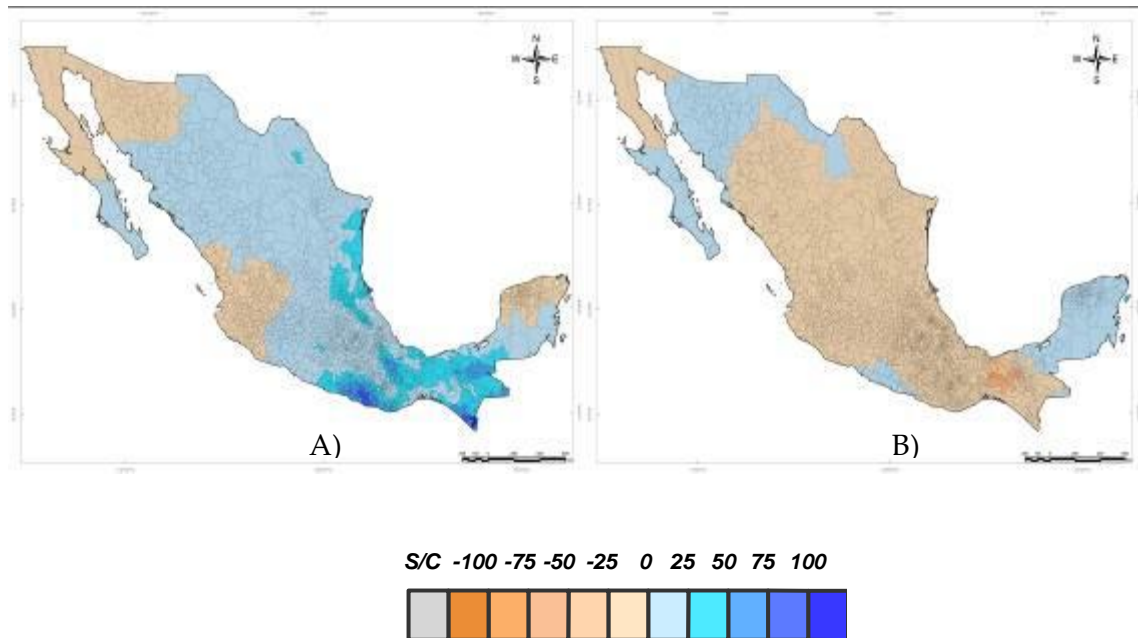


Figura 29. Anomalías en la precipitación, A) mes de septiembre y B) diciembre. Modelo HADGEM1, escenario A2, 2030. S/C: Indica que no hay cambios en la temperatura.

El modelo GFDL CM 2.0, muestra una precipitación máxima para todo el año en el mes de Agosto en el municipio de Imuris, Sonora con 114.07 mm, con un decremento de -92.34 mm en el municipio de El Naranjo, San Luis Potosí, el decremento máximo se presenta en el mes de Febrero con -147.06 para el municipio de Solosuchiapa, Chiapas y la máxima precipitación se registra en el municipio de Ensenada, Baja California con 14.04 mm (Figura 30) (Tabla 6)

		MÁXIMAS											
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Sonora	Imuris	22	11.8872	2.06	-1.572	-0.1958	6.213	-116	114.07	64.5546	-1.4899	-1.3775	15.5524
Sonora	Sáric	14.49	7.3301	0.72	-1.276	0.4308	1.828	-103	109.7	51.1168	-0.648	-4.725	13.7568
Sonora	Magdalena	14.53	8.2296	1.49	-1.1872	0.102	3.8256	-111	102.85	50.4945	-0.6552	-1.8288	12.6549
Sonora	Oquitoa	15.69	8.98	1.544	-1.3552	0.184	2.4498	-107	101.7	51	-0.46	-3.582	15.5288
Sonora	Cucurpe	21.65	9.8253	2.23	-1.0952	-0.744	7.7178	-119	100.12	60.3136	-0.8772	1.5114	15.2928
Sonora	Altar	12.27	6.8292	0.706	-1.2313	0.4015	1.056	-84	97.605	46.6664	-0.664	-6.2964	14.0852
		MÍNIMAS											
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Chiapas	Solosuchiapa	47.44	-147.06	-38.35	53.94	-48.1368	-44.091	-17.2	58.464	-44.6148	-17.375	79.04	38.9683
Chiapas	Ixtapangajoya	44	-143.63	-38.82	51.0653	-50.0352	-43.5968	-18.1	55.553	-42.5408	-11.693	75.392	38.0328
Chiapas	Sunuapa	49.02	-131.94	-35.41	52.722	-43.7568	-42.939	-13.3	52.92	-41.0958	-27.437	77.5385	36.207
Chiapas	Ixtacomitán	47.84	-130.54	-34.73	51.7374	-44.1524	-41.3706	-15.3	56.637	-43.7647	-21.77	74.663	35.815
Chiapas	Amatán	39.39	-128.49	-36.68	44.9961	-48.7692	-40.209	-18.2	51.897	-39.9938	-5.8576	68.1264	34.572
Chiapas	Ixhuatán	26.31	-96.998	-28.77	34.7984	-38.442	-29.2005	-11.6	38.308	-29.175	-10.802	50.022	26.0164

Tabla 6. Anomalías en precipitación, modelo GFDL CM 2.0, escenario A2, 2030.

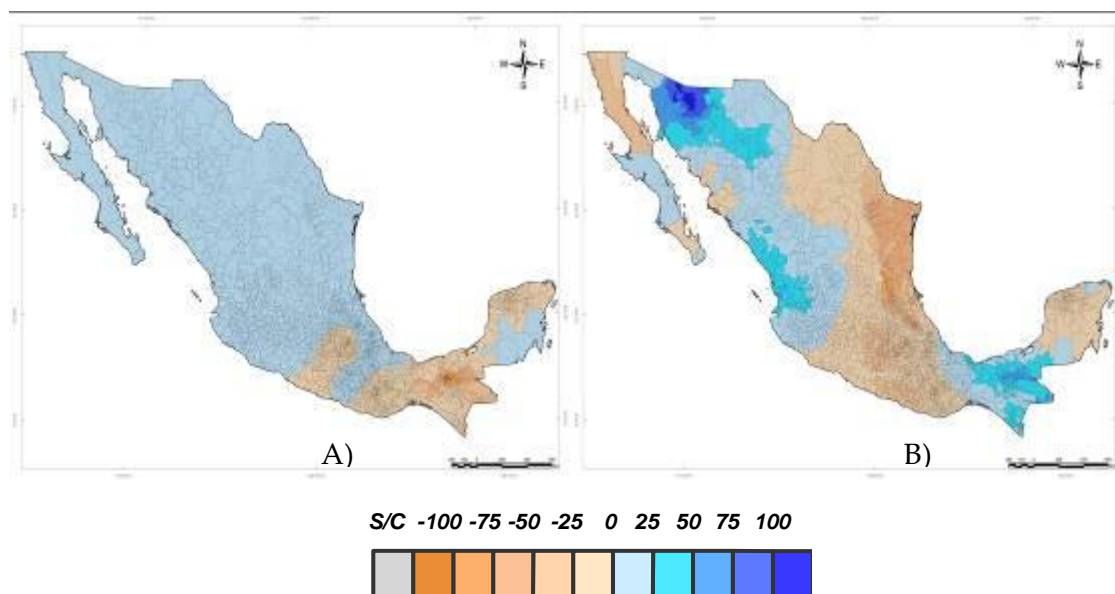


Figura 30. Anomalías en la precipitación, A) mes de febrero y B) agosto. Modelo GFDL CM 2.0, escenario A2, 2030. S/C: Indica que no hay cambios en la temperatura.



### 3.4 Escenarios de cambio climático para el año 2030.

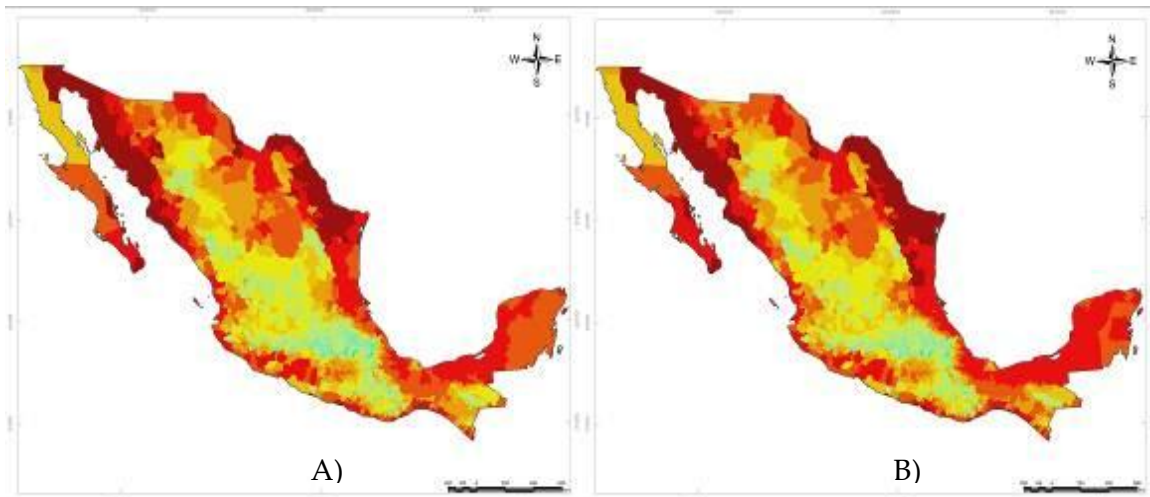
Los escenarios de cambio climático al 2030 de temperatura (°C) y precipitación (mm) absolutos, se generaron de la suma de la climatología base 1950-2000 más los incrementos de cada Modelo de Circulación General Acoplados (AOGCMs), MPI ECHAM 5, HADGEM1 y GFDL CM 2.0, con un escenario de emisión A2.

Los resultados para los tres modelos proyectan un aumento en la temperatura y en la precipitación incrementos y disminución, a lo cual podemos hacer referencia a un planteamiento que hace el IPCC en su cuarto reporte de evaluación, donde menciona que “en zonas donde llueve poco, lloverá menos y donde llueve mucho lloverá más”. Así, considerando las tendencias de los incrementos de 1 y 2 °C con respecto a la climatología 1950-2000, los tres modelos MPI ECHAM 5, HADGEM1 y GFDL CM 2.0 con un escenario de emisión A2 indican un aumento en la temperatura media máxima de 34 °C y una mínima de 4 °C para el año 2030. Los tres modelos coinciden en proyectar el mayor aumento de temperatura en verano sobre todo en la parte norte y sureste. La temperatura mínima se presenta en invierno en la porción norte y centro del país (Figura 31) (Tabla 7).

<b>MPI ECHAM 5</b>		<b>MÁXIMAS</b>											
<b>Entidad</b>	<b>Municipios</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
Mexicali	Baja California	13.78	15.28	18.12	22.28	25.77	30.45	34.21	34.31	31.27	25.68	18.68	13.6
San Luis Río Colorado	Sonora	14.45	16.17	18.18	21.91	25.36	29.51	33.17	33.47	31.28	26.09	19.57	14.63
Navojoa	Sonora	18.57	19.27	21.31	24.68	27.37	32.23	33.65	33.36	32.7	29.41	23.92	19.46
San Ignacio Río Muerto	Sonora	18.98	19.4	21.2	24.28	26.87	30.94	32.91	33.18	32.56	29.18	23.74	19.59
Etchojoa	Sonora	18.46	19.12	21.07	24.2	26.93	31.52	33.35	33.17	32.57	29.2	23.72	19.3
Benito Juárez	Sonora	18.4	18.98	20.83	23.93	26.61	31.12	33.12	33.04	32.46	28.96	23.55	19.2
		<b>MINIMAS</b>											
<b>Entidad</b>	<b>Municipios</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
Cuahtémoc	Chihuahua	4.97	5.51	7.96	12.89	16.67	20.98	20.43	19.51	17.58	14.07	9.23	4.83
Gómez Farías	Chihuahua	5.09	5.53	8.06	12.77	16.54	21.21	21.22	20.06	18.03	13.92	9.06	5.07
Namiquipa	Chihuahua	5.55	6.19	8.73	14.23	18.13	22	21.16	20.49	18.46	15.09	9.89	5.11
Temósachi	Chihuahua	5.13	5.34	7.98	12.65	16.34	20.91	20.83	19.82	17.75	13.58	9.19	5.21
Bachíniva	Chihuahua	5.78	6.3	8.77	13.54	17.37	21.78	21.3	20.46	18.4	14.78	9.99	5.54
Chihuahua	Chihuahua	6.19	6.96	9.81	15.93	19.17	21.92	20.95	20.29	18.33	15.47	10.6	5.67

<b>HADGEM1</b>		<b>MÁXIMAS</b>											
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mexicali	Baja California	13.6	16.07	19.01	22.08	26.63	30.7	34.32	33.74	31.1	25.04	18.65	13.9
Navojoa	Sonora	18.48	20.07	22.32	24.82	27.27	32.54	33.24	32.84	32.71	29.18	23.79	19.58
San Luis Río Colorado	Sonora	14.23	16.98	19.1	21.67	26.17	29.73	33.23	32.88	31.23	25.48	19.5	14.91
Etchojoa	Sonora	18.39	19.91	22.07	24.38	26.85	31.87	33.01	32.7	32.59	29.04	23.64	19.43
Benito Juárez	Sonora	18.34	19.75	21.81	24.13	26.54	31.5	32.83	32.61	32.48	28.84	23.5	19.34
San Ignacio Río Muerto	Sonora	18.86	20.1	22.14	24.39	26.91	31.36	32.72	32.67	32.6	29.06	23.69	19.75
		<b>MINIMAS</b>											
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Cuauhtémoc	Chihuahua	4.87	6.32	9.14	12.91	16.34	20.92	19.88	18.85	17.88	13.76	8.79	5.01
Gómez Farias	Chihuahua	4.91	6.42	9.22	12.73	16.28	21.11	20.45	19.3	18.22	13.5	8.65	5.28
Temósachi	Chihuahua	4.96	6.22	9.13	12.62	16.04	20.8	20.09	19.07	17.94	13.15	8.75	5.4
Bocoyna	Chihuahua	5.12	6.26	7.98	10.94	14.2	18.38	17.99	17.32	16.47	12.5	8.95	6.26
Namiquipa	Chihuahua	5.51	6.94	9.94	14.29	17.77	22.03	20.76	19.92	18.89	14.96	9.5	5.37
Bachíniva	Chihuahua	5.67	7.13	9.94	13.56	17.04	21.72	20.72	19.79	18.68	14.46	9.55	5.72
<b>GFDL CM 2.0</b>		<b>MÁXIMAS</b>											
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mexicali	Baja California	12.68	15.36	18.36	22.61	26.61	30.75	33.61	34.12	31.15	24.93	18.18	13.63
San Luis Río Colorado	Sonora	13.3	16.14	18.38	22.14	26.17	29.75	32.51	33.26	31.23	25.25	19.03	14.64
Navojoa	Sonora	17.8	19.18	21.04	24.52	27.54	32.07	33.27	32.9	32.39	28.86	23.52	19.6
San Ignacio Río Muerto	Sonora	18.15	19.13	20.87	24.17	27.16	30.94	32.57	32.81	32.24	28.73	23.41	19.65
Etchojoa	Sonora	17.71	19.04	20.81	24.08	27.12	31.39	33.03	32.77	32.3	28.73	23.39	19.44
Benito Juárez	Sonora	17.66	18.88	20.58	23.84	26.8	31.02	32.84	32.69	32.21	28.54	23.25	19.33
		<b>MINIMAS</b>											
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Cuauhtémoc	Chihuahua	4.06	5.75	7.96	12.52	16.92	20.53	19.28	18.24	17.3	13.25	8.33	5.2
Gómez Farias	Chihuahua	4.08	5.7	8.01	12.33	16.78	20.75	20.07	18.86	17.58	12.87	8.1	5.34
Temósachi	Chihuahua	4.15	5.5	7.91	12.23	16.55	20.45	19.71	18.6	17.32	12.59	8.26	5.52
Bocoyna	Chihuahua	4.49	5.65	6.74	10.58	14.61	18.02	17.7	16.85	16.05	12.2	8.67	6.56
Namiquipa	Chihuahua	4.62	6.51	8.8	13.89	18.51	21.51	19.91	19.22	18.33	14.31	8.89	5.44
Bachíniva	Chihuahua	4.86	6.54	8.75	13.17	17.6	21.33	20.15	19.2	18.09	13.94	9.09	5.91

Tabla 7. Escenarios de cambio climático para temperatura (climatología 1950-2000 + incremento) al 2030.



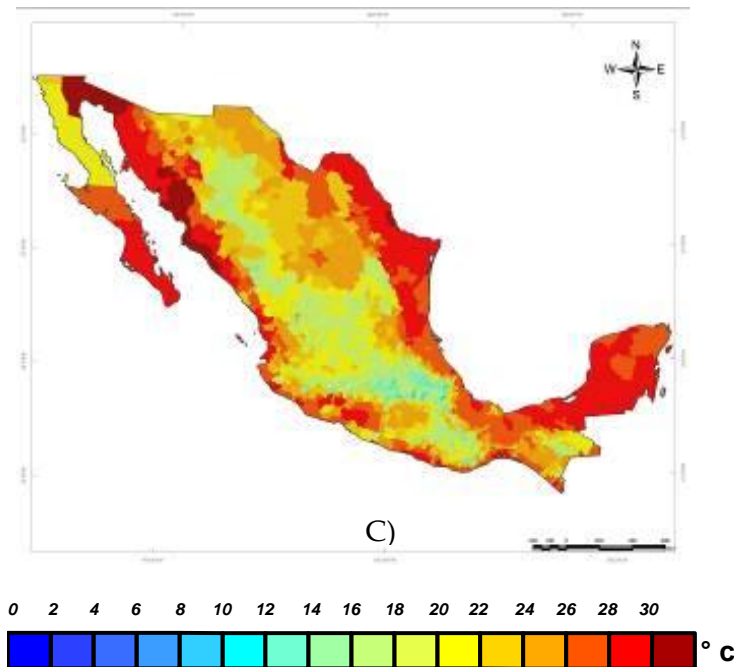
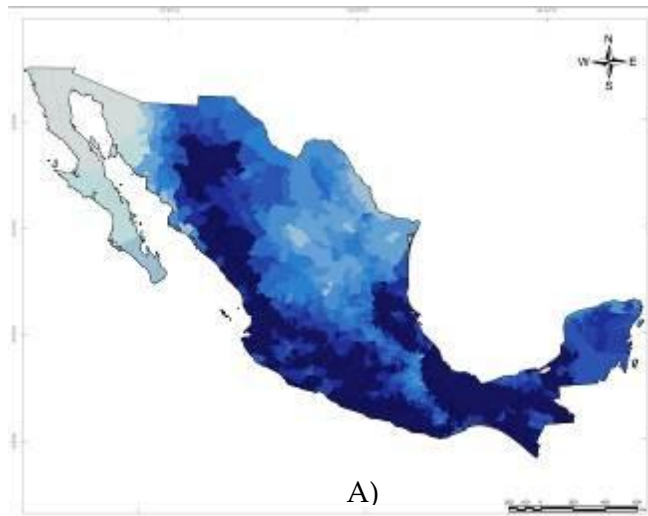


Figura 31. Escenarios de cambio climático A2, para temperatura modelos A) HADGEM1, Julio. B) MPI ECHAM 5, agosto. C) GFDL CM 2.0, septiembre. Climatología 1950-2000 + incremento al 2030.

Para la precipitación acumulada del período 1950-2000 con respecto a la anomalía de la precipitación al año 2030, el modelo MPI ECHAM 5, presenta la mayor precipitación en el mes de Septiembre con un máximo de 892.03 mm, e igualmente el modelo HADGEM1 coincide en tener el mayor incremento en el mes de Septiembre con 849.38 mm, en los municipios de Chiapas, con decrementos en Febrero, Abril y Junio en algunos municipios de los estados de Sonora y Sinaloa, el modelo GFDL CM 2.0 proyecta una precipitación máxima de 847.23 mm en el mes de Julio, con decrementos máximos para este mismo mes (Figura 32), (Tabla8).

MPI ECHAM 5													
MÁXIMAS													
Entidad	Municipios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Unión Juárez	Chiapas	46.64	64.2432	86.89	200.6906	478.8558	595.576	499.4	629.23	892.0302	564.158	293.9544	64.1537
Tapachula	Chiapas	23.41	35.4458	49.39	124.6644	390.2678	609.654	490.5	643.01	876.5325	504.398	221.7456	36.2032
Tuzantán	Chiapas	23.41	35.4458	49.39	124.6644	390.2678	609.654	490.5	643.01	876.5325	504.398	221.7456	36.2032
Tuxtla Chico	Chiapas	25.59	40.002	58.98	169.83	452.1629	564.1682	472.1	610.72	867.6312	559.787	251.1054	39.6872
Huixtla	Chiapas	29.35	37.206	43.42	110.3672	340.7269	554.8878	462.4	603.61	808.2414	434.343	170.4	34.4544
Solosuchiapa	Chiapas	347.1	407.273	138	98.025	155.031	313.8534	355.5	501.07	798.966	538.46	498.08	348.8798
MINIMAS													
San Luis Río Colorado	Sonora	4.706	9.997	7.039	1.1644	0	0	1.007	12.47	11.2937	8.433	4.0908	10.0628
Mexicali	Baja California	5.446	5.859	5.918	1.8759	0	0	0.82	10.487	8.7712	6.9895	4.2828	9.573
San Ignacio Río Muerto	Sonora	14.74	5.477	1.511	1.0309	0	2.2878	28.69	54.225	36.7956	13.101	10.2582	12.5888
Etchojoa	Sonora	17.89	2.185	3.176	2.0566	0	1.4738	33.19	41.852	40.972	26.4213	8.7968	10.4256
Benito Juárez	Sonora	17.95	2.1762	2.39	2.0652	0	1.4742	29.13	36.116	40.1739	24.0996	7.6349	10.4688
Comondú	Baja California Sur	21.13	9.2052	4.036	1.1084	0	8.426	20.034	19.986	5.8884	7.7497	16.5071	
HADGEM1													
MÁXIMAS													
Unión Juárez	Chiapas	50.43	59.7072	102.8	271.6208	546.3906	703.1485	489	577.17	849.3848	641.035	284.6448	31.4089
Tuxtla Chico	Chiapas	27.49	36.606	69.21	228.5208	509.334	656.7602	456.1	563.03	831.5158	637.124	237.5828	17.67
Tapachula	Chiapas	24.63	32.2946	56.71	175.9653	443.1924	704.869	468.5	590.82	825.6255	587.875	211.7016	15.0416
Tuzantán	Chiapas	24.63	32.2946	56.71	175.9653	443.1924	704.869	468.5	590.82	825.6255	587.875	211.7016	15.0416
Huixtla	Chiapas	30.51	33.7878	49.21	159.3721	388.9406	639.8997	439.8	553.71	753.9732	512.239	163.35	13.7792
Villa Comaltitlán	Chiapas	20.53	25.192	40.01	135.125	369.6099	629.9375	432.7	527.35	730.5687	457.516	125.4144	8.7906
MINIMAS													
Ahome	Sinaloa	32.1	-0.054	6.918	0.3258	1.232	3.5725	91.25	120.02	89.9992	35.8846	10.773	14.1484
El Fuerte	Sinaloa	39	0.1152	11.01	1.017	1.9761	14.2044	149.2	163.83	115.1892	48.6291	14.7117	25.8726
Guasave	Sinaloa	23.52	0.1855	5.688	0.4661	1.0502	3.714	58	93.533	100.1784	50.444	12.563	18.9886
Benito Juárez	Sonora	16.01	0.4376	3.646	0.1846	0	0.9818	43.89	37.248	44.0895	31.3768	5.4579	13.4544
Etchojoa	Sonora	16.24	0.4572	4.871	0.2352	0	1.041	48.88	43.133	45.04	35.1819	6.2896	13.326
La Paz	Baja California Sur	24.52	0.4613	6.771	0.4073	0.7559	0.7594	39.45	77.535	69.696	27.2118	4.3908	20.2692
GFDL CM 2.0													
MÁXIMAS													
San José Tenango	Oaxaca	104.3	87.397	66.39	99.7836	167.8842	475.2288	847.2	660.48	669.175	259.832	242.2509	157.5917
Ayotzintepec	Oaxaca	111.4	72.5615	52.98	90.3886	163.8728	470.7288	843.4	553.52	566.2304	280.055	223.6707	137.4125
Santiago Camotlán	Oaxaca	108.8	65.6927	48.08	87.496	159.3531	456.0626	804.7	530.8	540.176	266.208	218.685	132.12
San Felipe Jalapa de Díaz	Oaxaca	92.54	72.468	59.68	88.6465	145.3419	467.2122	802	631.88	645.8572	254.582	203.3726	130.289
Santa María Jacatepec	Oaxaca	87.59	73.23	52.88	75.5208	133.7032	445.6015	792.9	558.53	610.0815	248.465	192.256	118.2029
Santiago Comaltepec	Oaxaca	113.6	72.9768	49.88	92.6811	159.5792	471.5658	776.4	536.44	590.271	274.209	249.8704	150.8355
MINIMAS													
Altar	Sonora	39.27	27.8292	18.71	5.7687	5.4015	7.056	-9.03	179.6	90.6664	19.336	11.7036	60.0852
Sáric	Sonora	47.49	30.3301	18.72	6.724	6.4308	9.828	-7.11	203.7	100.1168	19.352	13.275	61.7568
Oquitoa	Sonora	48.69	33.98	23.54	6.6448	5.184	11.4498	-6.87	196.7	99	22.54	16.418	62.5288
Tubutama	Sonora	40.96	25.5379	15.87	4.998	4.2176	8.771	-6.72	181.6	86.4444	17.5626	12.4416	53.9601
Caborca	Sonora	25.06	21.2576	16.54	4.0235	3.2301	2.1834	-6.31	129.06	64.1328	20.034	7.9365	44.965
Atil	Sonora	31.27	24.741	17.33	4.1405	3.0477	9.0258	-4.5	146.05	70.227	20.6598	13.017	41.6609

Tabla 8. Escenarios de cambio climático para temperatura (climatología 1950-2000 + incremento) al 2030.



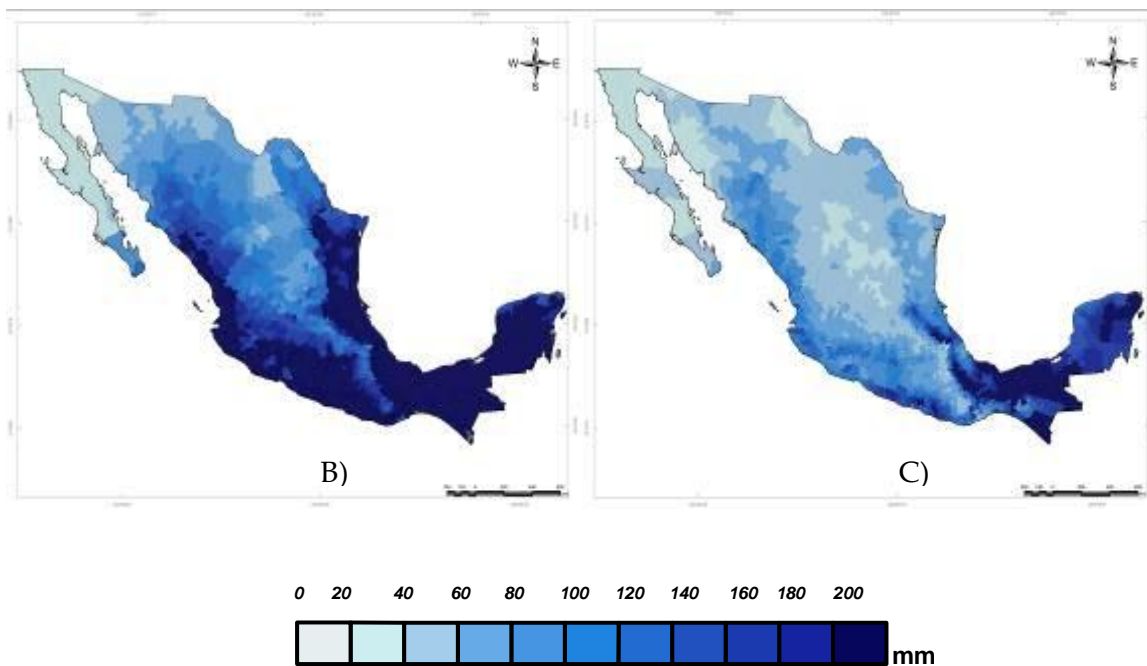


Figura 32. Escenarios de cambio climático para precipitación (climatología 1950-2000 + incremento) al 2030.

En este mismo sentido, adicionalmente se presentan algunos ejemplos de mapas sobre escenarios de cambio climático, realizados para el estudio la “Caracterización de la vulnerabilidad asociada al cambio climático en México y sus efectos locales en la salud” realizados por el INSP y en particular por la dirección de Salud Ambiental, resultados que formaran parte de un Atlas Digital llamado “Escenarios epidemiológicos de cambio climático en México”.

Los ejemplos que se muestran son los mapas con las proyecciones de la enfermedad del dengue, para el mes de septiembre del año 2030 y para cada uno de los modelos que se utilizaron, en este caso tres modelos. Se opto por el mes de septiembre, como el mes representativo, debido a que es el mes en donde los tres modelos coincidieron en proyectar los mayores casos de dengue en este mes para el año 2030. Figura 33.

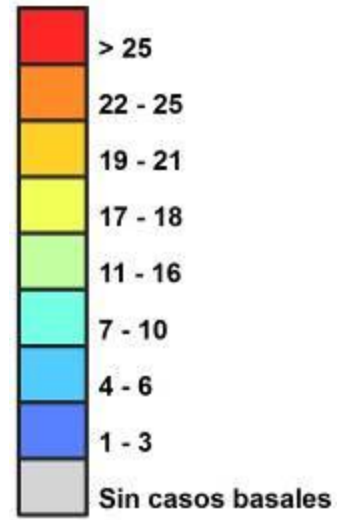
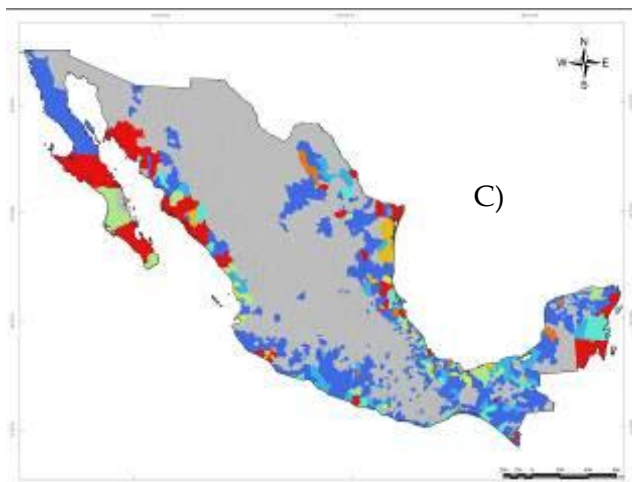
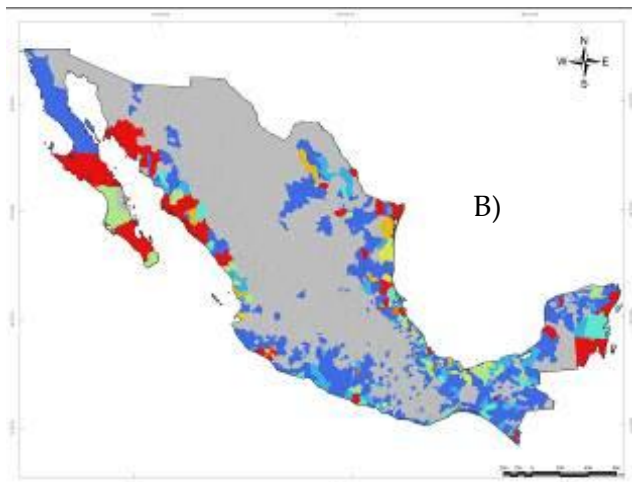
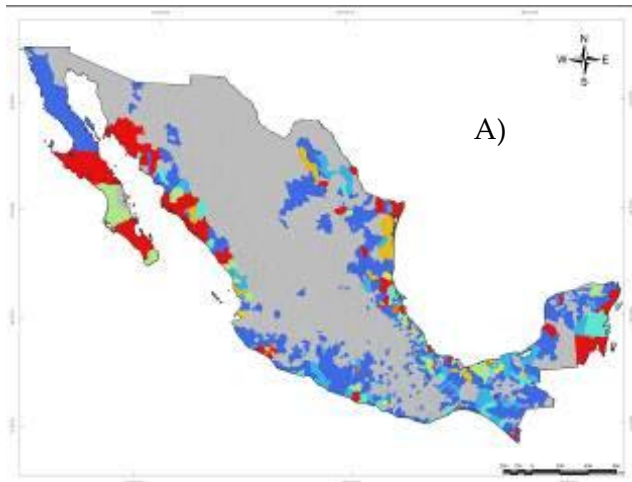


Figura 33. Escenarios de cambio climático A2 para septiembre de Dengue, casos proyectados al 2030.  
 A) MPI ECHAM 5, B) GFDL CM 2.0 y C) HADGEM1.

## CONCLUSIONES

En la actualidad la generación de proyecciones regionalizadas, a partir de diferentes modelos globales con diferentes escenarios de emisión, así como con diferentes técnicas de regionalización, se han convertido en una herramienta fundamental para realizar estudios de impacto y vulnerabilidad ante el fenómeno de cambio climático, el cual ha sido considerado por organizaciones y grupos de científicos expertos en la materia, como una de las mayores amenazas para la humanidad.

Asimismo los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en particular ArcGis, es una herramienta primordial, útil para procesar y analizar datos geográficos, motivo por el cual se empleó para fundamentar la metodología presentada en la generación de escenarios de cambio climático a nivel municipal, con información de variables climatológicas obtenidas de la página del Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar (GCCRS), tomando como referencia los objetivos señalados del presente trabajo.

Los escenarios de cambio climático implican un conocimiento basado en el sistema climático y en los Modelos de Circulación General de la Atmósfera (MCG), que sirven como base para proyectar los posibles impactos a escala regional o local, a partir de técnicas de reducción de escala (downscaling) o de interpolación por splines.

Actualmente estos escenarios regionales (A1, A2, B1 y B2) que existen para la República Mexicana, como los modelos de cambio climático (MPI ECHAM 5, HADGEM1 y GFDL CM 2.0), permiten estimar los posibles cambios en la temperatura y precipitación para el año 2030, tal como se presenta en este estudio y al igual que las observaciones realizadas por el IPCC, es de gran importancia considerar que el cambio climático es atribuible en gran medida a la actividad humana y que aun con aumentos pequeños de la temperatura, este fenómeno podría traducirse en impactos negativos serios sobre diversos sectores, principalmente aquellos relacionados con el recurso agua.

Instituciones gubernamentales y no gubernamentales, internacionales y nacionales han hecho esfuerzos para identificar, calcular o estimar la vulnerabilidad para desarrollar

estrategias y políticas anticipatorias de adaptación para reducir la vulnerabilidad de diversas regiones, sectores, localidades y ambientes naturales, los cuales constituyen una exigencia actual hacia el desarrollo sustentable.

En México instituciones como el Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional de México (GCCRS-CCA-UNAM) y el Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), han realizado esfuerzos notables en contribuir al entendimiento y simulación del clima para enfrentar y mitigar, los posibles impactos del cambio climático, y ponen a disposición de la comunidad datos de proyecciones sobre escenarios de cambio climático para la República Mexicana.

Las proyecciones generadas en el presente trabajo, con información obtenida del Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar, para tres modelos de Circulación Global Acoplados (MCGAO), con un escenario de emisión A2, para el 2030, se consideraron como parte de un umbral de información para generar una matriz de datos, a nivel municipal, referida a un índice de amenaza y evaluación de la vulnerabilidad climática futura, tomando como base los patrones de las anomalías de temperatura y precipitación, para el proyecto de investigación llamado “Caracterización de la vulnerabilidad asociada al cambio climático en México y sus efectos locales en la salud” del Instituto Nacional Pública (INSP) y resultado de este estudio un Atlas Digital llamado “Escenarios epidemiológicos de cambio climático en México” donde se incluirán indicadores epidemiológicos como dengue y Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs) para el año 2030.

De acuerdo a los resultados observados en este estudio, estos modelos (MPI ECHAM 5, HADGEM1 y GFDL CM 2.0) permiten pronosticar que en México habrá un incremento general considerable en la temperatura de 1 a 2 °C y una disminución en la precipitación, que aparentemente puede ser poco en las escala de las variaciones registradas, pero que en términos de procesos bióticos puede ser la diferencia entre las enfermedades como pestes, plagas y mutación en el largo plazo, de organismos dañinos a la salud. Y de igual forma afectar el potencial productivo de las especies cultivadas al modificarse las condiciones del clima favorable para el su desarrollo (Sánchez I. et al, 2011).



Así, los resultados obtenidos en este trabajo prevén anomalías en la precipitación importantes no a nivel solo regional sino también a nivel local, y que estos cambios probablemente pudiera cambiar el patrón de lluvia al pasar de un comportamiento definido a un patrón errático, con posibles adelantos en la ocurrencia de la lluvia, como se ha presentado en los modelos utilizados en este trabajo. De los tres modelos aplicados, el modelo que presenta una mayor coherencia en cuanto al clima que se ha presentado históricamente, es el modelo MPI ECHAM 5, aunque el modelo GFDL CM 2.0 y HADGEM1 presentan un comportamiento similar, esto en cuanto a las proyecciones de los escenarios de temperatura y precipitación absolutos para el año 2030.

A lo que se puede aplicar un principio expuesto por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), al que hace referencia, “donde llueve poco, lloverá menos y donde llueve mucho lloverá más”, esto traducido, en que el clima se volvería más extremo, en general, disminuyendo los climas templados y semi-cálidos y aumentando los cálidos-húmedos y secos-cálidos.

Cabe mencionar que en primera instancia dichas proyecciones fueron generadas y utilizadas para el proyecto antes mencionado del INSP, se pretende que los datos sean considerados, como una aproximación potencial de la variabilidad climática al año 2030, ya sea para diferentes estudios de la comunidad académica y/o planteados para los diversos sectores que podrían ser afectados ante este fenómeno, como el sector agropecuario: el cual es una actividad fundamental en la economía de los países, ya que el cambio climático puede disminuir la retención de humedad en el suelo y disminuya la productividad y por ende el riesgo a perder cosechas.

El uso de suelo: ante el incremento en la temperatura los efectos pueden provocar un desfase en las estaciones del año, dando lugar a los ciclos de las alteraciones de las plantas como por ejemplo el florecimiento y brote de las hojas, así también el aumento de los eventos como incendios.

El sector hídrico, es uno de los más vulnerables al cambio climático, debido al aumento en evapotranspiración, resultado del calentamiento del planeta, los cuales reducirán la disponibilidad de agua y a su vez las demandas serán mayores. Y el caso del sector salud ya que a través de los cambios en la temperatura y precipitación sea considerado que estos cambios contribuyen a la carga global de las enfermedades y de muertes prematura a nivel mundial. Entre otros sectores, tomando este último como ejemplo ya mencionado en este trabajo.

En este sentido, se debe tomar en consideración los resultados de este trabajo, con resolución a nivel municipal, para el estado y los municipios que integran la República Mexicana quienes deben considerar que se tiene información valiosa, con la que podrían apoyarse para desarrollar acciones y estrategias reales de prevención para contrarrestar los efectos de la variabilidad climática futura.

Cabe señalar que las presentes simulaciones no incluyen eventos extremos como ciclones tropicales, por tanto, su efecto en las lluvias no está representado, aunque es un elemento importante, hasta el momento no se ha cuantificado. Por lo que la validación e incertidumbre de proyectar el clima futuro esta implícitamente asociada al conocimiento de los procesos que condicionan el sistema climático, de manera que no hay un método único para generar escenarios de cambio climático y que todo dependerá de la capacidad técnica y científica de cada país, así como de las emisiones futuras de GEI, aerosoles, y la sensibilidad del clima regional.

De esta forma, los resultados de la presente tesis, se deben considerar como una aproximación en las tendencias posibles a escala municipal para el año 2030, con respecto a las proyecciones realizadas por el Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional de México (GCCRS-CCA-UNAM), las cuales se validaron en comparación a la información proporcionada por este centro.

## BIBLIOGRAFÍA

PNUMA, & CMNUCC. (2003). *Cambio Climático, Compendio informativo, traducción de la publicación "Climate Change, Information Kit"*. Uruguay: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, Dirección Nacional de Medio Ambiente, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Unidad de Cambio Climático de Uruguay.

1-ESRI-ArcGIS. (2012). *ArcGis Centro de Recursos*. Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es>.

2-ESRI-ArcGIS. (2012). *La Georreferenciación y sistemas de coordenadas*. Obtenido de Arc GIS, Centro de Recursos: [http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Georeferencing\\_and\\_coordinate\\_systems/00v20000000q000000/](http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Georeferencing_and_coordinate_systems/00v20000000q000000/).

3-ESRI-ArcGIS. (2012). *Metodo de Interpolación*. Obtenido de ArcGIS Centro de Recursos: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z000000z400000/>.

4-ESRI-ArcGIS. (2012). *Spatial Join*. Obtenido de ArcGIS Centro de Recursos: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/005s0000003200000/>.

Agencia Estatal de Meteorología. (2009). *Generación de escenarios de cambio climático regionalizados*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, España: Gobierno de España.

al., S. C. (2011). *Elementos para entender el cambio climático y sus impactos*. México: Miguel Ángel Porrúa.

- Arcila, G. M. (2003). *SIG y Medio Ambiente: Principios básicos*. Obtenido de Capitulo primero, Los Sistemas de Información Geográfica (SIG): <http://www2.uca.esdeptfilosofiaTEMA%201.pdf>.
- CMNUCC. (1992). *Información básica sobre el cambio climático*. Artículo 1, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Conde, Á. C. (2006). *México y el cambio climático global*. Dirección General de Divulgación de la Ciencia (DGDC), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Conde, Á. C., & Gay, G. C. (2008). *Guía para la Generación de Escenarios de Cambio Climático a escala regional*. México: Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.
- Conde, Á. C., & Saldaña, Z. S. (2007). *Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación*. Santiago de Chile: Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA, Edición especial cambio climático, 23 - 30.
- Consejería de Medio Ambiente. (2007). *Escenarios regionales de cambio climático en Cantabria*. Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación, Gobierno de Cantabria: España.
- ESRI-SIGSA. (2012). *ESRI, Líder Mundial en Sistemas de Información Geográfica*. Obtenido de SIGSA, Distribuidor exclusivo para México de ESRI: [www.sigsa.info](http://www.sigsa.info).
- FCEA. (2012). *Variaciones en el clima y modelos climáticos, Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C.*
- Garduño, R. (2004). ¿Que es el efecto invernadero? En J. Martínez, & A. Fernández, *Cambio Climático una Visión desde México*. México: INE-SEMARNAT.
- Gutiérrez J. M. et al. (2010). *Escenarios Regionales Probabilísticos de Cambio Climático en Cantabria: Termopluviometría*. Santander, España: Consejería de Medio Ambiente.
- INE. (2010). *¿Cómo se produce el cambio climático? El Efecto Invernadero*. Obtenido de Instituto Nacional de Ecología (INE):

[http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/queeselcc/comoseproduceelcc.html](http://cambio_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/queeselcc/comoseproduceelcc.html).

INE-SEMARNAT. (2006). *México Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México: (INE-SEMARNAT), Pag. 75-90.

IPCC. (1997). *Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el segundo informe de evaluación IPCC*. Documento técnico II, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

IPCC. (2000). *Escenarios de Emisiones, Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

IPCC. (2001). *"Climate Change" Intergovernmental Panel on Climate Change*.

IPCC. (2007). *Informe síntesis: Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra, Suiza: IPCC: 104.

Maderey, R. L. (1982). *Geografía de la Atmósfera*. México D.F.

Magaña, ed. (1999). *El Niño y el clima. Los Impactos de El Niño en México*. México: (CCA-UNAM).

Magaña, R. V. (2010). *Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones*. México : CCA-UNAM-INE.

McGuffie, K., & Henderson Seller, A. (1990). *Introducción a los Modelos Climáticos*. España.

OMM. (2007). *Escenarios Climáticos. Plan Estatal de Acción Climática para el Estado de Veracruz, México*. Organización Mexicana de Meteorólogos. AC, XVI Congreso Mexicano de Meteorología, Ed internacional Memoria del Congreso 20071116-01.

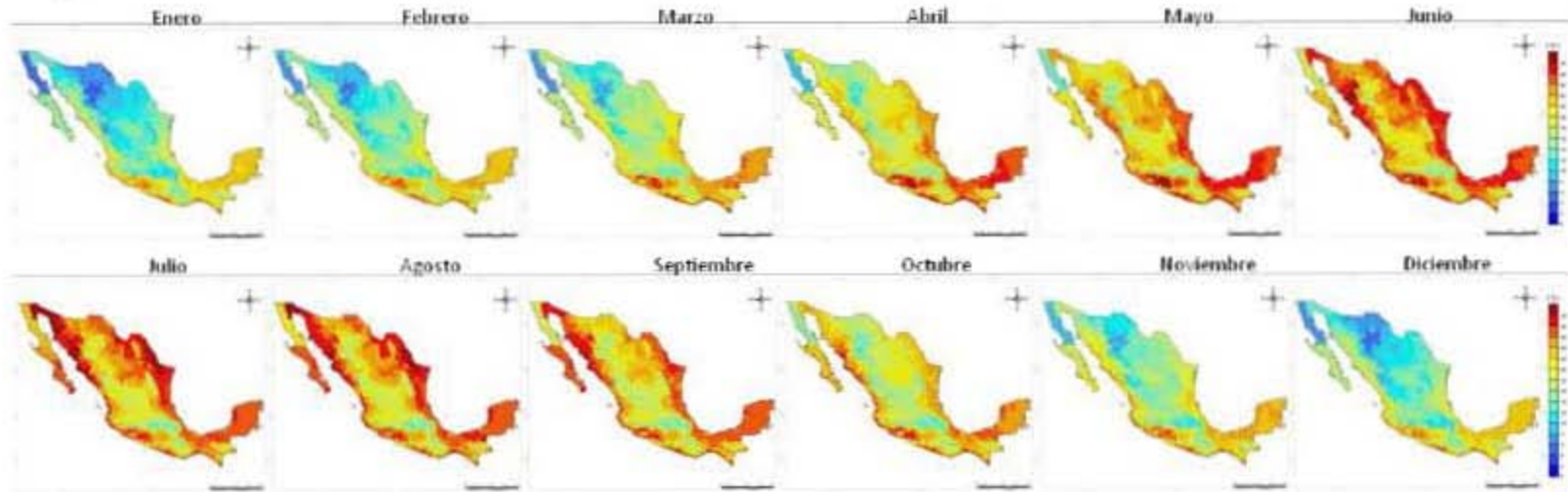
- OMS. (2003). *Cambio climático y salud humana - Riesgos y respuestas*. Organización Mundial de la Salud.
- PNUMA. (2005). *Cambio Climático, Proyecto Ciudadanía Ambiental Global*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Reyes, M., & Martínez, A. J. (2003). *Tecnologías de información, cartografía y geografía en la era digital*. Boletín de Política Informática No. 2.
- Rodriguez, C. E. (2006). *Escenarios de Cambio Climático Regionalizados*. España: Reportaje. INM, Ambienta.
- Salazar , A., & Masera, O. (2010). *México ante el Cambio Climático: Resolviendo Necesidades Locales con Impactos Globales*. Documento de Trabajo. Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad A.C.
- Sánchez I. et al. (2011). *Elementos para entender el cambio climático y sus impactos*. México: Porrúa.
- SENAMHI. (2005). *Escenarios de cambio climático en el Perú al 2050 (Cuenca del Río Piura)*. Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Programa de cambio climático y calidad de aire.
- SGNU. (2012). *Comentarios de México sobre el cambio climático y seguridad nacional e internacional*. Obtenido de Secretaria General de las Naciones Unidas: [http://www.un.org/esa/dsd/resources/res\\_pdfs/ga-64/cc-inputs/Mexico\\_CCIS\\_spanish.pdf](http://www.un.org/esa/dsd/resources/res_pdfs/ga-64/cc-inputs/Mexico_CCIS_spanish.pdf)
- SMN, & CNA. (2012). *Clima en México*. Obtenido de Servicio Nacional de Meteorología y la Comisión Nacional del Agua: [http://smn2.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=103&Itemid=80](http://smn2.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=103&Itemid=80).

Uribe, J. (2010). *Cambio Climático en México y sus repercusiones a corto plazo en el país*. Vivir México.

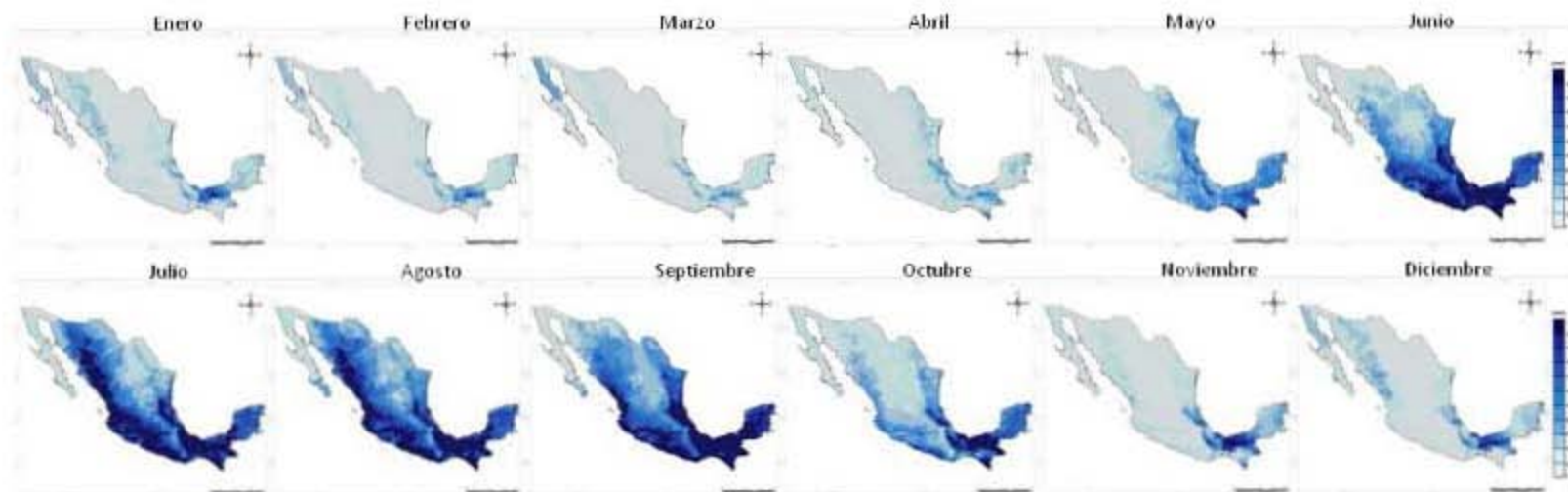
Vicente, G. J., & Virginia, B. C. (2008). *Consulta, edición y análisis espacial con Arc Gis 9.2. Tomo 1 Teoría*. España: Junta de Castilla y León: Consejería de Medio Ambiente.

Anexo I. Climatología 1950-2000.

Temperatura



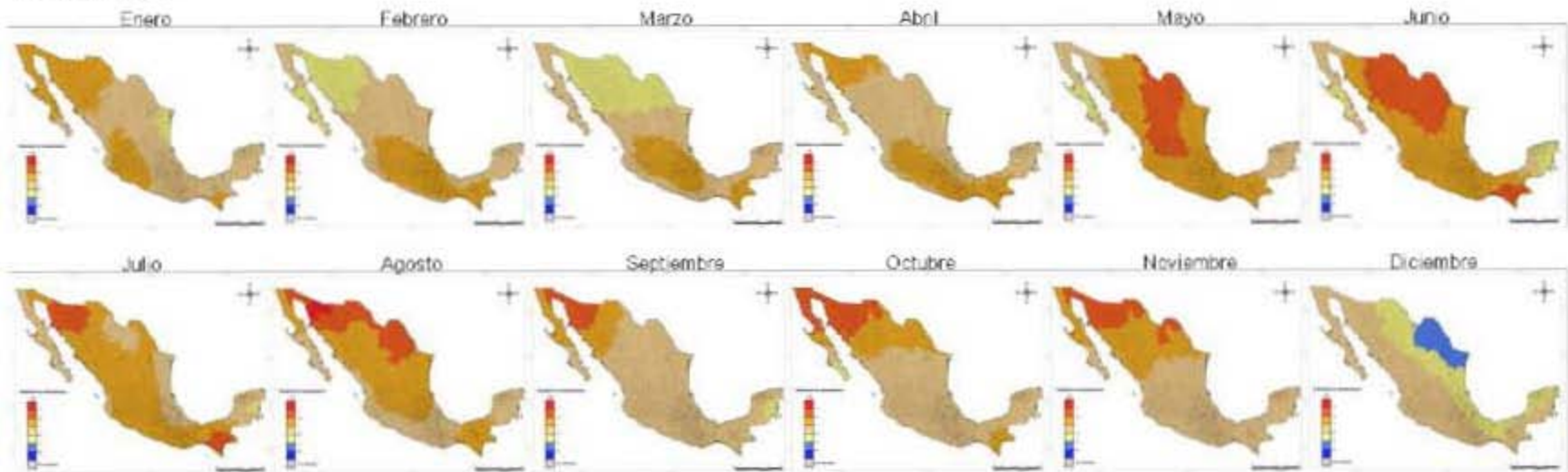
Precipitación



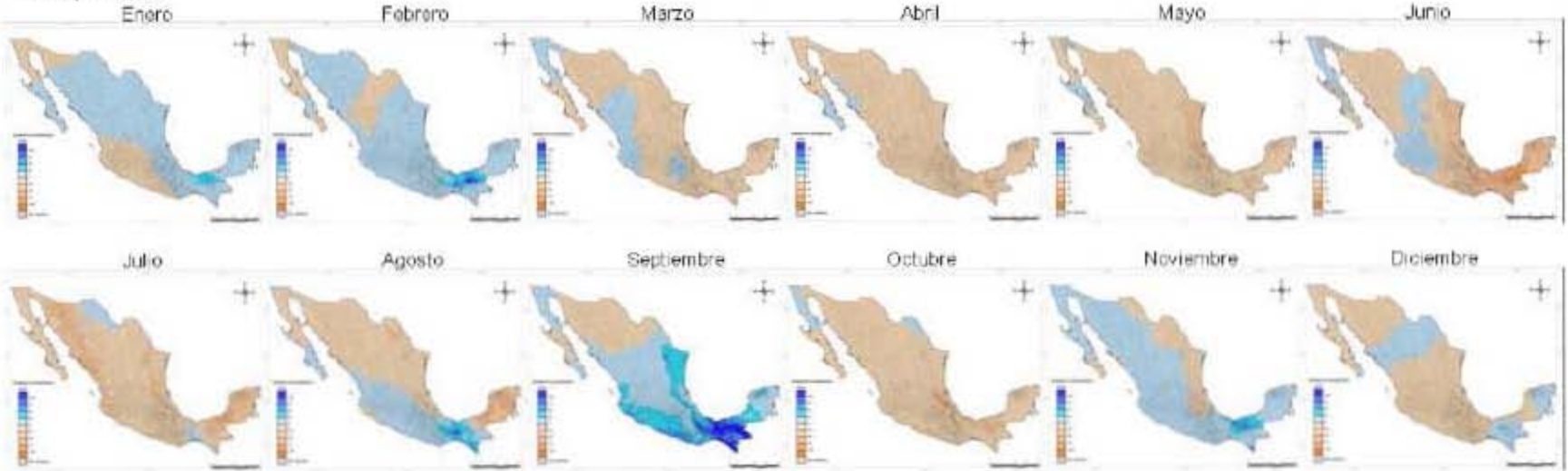


Anexo II. Incrementos, modelo MPI ECHAM 5. Escenario A2.

Temperatura

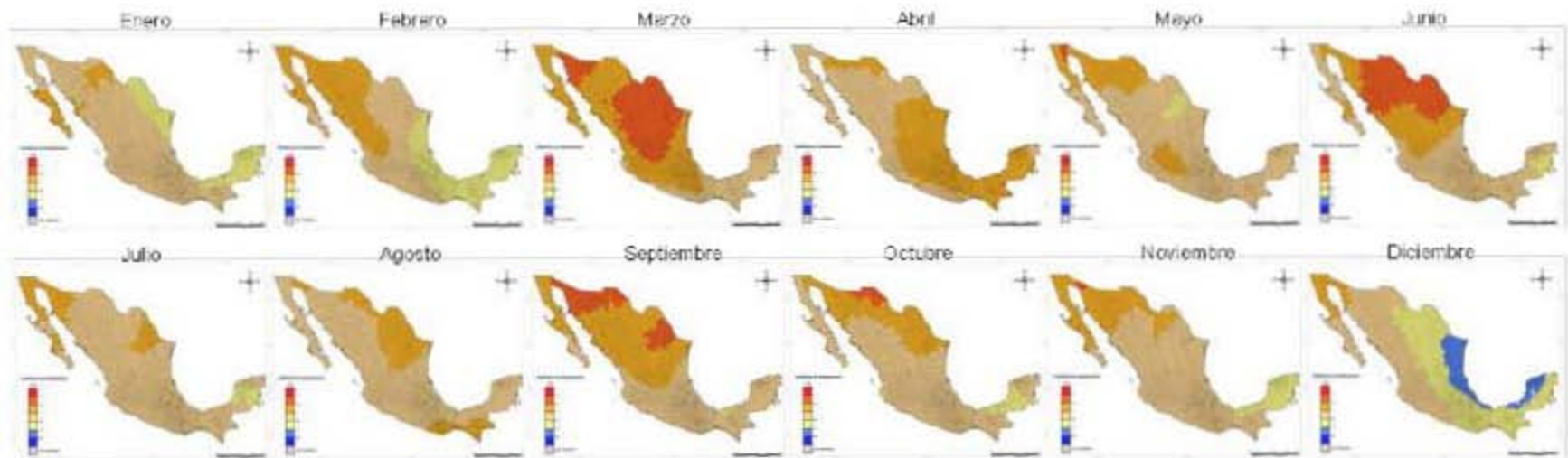


Precipitación

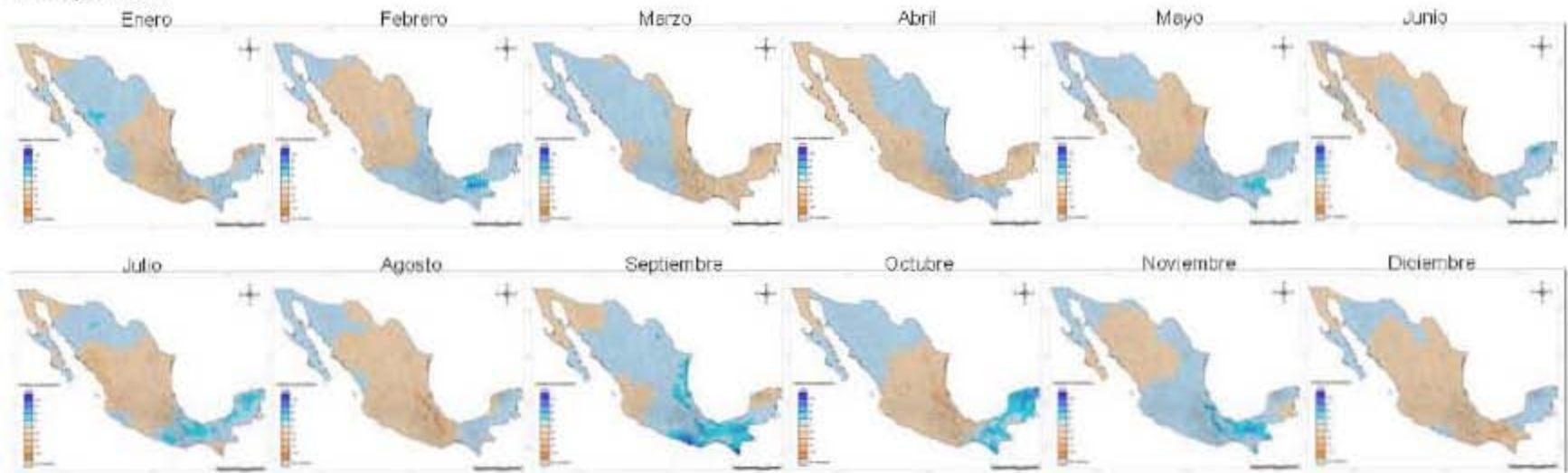


Incrementos, modelo HADGEM1, Escenario A2.

Temperatura

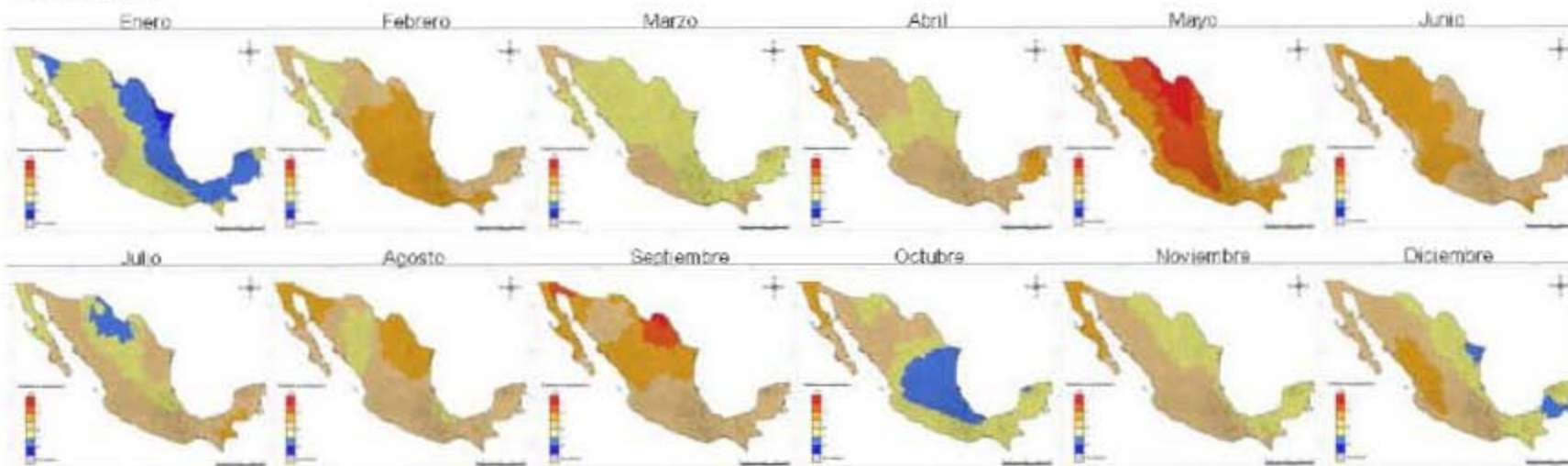


Precipitación

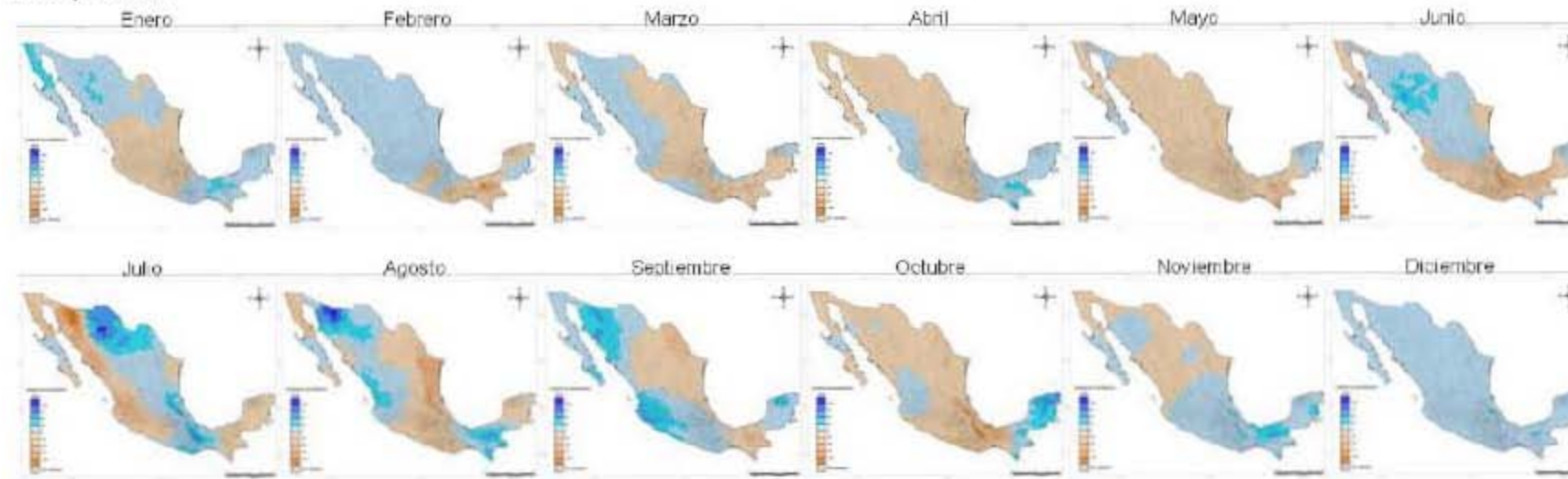


Incrementos, modelo GFDL CM 2.0, Escenario A2.

Temperatura

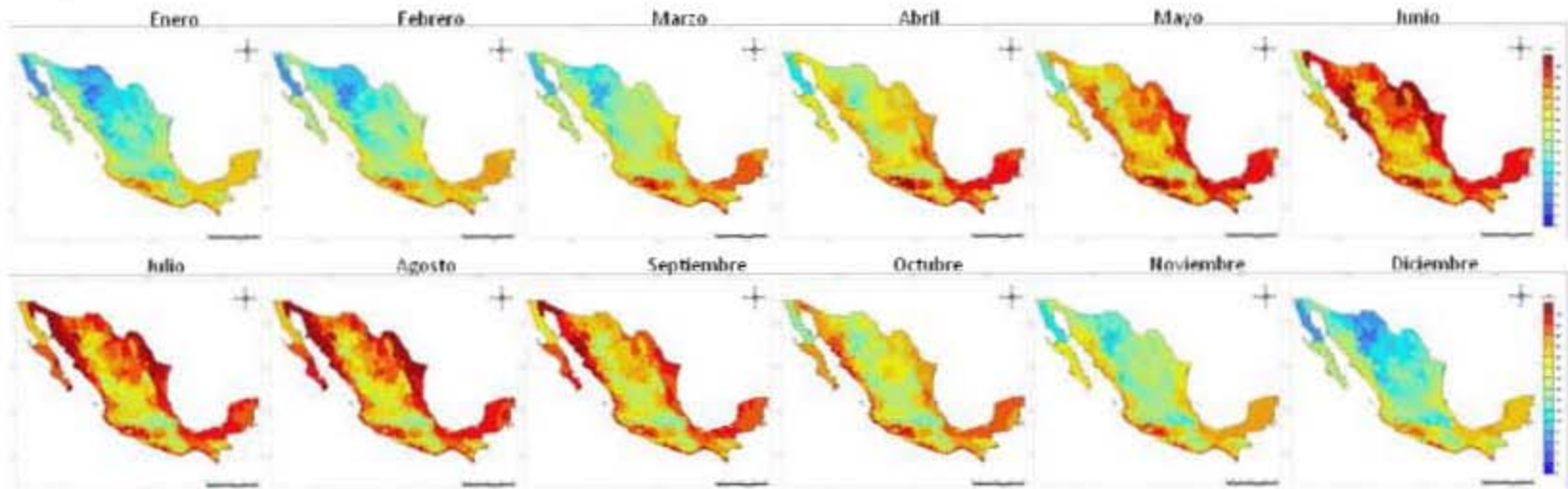


Precipitación

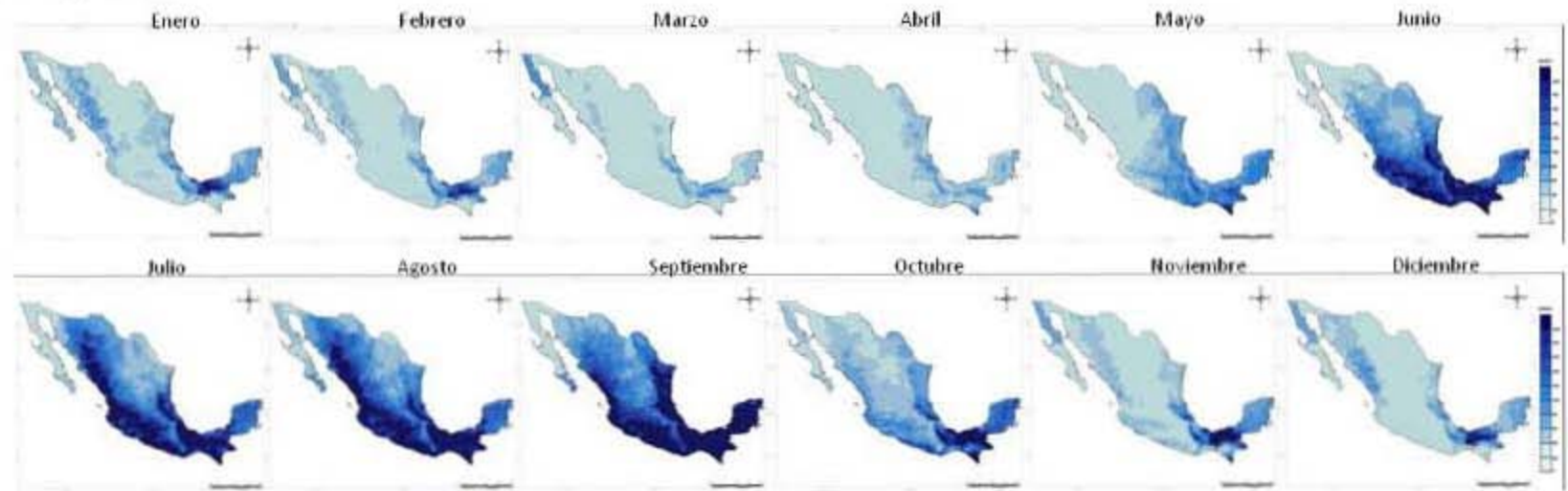


Anexo III. Escenarios de cambio climático para el año 2030, modelo MPI ECHAM 5. Escenario A2.

Temperatura

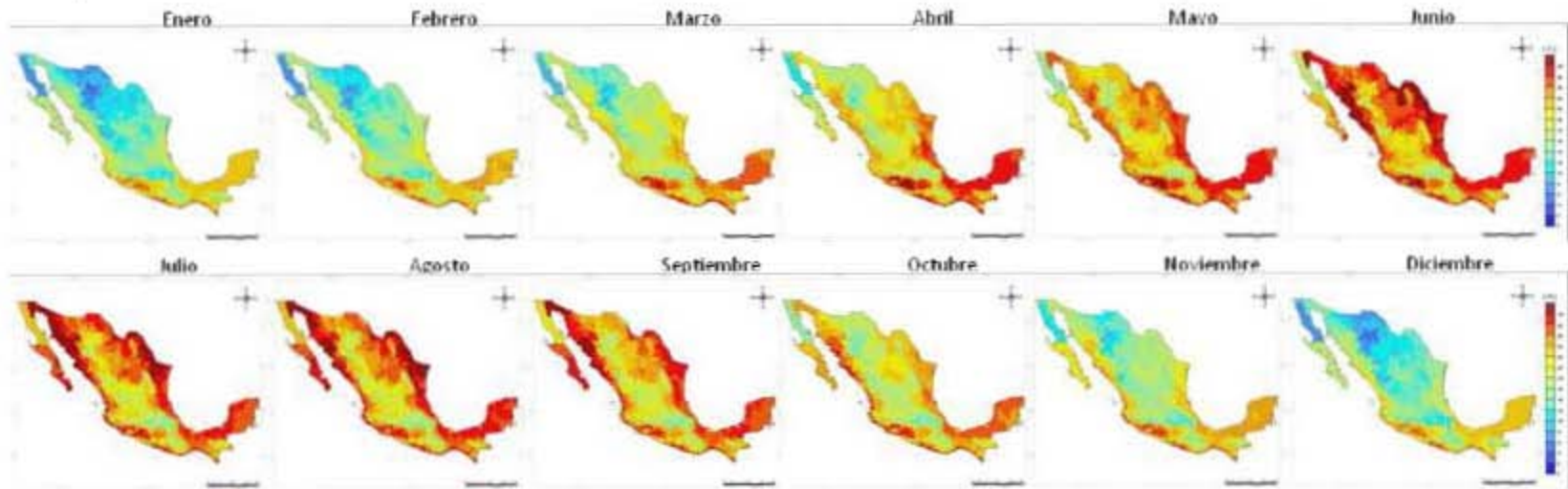


Precipitación

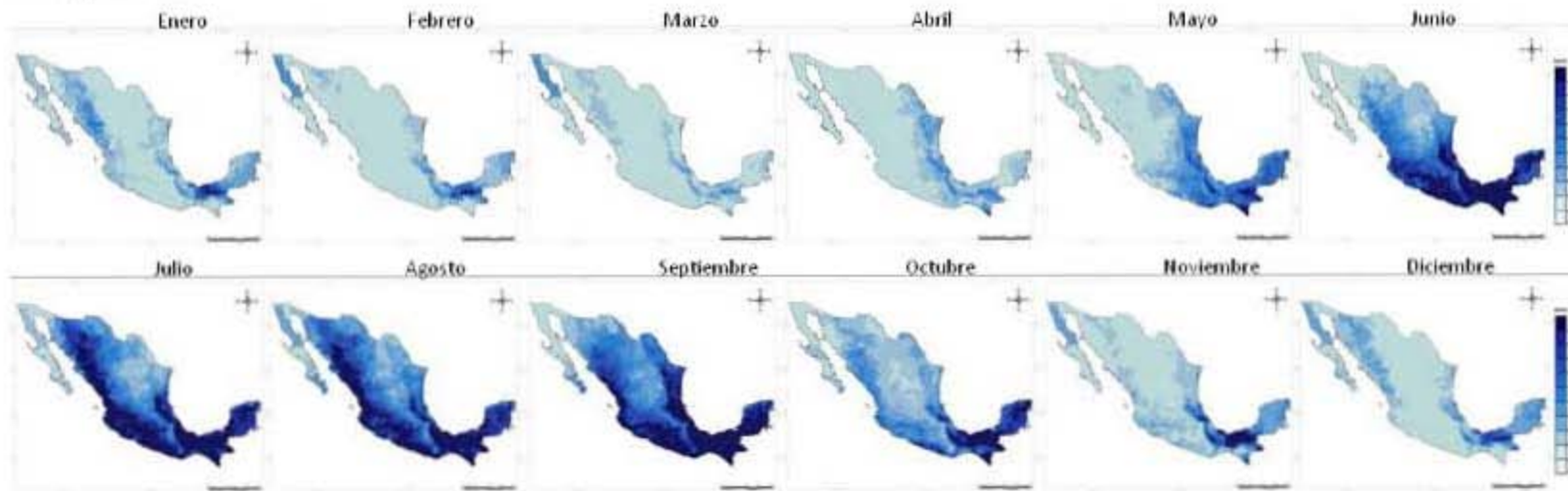


Escenarios de cambio climático para el año 2030, modelo HADGEM1, Escenario A2.

Temperatura

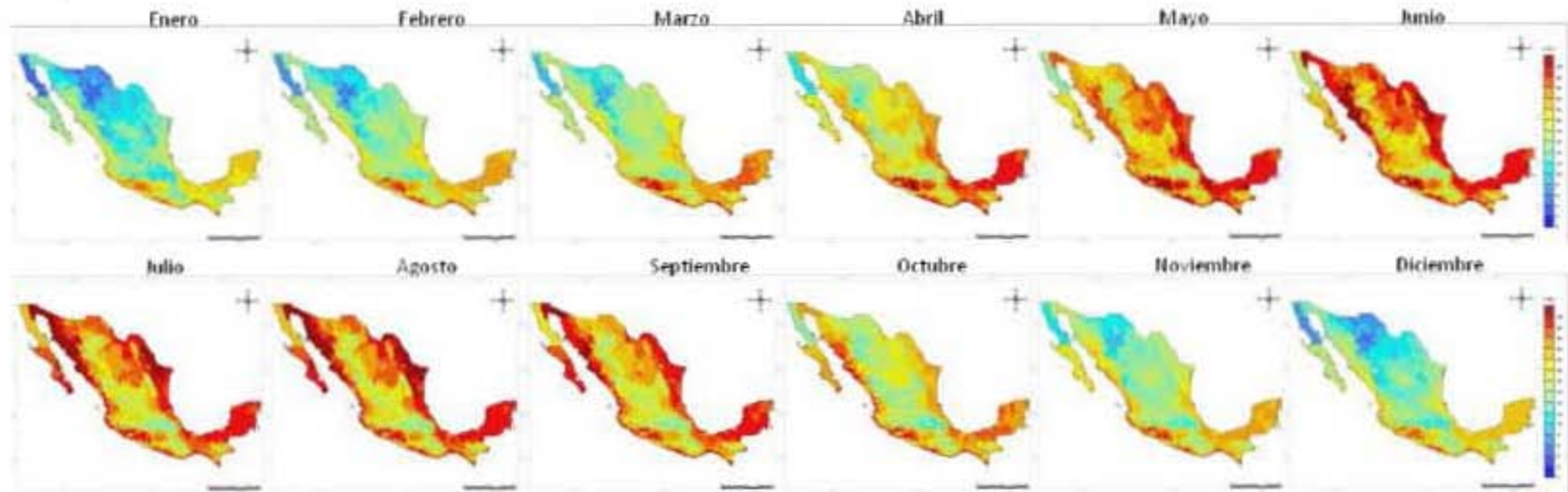


Precipitación



Escenarios de cambio climático para el año 2030, modelo GFDL CM 2.0. Escenario A2.

Temperatura



Precipitación

