

Identificación de modelos climáticos globales y regionales adecuados para las condiciones de México. Informe Final

SUBCOORDINACIÓN DE HIDROMETEOROLOGÍA
COORDINACIÓN DE HIDROLOGÍA

Dr. Ricardo Prieto González.
Dr. Martín Montero Martínez.
M. en C. José Luís Pérez López.

México, 2008

FI.C0.4.40.1

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	5
2	EL MODELO CCSM3 (COMUNITY CLIMATE SYSTEM MODEL VERSION 3)....	7
2.1	DESARROLLO DE LA COMPONENTE ATMOSFÉRICA.....	10
2.2	DESARROLLO DE LA COMPONENTE OCEÁNICA.....	10
2.3	DESARROLLO DE LA COMPONENTE TERRESTRE.....	11
2.4	DESARROLLO DEL COMPONENTE DE HIELO MARINO.....	11
2.5	METODOLOGÍA DEL ACOPLAMIENTO.....	12
3	EL MODELO MM5.....	13
3.1	TERRAIN:.....	14
3.2	REGRID:.....	14
3.3	RAWINS / LITTLE_R:.....	15
3.4	INTERPF:.....	17
3.5	MM5.....	17
3.6	EL USO DEL MODELO MM5 EN MÉXICO.....	19
4	LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	21
4.1	A1: RÁPIDO CRECIMIENTO CONVERGENTE.....	22
4.2	A2: MUNDO FRAGMENTADO.....	22
4.3	B1: ÉNFASIS EN LA CONVERGENCIA DEL MEDIO AMBIENTE GLOBAL.....	22
4.4	B2: SUSTENTABILIDAD LOCAL.....	22
4.5	DISCUSIÓN SOBRE LOS ESCENARIOS:.....	23
5	MODELACIÓN REGIONAL DE CLIMA.....	23
5.1	ANTECEDENTES.....	23
5.2	DESCARGA DE LOS DATOS.....	24
5.3	PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.....	28
5.4	DISEÑO Y EJECUCIÓN DE EXPERIMENTOS.....	30
5.5	AVANCE DE LAS SIMULACIONES DE LOS ESCENARIOS REGIONALES.....	34
5.6	SOBRE LOS DATOS DE LAS SIMULACIONES Y SU DISPONIBILIDAD.....	35
5.7	OBTENCIÓN DE DATOS.....	37
5.8	EJEMPLO DE PRE-PROCESAMIENTO.....	44
6	ANÁLISIS DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS.....	50
6.1	ANTECEDENTES.....	50
6.1.1	Objetivo.....	51

6.1.2	Actividades	52
6.2	METODOLOGÍA	52
6.3	TENDENCIAS CLIMÁTICAS HISTÓRICAS (1961-1990).....	54
6.3.1	Precipitación	54
6.3.2	Temperatura	106
6.4	PROYECCIÓN DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS (2010-2098)	152
6.4.1	Precipitación 2010-2039	152
6.4.2	Precipitación 2040-2069	165
6.4.3	Precipitación 2070-2098	179
6.4.4	Temperatura 2010-2039	193
6.4.5	Temperatura 2040-2069	207
6.4.6	Temperatura 2070-2098	215
7	INTERNET 2	224
7.1	ANTECEDENTES	225
7.2	INTERNET 2	226
7.3	CUDI	229
7.4	REUNIÓN DE PRIMAVERA 2008, CUDI, CHIAPAS	231
8	KANBALAM	231
8.1	SUPERCÓMPUTO EN LA UNAM	231
8.2	ARQUITECTURA	236
8.3	PROCESAMIENTO, SERVICIO Y CONTROL	237
8.4	ALMACENAMIENTO	238
8.5	INTERCONEXIÓN	239
9	RESULTADOS DE LAS CORRIDAS PARA LOS AÑOS 2010 Y 1998, MODELO MM5	241
9.1	SIMULACIÓN PARA EL AÑO 2010, MODELO MM5	241
9.2	SIMULACIÓN PARA EL AÑO 1998, MODELO MM5	251
10	CONCLUSIONES	262
10.1	ANÁLISIS DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS	262
10.2	MODELACIÓN REGIONAL DE CLIMA:	264
10.3	CONCLUSIONES GENERALES:	265
11	ANEXO A – ANEXO TÉCNICO: GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONAL EN EL SISTEMA DE SUPERCÓMPUTO KANBALAM-UNAM	266
11.1	ANTECEDENTES	266
11.2	OBJETIVO	267
11.3	RESULTADOS	268
11.4	REQUERIMIENTOS	268

12	ANEXO B – NOMENCLATURA DEL ARCHIVO FINAL	269
13	ANEXO C – INFORME DE ACTIVIDADES, COMITÉ DE MEMBRESÍAS DEL CUDI 270	
14	ANEXO D – TABLAS Y GRAFICAS DE VALIDACIÓN DE MODELOS PARA CADA ZONA DE ESTUDIO.....	271
15	ANEXO E	281
16	REFERENCIAS.....	291

1 INTRODUCCIÓN

En los informes de evaluación elaborados por los grupos de trabajo del *Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC)*, se prevé que en el presente siglo ocurra un aumento significativo de la temperatura de la superficie terrestre que alteraría otros aspectos fundamentales del clima, tales como la distribución espacial y temporal de las lluvias, la altura del nivel del mar y la circulación en los océanos y la atmósfera, entre otros, (*Haylock, et al., 2006; IPCC, 2007*).

Por otra parte, desde hace algunos años se ha tenido un importante avance en la evaluación de las proyecciones del cambio climático, debido principalmente al extenso número de simulaciones disponibles a partir de una gama muy amplia de modelos de circulación general océano-atmósfera (*AOGCM*) que, utilizados conjuntamente con la información adicional procedente de las observaciones, se genera una base de datos cuantitativa para una estimación regional en muchos de los aspectos del cambio climático futuro, (*Livezey, et al., 2007*).

Sin embargo, debido a la complejidad que representa efectuar un “*pronóstico*” de los patrones regionales del cambio climático previsible a escala global, así como determinar las incertidumbres inherentes en el sistema climático local, algunos aspectos del clima no se ha observado que hayan cambiado, aunado a que las tendencias climáticas cambian más de una región a otra (*Weisheimer y Palmer, 2005*).

Ante los efectos del cambio climático global y con motivo de facilitar y sustentar en bases científicas la toma de decisiones en el país relacionadas a medidas hidrológicas, planeación agrícola, así como medidas de orden político y socioeconómico, se necesita comprender los mecanismos físicos influenciados por el cambio climático sobre México, así como la contribución relativa de varios factores, como las temperaturas en superficie del océano, y las características de la cobertura del suelo. Estos mecanismos pueden ser estudiados por medio de simulaciones de modelos climáticos regionales, los cuales pueden producir información con una alta resolución en regiones que inicialmente contenían poca información, y llevando a cabo estudios de sensibilidad con respecto a diversos factores externos.

Las principales características del clima presente y futuro de México son grandes desafíos para los modelos climáticos más modernos y sofisticados: los elementos del clima y tiempo en México son muy complejos en diversas escalas de tiempo y de espacio que interactúan unas con otras, como por ejemplo las temperaturas superficiales del mar, los efectos orográficos, los fenómenos tropicales de gran escala como el Niño-Oscilación del sur, las circulaciones extratropicales como la Oscilación del Atlántico Norte, la diferencia en el calentamiento de la superficie terrestre, los procesos adiabáticos y las interacciones con los fenómenos locales de

superficie, así como los generadores de sistemas de viento como las ondas del este, la zona de convergencia intertropical, y el monzón mexicano que producen lluvias sobre varias zonas del país.

Las bases para determinar la confiabilidad de los modelos climáticos sobre México, son la revisión de que las simulaciones reproduzcan de forma adecuada los complejos sistemas de viento y lluvia en el ciclo estacional y su distribución espacial.

Algunos modelos climáticos globales con mallas burdas son capaces de representar características básicas de los patrones de lluvia sobre México. Sin embargo, la variabilidad de la lluvia es totalmente subestimada dependiendo de la resolución horizontal de la topografía del modelo. Por otra parte, existen deficiencias importantes al considerar los modelos climáticos globales en la alimentación de los datos entrada para estudios en la modelación hidrológica.

Las interacciones entre las diversas escalas, el papel fundamental que juega la topografía y la lluvia convectiva de escala local, requieren la aplicación de modelos numéricos de una alta resolución, con motivo incluir los procesos de mesoescala y su interacción con los procesos sinópticos y de escala planetaria. Los modelos climáticos de alta resolución pueden observar mejor los impactos regionales del aumento de los gases de efecto invernadero, los cambios en las temperaturas de la superficie del mar y los cambios en el uso del suelo, y así pueden mejorar los pronósticos climáticos y estacionales.

En resumen, la mejor aproximación para la modelación de clima regional de alta resolución sobre México o cualquier otra zona del mundo, es la conocida como la reducción de escala dinámica, donde de un modelo global las salidas de diagnóstico o pronóstico sirven como los datos de las condiciones de frontera y de la superficie oceánica a un modelo regional.

Las tendencias climáticas regionales son de interés tanto para entender los fenómenos climáticos naturales, así como los procesos inducidos por las actividades humanas. En relación con las tendencias climáticas globales, sin embargo, su detección se obstaculiza por fenómenos de menor escala y la influencia de procesos de clima regionales, tales como El fenómeno de El Niño y la Oscilación del Sur (*Zhai, et al., 2005*).

La detección de tendencia climática en la escala regional representa una actividad de investigación muy complicada, sin embargo, por la variación relativamente mayor asociada con procesos climáticos naturales, limita la importancia estadística de estimaciones de tendencia regionales en relación con aquellos para estimaciones de tendencia globales (*Meehl, et al., 2000; Kharin, et al., 2007*).

Dada la complejidad del sistema climático, las simulaciones de clima existentes en la actualidad aún carecen de todos los elementos necesarios para ser consideradas a escalas regionales o

locales, por lo cual se hace indispensable una estrategia de modelación de clima donde modelos regionales se anidan a modelos globales, conociéndose esto como reducción de escala dinámica.

En este informe se describe una estrategia para la realización de esta reducción de escala dinámica, donde el modelo global CCSM3 alimenta al modelo regional MM5, con el fin de que se tenga una mejor descripción en la escala espacial y temporal de las variaciones climáticas sobre la región de México. En este Segundo Informe Parcial se reporta el estado de avance en cuanto a la modelación dinámica regional, describiéndose la descarga y el procesamiento de datos, la conjunción e interpolación de los mismos, y la descripción de una primera corrida para el año 2010.

En este informe también se describen las actividades que se han desarrollado para llevar a cabo el estudio del análisis de las series de tiempo de las cuatro bases de datos climatológicos de la precipitación (*GPCP*, *CRU*, *CPC* y *SMN*) en nueve regiones geográficas de México y un período climatológico de referencia (*1980 a 1999*).

Varias de las actividades asociadas a las siguientes etapas de este proyecto están basadas en la elaboración de simulaciones de cómputo en equipos de alto rendimiento, como son la computadora KanBalam de la UNAM, para lo cual se ha incluido en este informe un resumen de las capacidades de este equipo de cómputo, y se ha elaborado el Anexo Técnico para un convenio entre la CONAGUA y la UNAM. Por su parte el IMTA dio de alta el servicio de Internet 2 dentro del Instituto, lo cual facilitó de manera importante el intercambio de los archivos correspondientes a las simulaciones climáticas de los modelos del IPCC, los cuales aportan las condiciones de frontera para las simulaciones regionales. El Internet 2 a su vez permite la transferencia masiva de datos entre el IMTA y la UNAM, cuando se ejecutan de manera sistematizada los experimentos climáticos.

2 EL MODELO CCSM3 (COMUNITY CLIMATE SYSTEM MODEL VERSION 3)

El modelo de comunidad de sistema climático (Community Climate System Model CCSM) es un modelo acoplado para simulaciones del clima pasado, presente y futuro. En su forma actual, el CCSM consiste de cuatro componentes: atmósfera, océano, hielo marino y superficie terrestre, interactuando por medio de un acoplador que intercambia flujos e información de estado entre estos componentes. El CCSM fue desarrollado y es utilizado por una comunidad internacional de estudiantes y científicos de universidades, laboratorios nacionales y otras instituciones. Las aplicaciones incluyen estudios de variabilidad interanual e interdecadal, simulaciones de regímenes paleoclimáticos, y proyecciones de cambio climático antropogénicos futuros. La versión más reciente, CCSM3, fue puesta en marcha por la comunidad el 23 de junio de 2004. El

código, la documentación, bases de datos de entrada, y simulaciones del modelo están disponibles en el sitio web del CCSM (<http://www.cesm.ucar.edu/models>). Esta sección describe algunos de los más importantes avances en la física y dinámica del modelo, que han mejorado simulaciones climáticas, además se describen algunos de los retos científicos restantes para el desarrollo futuro del CCSM.

CCSM3 es la tercera generación en una serie de modelos acoplados desarrollados por medio de colaboración internacional. El Modelo de Sistema Climático versión 1 (CSM1) fue puesto en funcionamiento en 1996 (Boville and Gent 1998). Este modelo fue notable porque dejó de requerir ajustes para los intercambios de flujos entre los componentes físicos para simulaciones de clima estables, relativamente libres de deriva. La segunda generación, el modelo de comunidad de sistema climático versión 2 (CCSM2), fue liberado en 2002 (Kiehl and Gent 2004). El clima simulado con CCSM2 mostraba muchas innovaciones en comparación con el clima generado por el CSM1. CCSM2 produce mejores simulaciones de temperaturas marinas superficiales extratropicales, mejor variabilidad tropical, y temperaturas terrestres superficiales más realistas. Sin embargo, muchas deficiencias importantes impulsaron un nuevo ciclo de desarrollos que resultaron en el CCSM3. Los principales desaciertos en el CCSM2 incluyen una doble ITCZ y una lengua fría extendida, subestimación de temperaturas superficiales terrestres invernales, subestimación de temperaturas de la tropopausa tropical, respuesta errónea de la nubosidad ante cambios de la temperatura superficial del mar, errores en el balance de la energía superficial disponible del Pacífico Este y subestimación de la variabilidad tropical. El nuevo modelo redujo o eliminó algunos de estos errores. Los modelos CSM1 y CCSM2 son comparados a detalle por Kiehl y Gent (2004).

La configuración del CCSM3 utiliza modelos terrestres y atmosféricos en mallas espectrales eulerianas con una truncación de número de onda T85 o similar, y modelos de hielo marino y océano en mallas con una resolución ecuatorial de 1°. Esta configuración ha sido aplicada para simulaciones de la evaluación del cambio climático. Versiones de resolución inferior del CCSM han sido creadas para diversas aplicaciones que incluyen, por ejemplo, simulaciones de procesos biogeoquímicos que requieren múltiples siglos para alcanzar el equilibrio, así como estudios de regímenes paleoclimáticos.

El sistema CCSM3 incluye nuevas versiones de todas las componentes del modelo: el Modelo Atmosférico de la Comunidad, Versión 3 (CAM3; Collins et al. 2004, 2006a), el Modelo de Comunidad de Superficies Terrestres, Versión 3 (CLM3; Oleson et al. 2004; Dickinson et al. 2006), El Modelo de la Comunidad del Hielo Marino, Versión 5 (CSIM5; Briegleb et al. 2004), y la parte oceánica que está basada en el programa paralelo Oceánico versión 1.4.3 (POP; Smith and Gent 2002). Cada una de estas componentes está diseñada para conservar la energía, masa, agua total, y agua dulce en conjunto con otras componentes.

Diseño para múltiples resoluciones y formulación de la dinámica atmosférica.

El modelo CCSM3 ha sido diseñado para producir simulaciones con una fidelidad razonable sobre un amplio rango de resoluciones y con una variedad de marcos de trabajo en la dinámica atmosférica. Esto se realiza gracias a la introducción de la dependencia de la resolución y dinámica en el paso de tiempo y otros 12 parámetros ajustables en CAM3 (Collins et al. 2004). Estos parámetros afectan la física que gobierna nubes y precipitación y los coeficientes de difusión bi-armónica de la temperatura, vorticidad, y divergencia. Los valores de los parámetros han sido ajustados para obtener simulaciones climáticas con balances de energía disponible prácticamente equilibrados, y promedios zonales realistas del forzamiento radiativo de nubes en la parte superior de la atmósfera.

La versión estándar del CAM3 esta basada en la dinámica básica espectral Euleriana con una truncación espectral en los números de onda 31, 42, y 85. La resolución zonal en el ecuador se encuentra en el rango entre 3.75° y 1.41° para la configuración T31 y T85. También es posible integrar el CCSM3 con un método de volumen finito de núcleo dinámico (Lin and Rood 1996; Lin 2004) en resoluciones de 2° por 2.5° , sin embargo en el presente esta variante del CCSM3 es una versión experimental que requiere mayor refinamiento. La dimensión vertical es tratada utilizando 26 niveles con una coordenada híbrida que sigue al terreno. La malla vertical tiene una transición de una región sigma pura en la capa más baja, hasta una región híbrida sigma-presión, que se encuentra aproximadamente encima de los 83 mb. El modelo terrestre es integrado en la misma malla horizontal que la atmósfera, sin embargo, cada rejilla es dividida aún más en una jerarquía de unidades terrestres, columnas de suelo, y tipos de plantas. Existen 10 capas de suelos subsuperficiales en el modelo CML3. Las unidades terrestres representan los patrones espaciales más largos de heterogeneidad submalla, que incluyen a los glaciares, lagos, humedales, áreas urbanas, y regiones de vegetación.

El modelo oceánico utiliza una malla dipolo con una resolución horizontal nominal de 3° or 1° . Las mallas semi-analíticas tienen el primer polo localizado en el polo sur real y el segundo polo localizado sobre Groenlandia (Smith et al. 1995). La dimensión vertical es tratada utilizando una coordenada de profundidad (z) con 25 niveles que se extienden a 4.75 km en la versión de 3° y 40 niveles que se extienden a 5.37 km en la versión de 1° . La malla de 1° tiene 320 puntos zonales en 384 puntos meridionales. El espaciamiento de los puntos de malla es 1.125° en la dirección zonal y aproximadamente 0.5° en la dirección meridional con la mayor resolución cerca del ecuador. El modelo de hielo marino es integrado en la misma malla horizontal que el modelo oceánico.

Las tres configuraciones estándar de CCSM combinan el CAM/CLM a T31 con el POP/CSIM a 3° , el CAM/CLM a T42 con el POP/CSIM a 1° , y el CAM/CLM a T85 con el POP/CSIM a 1° . Para brevedad nos referimos a estas tres configuraciones como resolución baja (T31 X 3°), intermedia (T42 X 1°), y alta (T85 X 1°). El modelo ha sido ejecutado en supercomputadoras vectoriales, supercomputadoras escalares y clusters Linux. En un sistema IBM SP4, las configuraciones de resolución baja, intermedia y alta requieren 62, 292 y 1146 horas de CPU

para la simulación de un año. Información adicional sobre el desempeño computacional del modelo se encuentra en el artículo de Yeager et al. (2006).

2.1 *Desarrollo de la componente atmosférica.*

El nuevo modelo atmosférico incluye cambios significativos en la dinámica, nubes, procesos de precipitación, procesos de radiación y tratamiento de aerosoles. La sección dinámica de volumen finito está incluida como una opción estándar para la integración de CAM. Las ecuaciones de tendencia pueden ser integradas con la formulación de división de procesos (process-split) o con la formulación de división de tiempo (time-split) en la aproximación de diferencias numéricas (Williamson 2002). En la formulación de división de procesos, las tendencias dinámicas y físicas son calculadas del mismo estado pasado del modelo, mientras que en la formulación de división de tiempo, las tendencias dinámicas y físicas del modelo son calculadas secuencialmente. La representación de división de procesos y división de tiempo son utilizadas por la dinámica Euleriana y de volumen finito, respectivamente. La física de nubes y procesos de precipitación ha sido modificados extensivamente (Boville et al. 2006). Las modificaciones incluyen tratamiento separado del pronóstico de condensado líquido y hielo; advección, arrastre y sedimentación de condensado de nubes; y el tratamiento separado de precipitación líquida y congelada. El código de la radiación ha sido actualizado con un tratamiento generalizado de cobertura geométrica nubosa (Collins et al. 2001), y nuevas parametrizaciones para interacciones de radiación de longitud de onda larga y longitud de onda corta con el vapor de agua (Collins et al. 2002a, 2006b). Como una opción estándar para el modelo se puede utilizar el pronóstico del ciclo del Azufre desarrollado por Barth et al. (2000) y Rasch et al. (2000) para predicciones de aerosoles de sulfato. Para calcular los efectos directos de aerosoles troposféricos en los flujos radiativos y en los las razones de calentamiento, se utiliza una distribución prescrita de sulfato, polvo de suelo, especies de carbono, y sal marina derivada de asimilaciones tridimensionales (Collins 2001; Rasch et al. 2001, Collins et al. 2002b). Los efectos correspondientes a los aerosoles volcánicos estratosféricos son parametrizados de acuerdo a Ammann et al. (2003). Los efectos indirectos de los aerosoles en el albedo de las nubes y en el tiempo de vida de las nubes no están incorporados en el modelo CAM3.

2.2 *Desarrollo de la componente oceánica.*

El modelo oceánico CCSM3 ha mejorado la parte física y numérica. Las mejoras en la parte numérica incluyen una mayor eficiencia para resolver la ecuación de continuidad barotrópica, que optimiza la escalabilidad del modelo a un número grande de procesadores. También se redujo substancialmente un error sistemático en la profundidad de la capa límite utilizando un esquema de interpolación de orden cuadrático en la parametrización del perfil K (KPP) de mezclado vertical. Las mejoras en las bases físicas del KPP y la introducción de mayores consistencias en la discretización tienden a producir una modesta profundización de la capa límite. En lugar de la transmisión uniforme usada en CCSM2, la absorción de la radiación solar en la parte superior del océano varía mensualmente y espacialmente basada en las observaciones

en sitio de la clorofila presente y observaciones satelitales del color del océano (Ohlmann 2003). Las latitudes medias, regiones costeras y océanos ecuatoriales absorben mayor insolación cerca de la superficie, mientras que los océanos subtropicales transmiten más radiación. En otra desviación de generaciones previas de CCSM, una parametrización de doble mezclado difusivo en el océano es ahora incluida por default en el CCSM3, aunque sus efectos son muy pequeños (Danabasoglu et al. 2006). Los flujos turbulentos océano-atmósfera de momento, calor y humedad son calculados utilizando el vector viento relativo a las corrientes superficiales del océano. Sin embargo, los efectos de las rachas de vientos no están incluidos en los flujos turbulentos. Las parametrizaciones de rachas de vientos son todavía inciertas, y los experimentos con algunos de los tratamientos existentes sugieren que los efectos son relativamente menores.

2.3 *Desarrollo de la componente terrestre.*

El nuevo modelo terrestre está basado sobre una jerarquía de escalas de submallas anidadas que representan unidades terrestres, columnas de suelo o nieve, y tipos funcionales de plantas (Bonan et al. 2001; Oleson et al. 2004). El CCSM3 en su configuración estándar, incluye los efectos de competencia por agua entre diferentes tipos funcionales de planta. Uno de los objetivos primarios de los desarrolladores terrestres ha sido el reducir el error sistemático positivo en la temperatura continental durante el invierno boreal. Se han considerado modificaciones de la relación entre la altura de la nieve y la cobertura de la nieve fraccional, la cual tiene un impacto significativo en los albedos de la superficie de la tierra (Oleson et al. 2003), pero no han sido adoptados en CCSM3. La formulación de la biogeofísica ha sido modificada para incrementar los flujos de calor sensible y latente sobre superficies escasamente cubiertas por vegetación. En versiones anteriores del CCSM, el coeficiente de transferencia turbulento entre el suelo y el aire de la cobertura vegetal ha sido puesto a un valor constante para cobertura vegetal densa. La nueva formulación hace que este coeficiente dependa de la densidad de la cobertura vegetal caracterizada por índices de área de hojas y tallos (Oleson et al. 2004). Se utiliza un coeficiente de transferencia para obtener resistencias aerodinámicas para el calor y humedad que son datos de entrada para calcular los flujos de calor sensible y calor latente. Sobre grandes áreas de Eurasia, estos cambios resultan en una reducción de 1.5 a 2°C de la temperatura del aire a dos metros de altura.

2.4 *Desarrollo del componente de hielo marino.*

El nuevo CSIM incluye modificaciones a la formulación de dinámica de hielo, albedos de hielo marino, e intercambio de sal entre hielo marino y los mares circundantes. La advección horizontal de hielo marino se maneja con un remapeo incremental, que es un esquema de mayor precisión y eficiencia que el utilizado en versiones previas (Libscomb and Hunke 2004). La ecuación de momento ha sido modificada usando escalamiento de argumentos para mejorar las simulaciones de hielo a la deriva (Conolley et al. 2004). Los intercambios de agua dulce y salada entre el hielo y los océanos circundantes son calculados utilizando una constante de referencia (diferente de cero) de la salinidad del hielo marino (Schmidt et al. 2004). La adopción de un

valor único de salinidad en el hielo marino asegura que la sal es conservada en el sistema océano-hielo.

La parametrización del albedo en CCSM3 coincide con observaciones de la dependencia estacional del albedo en la profundidad de nieve, espesor del hielo y temperatura, dentro de la incertidumbre de las mediciones en el Ártico y Antártico (Perovich et al. 2002; Brandt et al. 2005). La dependencia en la temperatura proporciona un mecanismo simple para contabilizar el derretimiento de la nieve y su encharcamiento. Sin embargo, cuando el hielo es cubierto por nieve seca y fría, la parametrización del albedo en CCSM3 se reduce por cerca de 0.07 comparada a las observaciones. Bajo estas condiciones, el CCSM3 da un valor más apropiado a la nieve húmeda que a la nieve seca. Cuando la llegada de la onda corta es muy baja, por cerca de los 50 W m⁻² en mayo y los 90 W m⁻² en junio, es necesario el ajuste del albedo para asegurar el momento correcto para el inicio del derretimiento del hielo marino.

2.5 Metodología del acoplamiento

Los componentes físicos del modelo CCSM3 se comunican por medio del acoplador, que es un programa que gobierna la ejecución y tiempo de evolución del sistema completo (Craig et al. 2005; Drake et al. 2005). El modelo CCSM3 consta de 5 programas independientes, uno para cada uno de los modelos físicos y uno para el acoplamiento. Los modelos físicos ejecutan y se comunican por medio del acoplador de forma completamente asíncrona. El acoplador enlaza los componentes proporcionando las condiciones de los flujos en las fronteras y, donde fuese necesario, información del estado físico para cada modelo. El acoplador monitorea y mantiene la conservación para todos los flujos que intercambia entre los componentes. El acoplador puede intercambiar flujos e información de estado entre los componentes aunque tengan diferentes mallas y diferentes pasos de tiempo. Estas capacidades son utilizadas en la configuración estándar del CCSM3. Los datos del estado de los modelos son intercambiados entre diferentes mallas utilizando esquemas de interpolación bilineales, mientras que los flujos son intercambiados utilizando esquemas de remapeo conservativo de segundo orden. La información del estado básico intercambiada por el acoplador incluye temperatura, salinidad, velocidad, presión, humedad y densidad del aire en las interfases del modelo. Los flujos básicos incluyen flujos de momento, agua, calor y sal a través de las interfases del modelo.

En la configuración estándar T85 X 1°, la información de estado y los flujos de la atmósfera, tierra, y hielo marino, se transmite al acoplador cada hora, mientras que el océano intercambia esta información una vez al día. El paso de tiempo interno para los componentes terrestre, atmósfera, océano y hielo marino son 10 min, 20 min, 1 h, y 1 h respectivamente. Se consideran medidas particulares en la parte oceánica para aproximar el ciclo diario de insolación (Danabasoglu et al. 2006). Durante la integración, el acoplador repite una secuencia de operaciones de acoplamiento. Este ciclo incluye transmisión de datos para el océano, tierra, y el hielo marino; recepción de los datos del hielo marino y de tierra; transmisión a la atmósfera; y finalmente recepción de datos del océano y la atmósfera.

3 EL MODELO MM5

Este modelo fue desarrollado en la universidad estatal de Pennsylvania y el Centro de Investigación Atmosférica de los EEUU (NCAR) como un modelo de mesoescala y se ha mejorado continuamente con las contribuciones de los usuarios alrededor del mundo. El software del sistema modelador MM5 está en su mayoría escrito en lenguaje Fortran, y ha sido desarrollado como un modelo de comunidad.

El modelo de mesoescala MM5 es un modelo de área limitada, no hidrostático, que emplea la ecuación de continuidad de masa compresible. Resuelve las ecuaciones en términos de flujos y en coordenadas verticales sigma, diseñado para simular o predecir circulaciones atmosféricas a mesoescala, empleando esquemas de diferencias finitas para la solución de las ecuaciones de las ecuaciones utilizando el método semi-implícito en tiempo sobre una malla Arakawa tipo B (Fig. 1).

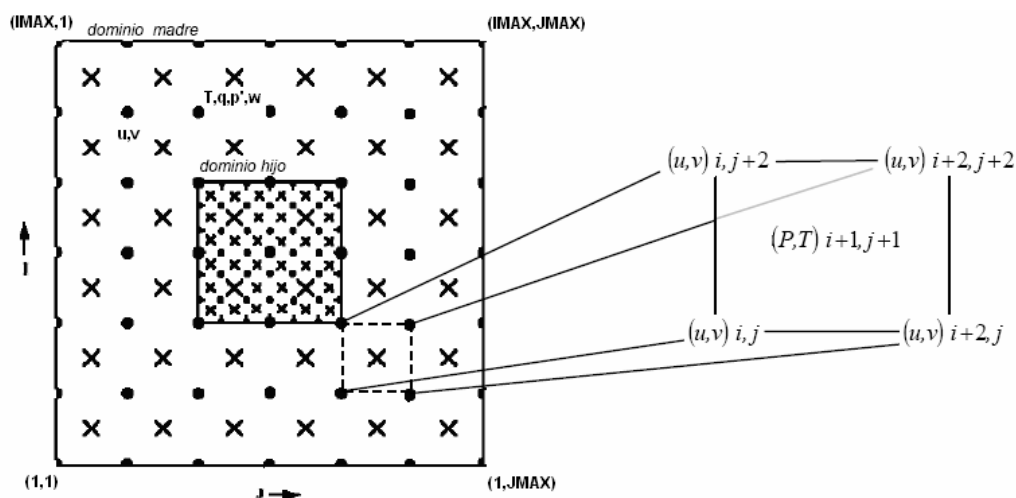


Figura 3.1. - Malla Arakawa tipo B (i y j representan el punto de posición dentro de la malla; u , v , P y T representan los parámetros asignados para tales puntos). Tomada de Caballero, 2005.

El modelo MM5 ha sufrido una cantidad de cambios diseñados para ampliar sus capacidades, entre las que se incluyen: (i) una capacidad de múltiple anidamiento, (ii) dinámica no hidrostática, la cual permite que el modelo pueda ser usado en una escala de unos cuantos kilómetros, (iii) capacidad de múltiples trabajos compartidos, (iv) una capacidad de asimilación de datos en cuatro dimensiones, y (v) más opciones físicas. Desde que el MM5 es un modelo regional, requiere una condición inicial como lo son las condiciones de fronteras laterales, para ejecutarse. Para producir las condiciones de frontera laterales para la ejecución del modelo se

necesita crear una malla de los datos que cubra el período de tiempo completo que el modelo MM5 integre.

El Sistema modelador MM5 está dividido en varios módulos: TERRAIN, REGRID, RAWINS/little_r, INTERPF Y MM5, cada módulo realiza funciones específicas dentro del procesamiento de los datos que requiere el modelo.

3.1 *TERRAIN:*

Realiza una interpolación horizontal de las coordenadas del globo terrestre (latitud y longitud) a una malla de mesoescala. De entrada, utiliza datos de elevación del terreno, uso del suelo, tipos de vegetación y cuerpos de tierra-agua. En TERRAIN se determina la resolución de la malla de los dominios madre y anidados, sobre los cuales se resolverán los sistemas de ecuaciones del modelo permitiendo utilizar hasta 5 dominios de trabajo. Algunas de las características del programa TERRAIN son las siguientes:

- Define el dominio del modelo y la proyección del mapa.
- Genera datos de tipos de uso de la tierra y el terreno en la malla del modelo.
- Genera los datos de tipos de vegetación y suelo para la opción del modelo superficie tierra del MM5.
- Calcula los factores de la escala del mapa y el parámetro de Coriolis para el modelo.

Las latitudes y longitudes de mallas de mesoescala debe encontrarse en el rango de

$$\begin{aligned} -90^\circ &\leq \varphi \leq 90^\circ \\ -180^\circ &\leq \lambda \leq 180^\circ \end{aligned}$$

Hay algunas restricciones en la definición de un anidamiento en el programa:

- Un anidamiento debe comenzar y terminar en un punto de la malla dominio si este es un anidamiento simple o múltiple (one-way y two-way respectivamente). Esto significa que para un anidamiento múltiple, el número de puntos de malla en el anidamiento debe satisfacer (el número de puntos de la malla del anidamiento – 1)/3 como un entero.
- Un anidamiento debe tener por lo menos 5 puntos de malla amplios lejos de la frontera del dominio. Esto es necesario para asegurar que suficientes puntos de datos estén disponibles cuando la interpolación de datos de malla amplia a fina sea realizada por el ajuste de interfase del anidamiento.

3.2 *REGRID:*

El propósito de REGRID es el leer la información meteorológica archivada en mallas de niveles de presión e interpolar esos análisis a una malla horizontal y a un mapa de proyección que define

previamente el programa TERRAIN. REGRID maneja niveles de presión y análisis de superficie. La interpolación en dos dimensiones se realiza en estos niveles. REGRID es el segundo paso en el diagrama de flujo del MM5, y a partir de las salidas del programa TERRAIN, crea archivos de lectura para RAWINS, LITTLE_R, o INTERPF. Estos archivos son generalmente usados como una primera aproximación para un análisis objetivo (RAWINS or LITTLE_R), siendo estos los que conforman los datos de entrada que requiere el modelo MM5 como lo son condiciones iniciales y de frontera.

REGRID no sólo es un programa, sino un conjunto de programas que manejan distintas tareas. Las tareas se dividen en componentes principales:

- Entrada de datos (esto es, la lectura de los análisis meteorológicos originales).
- Interpolación a la malla del MM5.

La tarea de entrada de datos se maneja por los programas que, colectivamente, son conocidos como “PREGRID”, y la interpolación a la malla del MM5 es manejada por el programa “REGRIDDER”. PREGRID extrae los parámetros que requiere el modelo, desde las mallas de análisis meteorológicos globales mientras que REGRIDDER interpola los datos con información meteorológica de las salidas de PREGRID, en la malla de cada dominio obtenido de TERRAIN. La comunicación entre estos programas se logra por medio de archivos intermedios escritos en formatos simples, el propósito es que los usuarios puedan fácilmente escribir sus propios datos de entrada en los programas.

3.3 RAWINS / LITTLE_R:

El propósito del análisis objetivo en la modelación meteorológica es mejorar los análisis meteorológicos (primera aproximación) en la malla de mesoescala (de los módulos en REGRIDDER), por medio de la incorporación de información procedente de observaciones. Tradicionalmente, éstas son observaciones “directas” de temperatura, humedad, y viento en superficie así como de reportes de radiosondeos. Debido a las técnicas de medición remota, están disponibles una importante cantidad de observaciones indirectas para investigadores y modelos operacionales. El uso efectivo de estas observaciones indirectas para análisis objetivo no es una tarea fácil. Los métodos comúnmente empleados para observaciones indirectas son entre otras las técnicas de variación en tres dimensiones y en 4 dimensiones (“3DVAR” y “4DVAR”, respectivamente), las cuales también pueden ser utilizadas para observaciones directas.

El sistema MM5 tiene grandes paquetes incluidos para el análisis objetivo de observaciones directas: el programa RAWINS y el programa LITTLE_R. Una adición al sistema MM5 es el paquete DVAR, el cual permite la asimilación variada de observaciones directas y de cierto tipo de observaciones indirectas. La entrada de análisis a LITTLE_R y RAWINS como primera aproximación son análisis generalmente de baja resolución a partir de la salida del programa REGRID.

Las capacidades de LITTLE_R y RAWINS incluyen:

- Opción del análisis de Cressman o Análisis Objetivo Multicuadrático.
- Varias pruebas para identificar datos de observaciones dudosas.
- Malla ampliada: Si se utilizó una malla ampliada en TERRAIN y REGRID, el análisis objetivo puede incorporar datos fuera de la malla para mejorar los análisis cerca de las fronteras. Estos programas reducirán la malla ampliada a las dimensiones sin expandir en salida.
- Desarrolla un análisis objetivo: combina las primeras aproximaciones de campo con radiosondeos y observaciones de superficies.

a) Análisis de Cressman

Tres de las cuatro técnicas de análisis objetivos usados en LITTLE_R y RAWINS están basados en el esquema de Cressman, en el cual varias exploraciones sucesivas producen una primera aproximación del campo hacia la cercanía de los valores observados. El análisis de Cressman estándar asigna a cada observación un radio circular de influencia R . La primera aproximación del campo en cada punto P de la malla es ajustada considerando todas las observaciones que influyen a P (Fig. 2).

La diferencia entre el campo de primera aproximación y las observaciones son calculadas, y un promedio de distancia de estos valores de diferencias son agregados al valor de la primera aproximación en P . Una vez que se hayan ajustado todos los puntos de la malla, el campo ajustado es usado, como la primera aproximación para otro ciclo de ajuste. A cada paso subsecuente se utiliza un radio más pequeño de influencia.

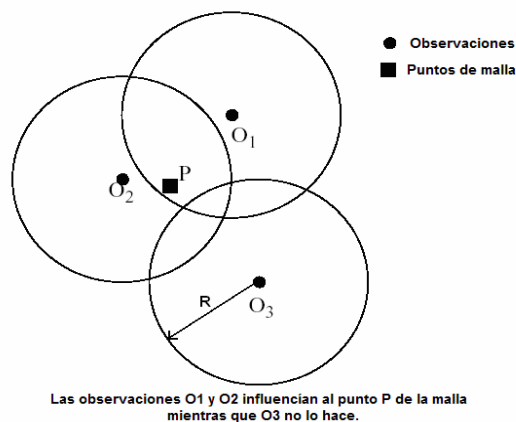


Figura 3.2– Análisis objetivo de Cressman donde los puntos distribuidos irregularmente indican la ubicación de estaciones de observación (O_1 , O_2 y O_3) que muestran una región de influencia de radio R .

Otras técnicas, a diferencia del Análisis objetivo tipo Cressman, interpolan directamente observaciones y no necesitan la definición de ningún radio de influencia. Por sus características, la técnica de Cressman se considera en general más adecuada para el análisis a escala sinóptica y global.

B) Análisis Objetivo Multicuadrático

Es también llamado método de interpolación con funciones hiperboloides, fue incorporado recientemente en la comunidad meteorológica, el cual basa su confiabilidad al incorporar una gran cantidad de datos al campo inicial, por lo que entre mayor sea la cantidad de buenas observaciones que se incorporen, menor será el error entre el campo inicial y el modificado por la asimilación de datos. Debe ser empleado con precaución ya que puede generar errores en áreas donde existe una gran ausencia o nulidad de datos. La salida de los programas de análisis objetivos es utilizada finalmente para proporcionar los campos para condiciones iniciales y de frontera (por medio del programa INTERPF).

3.4 INTERPF:

El programa INTERPF realiza la transformación de datos requerida para pasar de los programas de análisis al modelo de mesoescala. Esto requiere una interpolación de los datos de los niveles isobáricos a los niveles sigma requeridos por el módulo MM5 en la vertical. Las superficies sigma cercanas a la superficie del suelo siguen muy de cerca el terreno, y en los niveles sigma más altos las superficies tienden a aproximarse a una superficie isobárica. Las coordenadas verticales están definidas como:

$$\sigma = \frac{P_0 - P_t}{P_s - P_t}$$

donde P_0 es la presión de referencia que depende solamente de un estado de referencia constante, P_t es la presión en la altura tope del modelo, y P_s es la presión en la superficie. Debido a que ni P_t ni P_s cambian con el tiempo, sigma es constante en el tiempo. INTERPF toma los datos de salida de REGRID, RAWINS, LITTLE_R, O INTERPB como entrada para generar las condiciones iniciales y de fronteras laterales.

3.5 MM5

En este modulo se procesa toda la física del modelo, y es donde se realiza la parte de predicción numérica del tiempo del sistema modelador y elaboración de diagnósticos meteorológicos, también se resuelven todas las ecuaciones para que las condiciones iniciales y los resultados se vuelven a utilizar para un procesamiento posterior. Dentro de este módulo se especifican las características que se requerirán para ejecutar el modelo, tales como el periodo de pronóstico y

las parametrizaciones de los procesos físicos, así como la configuración de las opciones de cómputo a utilizar, tales como sistema operativo, paralelización en cómputo, número de procesadores para el caso de supercómputo y clusters, e inclusive el tipo de compilador a emplear para crear los archivos ejecutables del MM5.

Debido a sus características, opciones y ventajas, el modelo MM5 puede ser usado para una variedad de estudios teóricos y en tiempo real, incluyendo aplicaciones de ambas simulaciones de predicción y asimilación de datos en cuatro dimensiones para diversos estudios como monzones, huracanes, ciclones, desarrollos de sistemas convectivos a mesoescala, frentes, brisas tierra-mar, circulación de valle y montañas y las islas de calor urbanas.

Opciones Físicas: El modelo utiliza parametrizaciones de cumulus para el pronóstico de precipitación y se pueden elegir distintas opciones, en función de las características de las mallas y de los procesos o fenómenos atmosféricos que se estudien; las opciones de parametrización son las siguientes:

- 1.- Ninguna: No utiliza parametrizaciones de cúmulus, la convección es resuelta explícitamente, es recomendada a usarla para mallas de 1 a 10 km.
- 2.- Anthes-Kuo: Basado en convergencia de humedad aplicable a mallas grandes mayores a 30 km. Tiende a producir mucha lluvia convectiva, perfil de calentamiento específico, etc.
- 3.- Grell: Basado en la razón de desestabilización o cuasi-equilibrio, esquema de nube simple con flujos ascendentes y descendentes y movimiento de compensación determinando el perfil de calentamiento/humedecimiento. Utilizado para mallas pequeñas que van de 10-30 km, Tiende a permitir un balance entre la lluvia a escala resuelta y la lluvia convectiva.
- 4.- Arakawa-Schubert: Esquema de nubes múltiples que es parecido al esquema de Grill. Está basado en una población de nubes que permite el arrastre en flujos ascendentes y descendentes. Se utiliza generalmente para mallas de más de 30 km. Los efectos de la cizalla en la precipitación eficiente son considerados.
- 5.- Fritsch-Chapell: Basado en la relación para un perfil debido a flujos ascendentes, descendentes y propiedades de subsidencia regionales. El flujo de masa convectiva remueve el 50% de la energía boyante disponible en el tiempo de relajación. Razón de arrastre fijo. Adecuado para escalas de 20-30 km debido a la consideración de nube simple y subsidencia local. Este esquema predice ambas propiedades ascendentes y descendentes y también la transferencia de nubes y precipitación.
- 6.- Kain-Fritsch: Similar Fritsch-Chapell, pero usa un sofisticado esquema de mezclado de nubes para determinar arrastre/transferencia, y remoción de toda la energía boyante disponible en el

tiempo de relajación. Este esquema predice ambas propiedades ascendentes y descendentes y también la transferencia de nubes y precipitación.

7.- Betts-Miller: Basados en ajustes de relajación para una referencia de perfil termodinámico post-convectivo en un período dado. Este esquema se utiliza para mallas mayores a 30 km, pero sin corrientes descendentes explícitas, por lo que no puede ser adecuado para convecciones severas.

8.- Kain-Fritsch 2: Una nueva versión de Kain-Fritsch.

3.6 *El uso del modelo MM5 en México*

Existe una buena cantidad de razones que justifican el hecho de por qué el modelo MM5 haya sido el primer modelo de pronóstico numérico atmosférico de mesoescala en difundirse entre la comunidad meteorológica científica y técnica de México. El modelo MM5 es un modelo basado en los esquemas más avanzados de la física, dinámica y algoritmos numéricos para simular a la atmósfera de mesoescala, en su totalidad es soportado y documentado por grupos especializados de la comunidad científica de universidades y centros de investigación de la atmósfera en EUA e introducen mejoras continuas al código del modelo, por ser de código abierto y de distribución pública, cuyo código es portable a diferentes arquitecturas desde una supercomputadora hasta una PC, todo esto lo hace atractivo para una gran cantidad de usuarios a nivel internacional, siendo en América y el mundo el más popular en su tipo.

Durante la segunda mitad de la década de los 90's se inició en México la implementación de modelos numéricos de la atmósfera a nivel de mesoescala, con el apoyo de David Stensrud investigador del Laboratorio Nacional de Tormentas Severas en Oklahoma E.U., quien transfirió a investigadores mexicanos una versión operativa del modelo MM5, pero aplicada para hacer estudios de investigación, que luego sirvió de base para llevarla a una versión operativa para hacer pronóstico meteorológico sobre la región de México, todo ello fue posible a la colaboración entre el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (CCA/UNAM) y la Comisión Nacional del Agua a través del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (Lobato, 2001).

La siguiente serie de acontecimientos marcan la evolución sobre el uso de los modelos numéricos atmosféricos de mesoescala como el MM5 en México:

- En el CCA/UNAM 1998 se hacen los primeros experimentos de reducción de escala dinámica anidando el modelo MM5 con datos de REANALYSIS (Kalnay, 1998) y con salidas del modelo CCM2 (Community Climate Model, version 2, NCAR) (Magaña y Pérez, 1998).

- En 1998 en el CCA/UNAM se adapta el MM5 para hacer simulaciones en una computadora personal (PC) PENTIUM 3 a 300 MHz y en 1999 en una PC dual PIII a 550 MHz (Pérez y Magaña, 1998).
- En 2000 se aplica el MM5 para estudiar la variabilidad climática regional del estado de Tlaxcala (Pérez, 2001), usando datos de entrada de REANALYSIS.
- En junio de 1999 el IMTA a través de DGSCA/UNAM y usando una supercomputadora SGI ORIGIN 2000 implementa el modelo MM5 para realizar pronóstico meteorológico operativo para el SMN.
- En junio de 2000 el IMTA implementa por primera vez el modelo MM5 en SGI ORIGIN 2000 del SMN para el pronóstico operativo hasta 72 hrs. (Lobato 2000), (<http://smn.cna.gob.mx>).
- En 2001 en el CCA/UNAM (Comunicación personal) y el IMTA se aplica el modelo MM5 para hacer experimentos de sensibilidad climática al modificar el uso de suelo a nivel nacional, regional y local (Salinas 2001).
- En 2002 el CCA/UNAM implementa en modo operativo y en tiempo real el módulo de asimilación de datos LITTLE-R del MM5, generando diariamente pronósticos a 48 hrs. (<http://pembu.atmosfcu.unam.mx/version/index.html>).
- En 2003 el IMTA a través del SMN implementa el modelo MM5 en un CLUSTER de 8 PC's P4 a 1 GHz (Lobato y Pérez, 2003).
- En 2005-2006 el IMTA configura un CLUSTER HP Proliant de 30 procesadores del SMN e implementa operativamente el modelo MM5 para generar pronósticos a 72 horas (Montero y Pérez, 2006).

Hasta la fecha el número de usuarios y de aplicaciones del modelo MM5 se ha incrementado notablemente, pero principalmente basadas en las primeras experiencias, desde entonces han llegado o ha sido formada una nueva generación de meteorólogos que están listos para aportar nuevos conocimientos e ideas, es por esto que grupos de investigadores como los del CICESE (Centro de Investigaciones Científicas y de Educación Superior de Ensenada), operativos de la Secretaría de Marina, académicos de la Universidad Veracruzana entre otros pasarán a formar parte de esta historia.

Ahora surge la necesidad de generar escenarios regionales de proyecciones de cambio climático usando la técnica de reducción de escala dinámica. Los trabajos pioneros en este tema los realizó Fillipo Giorgi en NCAR, donde usó la versión 4 del MM5 para entregarle como condiciones iniciales y de frontera las salidas de un Modelo de Circulación General (MCG) (Giorgi, 1989), mostró con detalle la factibilidad de poder realizar la simulación del clima a nivel de mesoescala.

4 LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en su “reporte especial de escenarios de emisiones” (SRES) estimó los posibles caminos futuros de las emisiones de los gases de invernadero derivados de suposiciones autoconsistentes del uso de energía, crecimiento de la población, desarrollo económico y otros factores. Se consideraron una variedad de posibles puntos de vista, pero explícitamente se excluye cualquier política global para la reducción de las emisiones y así evitar el cambio climático.

Del SRES fueron seleccionadas seis de las proyecciones climáticas para su uso en el cuarto reporte del IPCC, las cuales se describen a continuación:

DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS

	Integración Global	Regionalización
Énfasis Económico	A1B Balance de energía	A2
	A1F1 Inyección intensa de combustible fósil	
	A1T	
Énfasis en el Medio ambiente	B1	B2

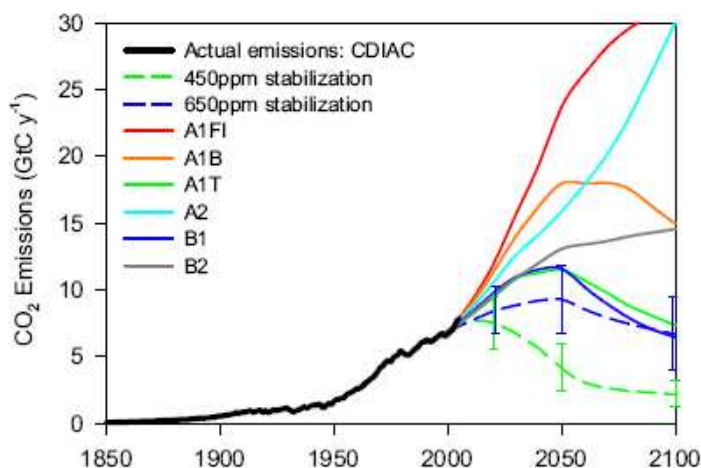


Figura 4.1 – Comparación de emisiones observadas y escenarios IPCC. Adaptado de Raupach, et al., 2007.

4.1 *A1: Rápido Crecimiento Convergente*

Todos los escenarios A1 describen un mundo futuro de rápido crecimiento de la economía y de la población global que alcanza su máximo en la mitad del siglo XXI y declinan posteriormente, así como la rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes.

La diferencia entre los escenarios A1F1, A1B, A1T es principalmente la fuente de energía utilizada para conducir esta economía en expansión:

A1FI: Uso intenso de combustible fósil.- El carbón, el aceite, y el gas continúan dominando el suministro de energía para el futuro inmediato.

A1B: Balance entre los combustibles fósiles y otras fuentes de energía

A1T: Énfasis en una nueva tecnología usando energía renovable en lugar del combustible fósil.

4.2 *A2: Mundo fragmentado*

El escenario A2 describe un mundo muy heterogéneo, donde los patrones de fertilidad a través de diversas regiones convergen muy lentamente, lo que resulta en un continuo crecimiento de la población global. El desarrollo económico es orientado regionalmente y el crecimiento en el ingreso económico per capita y el cambio tecnológico son más fragmentados y lentos que en otros escenarios.

4.3 *B1: Énfasis en la convergencia del medio ambiente global*

El escenario B1 describe un mundo convergente con una población global que alcanza su máximo a mitad de siglo y declina posteriormente, como en el caso del escenario A1; la diferencia es un cambio rápido en las estructuras económicas hacia una economía de servicios e información, con reducciones en el uso de los materiales y la introducción de tecnología limpia y eficiente. Este escenario da énfasis en soluciones globales en la sustentabilidad económica, social, y ambiental, incluyendo el mejoramiento a la igualdad, pero sin iniciativas adicionales en el tema climático.

4.4 *B2: Sustentabilidad local*

El escenario B2 describe un mundo en el cual el énfasis está en soluciones globales en lo económico, social, y ambiental. Es un mundo con un continuo incremento de población global en un índice menor que en el escenario A2, con niveles intermedios del desarrollo económico y un

cambio tecnológico lento y más diverso que en los escenarios B1 y A1. Mientras el escenario también está orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra en los niveles locales y regionales.

4.5 *Discusión sobre los escenarios:*

Considerando el aumento de la temperatura en el 2100, el escenario "más caliente" es A1FI, seguido por A2, A1B, B2, A1T, y B1 es el "más frío". Sin embargo, en el CO₂ de A1B y de A1T las emisiones fósiles están cayendo hacia 2100, mientras que en A2 y B2 todavía se están incrementando, implicando que los impactos del clima serán mayores el próximo siglo.

El SRES también especifica otros factores que influyen en el cambio climático. Por ejemplo, en los escenarios A1FI, B1 y B2, las emisiones del CO₂ por cambio en el uso del suelo descienden por debajo de cero (implicando una reforestación neta).

El escenario A2 tiene emisiones relativamente más altas de sulfato que A1FI (esto causa un enfriamiento local). En el escenario B1, las emisiones de metano y HFCs son muy bajas.

La visión de los próximos 100 años de los escenarios SRES es un tiempo demasiado corto para vislumbrar los efectos sobre algunos procesos ligados a los cambios del clima que son más lentos, especialmente el aumento del nivel del mar.

5 MODELACIÓN REGIONAL DE CLIMA

5.1 *Antecedentes*

El dominio escogido para la realización de las simulaciones contiene a lo que comúnmente se denomina mesoamérica, consistiendo de 200x120 nodos o puntos a una resolución de 39 Kms (Fig. 5.1), la elección de la cobertura del dominio madre responde a la necesidad de abarcar las zonas de donde provienen sistemas de origen tropical como ondas del este, ciclones que incursionan hacia México desde el Atlántico, el Caribe y el Pacífico durante el verano, y los frentes fríos durante el invierno, todos ellos afectando y formando parte de la climatología de México. La resolución de 39 km es suficiente fina para que el modelo capture las interacciones del flujo atmosférico con la orografía además de poder dar detalles sobre la evolución de los sistemas dentro del continente.

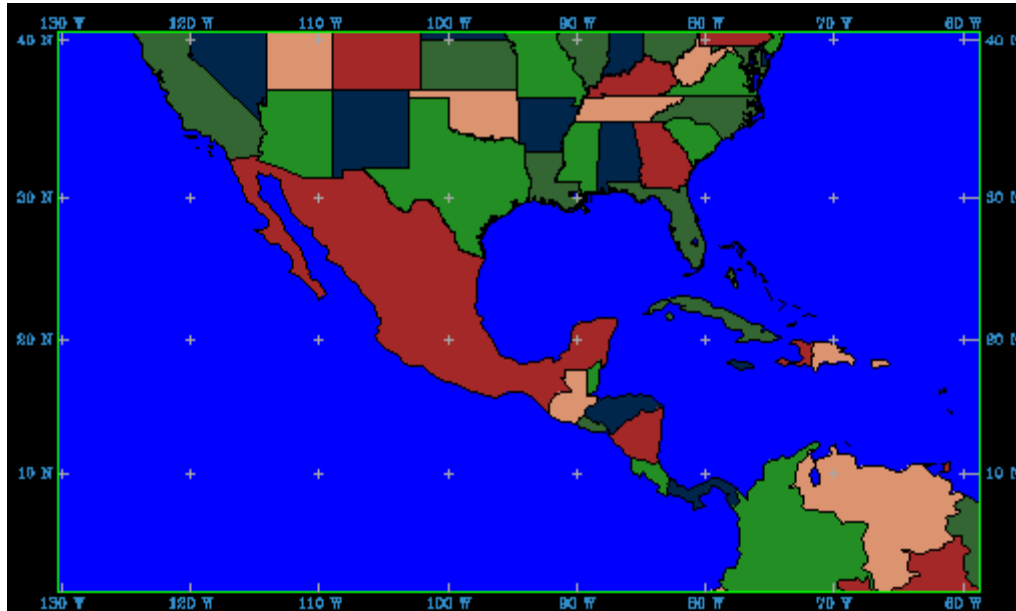


Figura 5.1 – Dominio utilizado para la realización de simulaciones.

5.2 Descarga de los datos

Para la recolección de datos de los modelos globales se utilizará, en primera instancia, el sistema conocido como el sistema de malla de la Tierra (Earth System Grid - ESG), el cual está integrado por super-computadoras con datos de gran escala y servidores de análisis localizados en varios laboratorios nacionales y centros de investigación, creando así un poderoso ambiente para la siguiente generación de la investigación climática.

Los colaboradores del ESG:

- Argonne National Laboratory
- Lawrence Berkeley National Laboratory
- Lawrence Livermore National Laboratory
- Los Alamos National Laboratory
- National Center for Atmospheric Research
- Osk Ridge National Laboratory
- University of Southern California/Information Sciences Institute

El resumen de los datos disponibles actualmente se presenta en la siguiente figura:

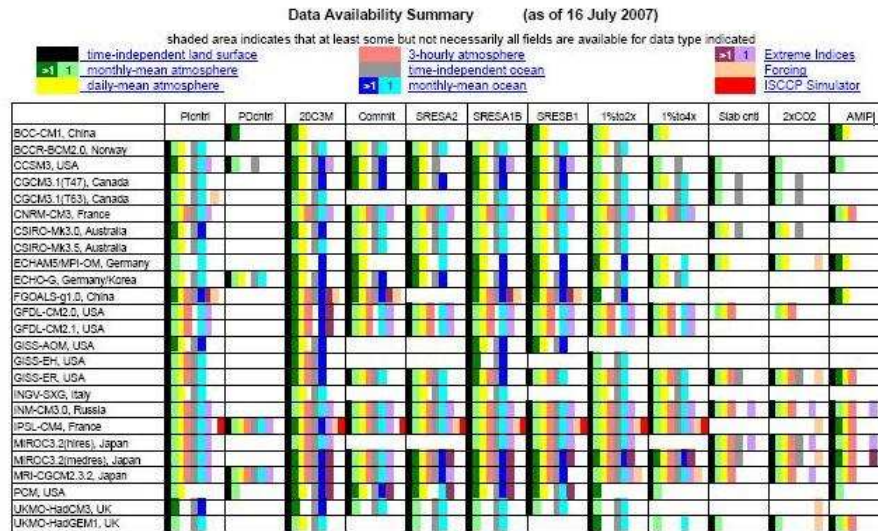


Figura 5.2 – Resumen de la disponibilidad de datos de la base Earth System Grid.

Los datos de salidas de los Modelos Climáticos de Circulación General que participaron en el 4° reporte especial del IPCC, estos se obtienen de la dirección URL siguiente:

<https://www.earthsystemgrid.org/>

Es el portal del servidor del Earth System Grid que concentra y pone a disposición de la comunidad científica un acervo gigantesco de cientos de Tera Bytes tanto de datos climatológicos en malla provenientes de observaciones como de modelos.

Para poder tener acceso a este servidor es necesario tener un login y password que puede ser solicitado al administrador del portal. Los datos de diferentes experimentos de escenarios de emisiones por cada modelo pueden obtenerse vía la combinación de una interfase WEB y el servicio ftp (para mayores detalles ver sección 5.7).

Se obtienen los datos del modelo CCSM (Community Climate System Model) de cada 6 horas correspondientes al experimento A2 de los escenarios de emisiones del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

Las variables obtenidas son:

Nombre	Variable, Unidades y Dimensiones	
U	viento zonal (m/s)	3D
V	viento meridional (m/s)	3D
Q	humedad específica	3D
T	temperatura del aire (°K)	3D
Z3	altura geopotencial (mgp)	3D
PHIS	altura del terreno (m)	2D
TS	temperatura de superficie (°K)	2D
PS	presión en superficie (Pa)	2D
PSL	presión reducida al nivel del mar (Pa)	2D

Los datos se encuentran en formato NETCDF, los archivos de campos en 2D y 3D contienen un mes de datos de campos instantáneos de cada 6 hrs, por ejemplo:

```
cam2.h3.U.2000-01-01_cat_2000-01-31.nc
cam2.h3.V.2000-01-01_cat_2000-01-31.nc
cam2.h3.Q.2000-01-01_cat_2000-01-31.nc
cam2.h3.T.2000-01-01_cat_2000-01-31.nc
cam2.h3.Z3.2000-01-01_cat_2000-01-31.nc
cam2.h3.TS.2000-01-01_cat_2000-01-31.nc
cam2.h3.PS.2000-01-01_cat_2000-01-31.nc
cam2.h3.PHIS.2000-01-01_cat_2000-01-31.nc
cam2.h3.PSL.2000-01-01_cat_2000-01-31.nc
```

Los tamaños de los archivos son grandes significativamente y no fue posible fraccionarlos tal como se hace desde otras fuentes, los datos son clasificados en variables de altura (Tabla 5.1) y en datos de superficie (Tabla 5.2). El avance de descarga porcentual de los datos del modelo CCSM son del 43% para el escenario A2 y del 12% para el escenario A1B (Tabla 5.3)

Tabla 5.1 – Se muestran los tamaños típicos en MB de los archivos de las variables de altura (3D) del modelo CCSM para cualesquiera de los escenarios.

<i>Variable</i>	<i>Ene.</i>	<i>Feb.</i>	<i>Mar.</i>	<i>Abr.</i>	<i>May.</i>	<i>Jun.</i>	<i>Jul.</i>	<i>Ago.</i>	<i>Sep.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Dic.</i>	<i>1 Año</i>
Q	404	365	404	391	404	391	404	404	391	404	391	404	4757
T	404	365	404	391	404	391	404	404	391	404	391	404	4757
U	404	365	404	391	404	391	404	404	391	404	391	404	4757
V	404	365	404	391	404	391	404	404	391	404	391	404	4757
Z3	404	365	404	391	404	391	404	404	391	404	391	404	4757

Tabla 5.2 – Se muestran los tamaños típicos en GB de un archivo de las variables de superficie (2D) del modelo CCSM disponibles por década en cualquiera de los escenarios.

<i>Década</i>	2000-2009	2010-2019	2020-2029	2030-2039	2040-2049
<i>Tamaño</i>	18 GB	18 GB	18 GB	18 GB	18 GB
<i>Décadas</i>	2050-2059	2060-2069	2070-2079	2080-2089	2090-2099
<i>Tamaño</i>	18 GB	18 GB	18 GB	18 GB	18 GB

Tabla 5.3 – Avance de descarga de los datos en porcentaje y por año para los escenarios A2 y A1B del modelo CCSM.

<i>Experimento SREA2 (43% de avance total)</i>													
<i>Año</i>	<i>2000</i>	<i>2001</i>	<i>2002</i>	<i>2003</i>	<i>2004</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>
avance	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Año</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>2015</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>	<i>2023</i>	<i>2024</i>	<i>2029</i>
avance	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Año</i>	<i>2030</i>	<i>2039</i>	<i>2040</i>	<i>2049</i>	<i>2050</i>	<i>2059</i>	<i>2060</i>	<i>2069</i>	<i>2070</i>	<i>2079</i>	<i>2080</i>	<i>2089</i>	<i>2090</i>
avance	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Año</i>	<i>2099</i>	<i>2025</i>	<i>2026</i>	<i>2027</i>									
avance	100%	100%	100%	100%									
<i>Experimento SREA1B (12% de avance total)</i>													
<i>Año</i>	<i>2000</i>	<i>2001</i>	<i>2002</i>	<i>2003</i>	<i>2004</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2039</i>	<i>2040</i>	
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	

5.3 *Procesamiento de los datos*

i. *Conjunción de los datos*

Una estrategia para tener un mejor control de los datos a procesar fue, la de reducir el número de archivos de datos mediante una conjunción de archivos cuyo contenido era de un mes a archivos que contuvieran hasta 1 año de datos (Tabla 5.4).

A continuación se muestra un ejemplo del tamaño de datos unidos por mes, antes mencionados, en la cual se encuentra el tamaño por mes y el tamaño total por año una vez unidos.

Tabla 5.4 Relación de tamaños entre los archivos del modelo CCSM de datos mensuales y de los archivos de datos una vez unidos.

Mes / Año	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Total
2000	2.1 GB	1.9 GB	2.1 GB	2.0 GB	2.1 GB	2.0 GB	2.1 GB	2.1 GB	2.0 GB	2.1 GB	2.0 GB	2.1 GB	24 GB
2004	2.1 GB	1.9 GB	2.1 GB	2.0 GB	2.1 GB	2.0 GB	2.1 GB	2.1 GB	2.0 GB	2.1 GB	2.0 GB	2.1 GB	24 GB

Por cada mes los archivos originales descargados se conjuntan usando los comandos NCO, ver detalles en el ANEXO B.

ii. Interpolación de coordenadas híbridas a presión

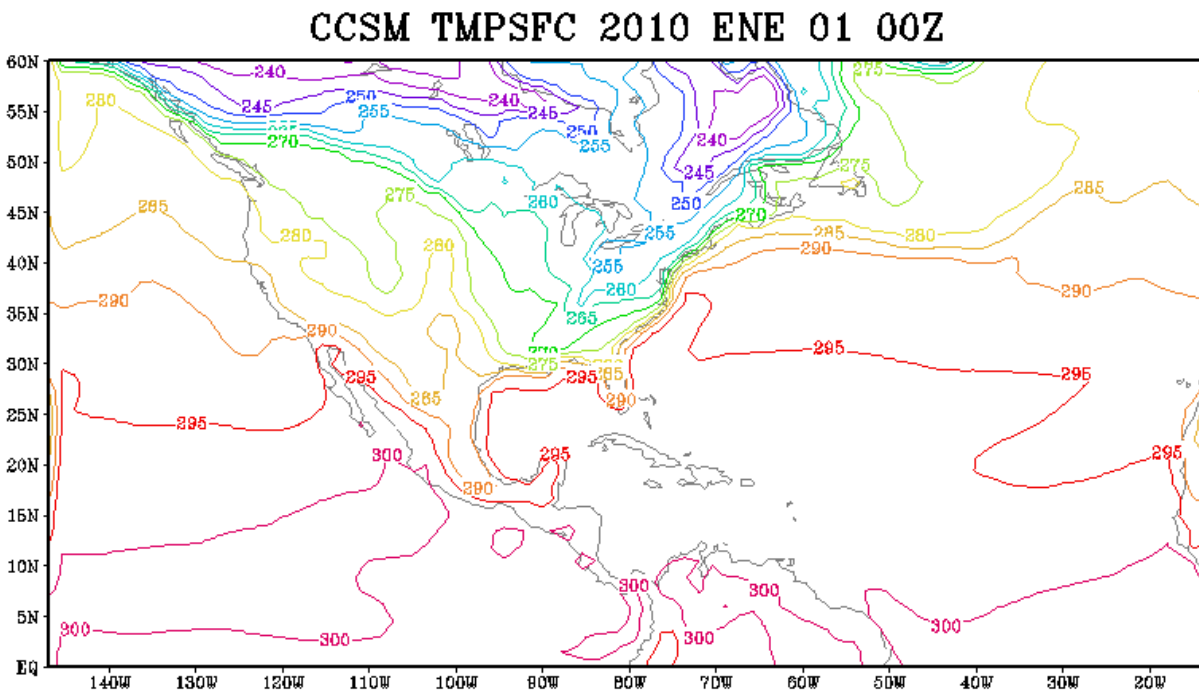
Es usado el script NCL INTERP_CAM_HY2P.ncl, para interpolar de los 26 niveles híbridos a 18 niveles de presión.

iii. Interpolación de coordenadas gaussianas a longitud-latitud

Los archivos producto de la etapa 2, pasan a ser interpolados de coordenadas gaussianas a coordenadas en proyección cilíndrica latitud-longitud. La interpolación se hace con un algoritmo basado en Funciones tipo Bessel, programado en FORTRAN siendo ejecutado a través de GrADS donde es definido el dominio resolución de la nueva malla. Los datos fueron interpolados a una resolución de 1.5° en el dominio mostrado en la Fig.5.3.

Los metadatos de los archivos posprocesados del modelo CCSM que sirven de condiciones de inicialización y de frontera son:

Malla: $nx=90, ny=41$
 Resolución: $dx = dy = 1.5^\circ$
 Niveles en la vertical: 18 niveles de presión, 1000, 975, 925, 900, 850, 800, 750, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70
 Dominio: 213 – 358.5 ° (longitud); 0 - 60 °N (latitud)
 Formato: GRIB1



GrADS: COLA/IGES

Figura 5.3 – Dominio definido por los datos posprocesados del modelo CCSM para ser las condiciones de inicialización y de frontera del modelo MM5.

Finalmente los archivos de datos son transformados a formato GRIB1 mediante la utilería LAT4D y GrADS, quedando listos para ser leídos por el módulo pregrid de MM5.

5.4 *Diseño y ejecución de experimentos*

Los datos del modelo CCSM se preparan en archivos datos mensuales de cada 6 hrs. conforme a lo explicado en el apartado 3, estos se depositan en un nodo remoto de la supercomputadora ó equipo de cómputo de alto desempeño, que dispondrá de todas las herramientas de software necesarias para compilar los programas de los módulos de preprocesamiento del modelo MM5:

Terrain
Pregrid
Regridder
Interpf

El módulo de la Física:

MM5

Y algún módulo de posprocesamiento para visualizar y analizar los resultados:

MM5toGrADS

Siguiendo el esquema operativo del proyecto NARCCAP de hacer simulaciones acoplando el modelos MM5 con un modelo de superficie tierra (Land Surface Model, LSM), desde TERRAIN se escoge preparar los datos adicionales que necesita el modelo NOAH (NOAA, LSM), tales como datos de tipos de suelo, albedo, parametros para los datos de temperatura y humedad en 4 niveles del subsuelo.

Una vez definido el dominio o los dominios en TERRAIN el procedimiento para preparar los datos hasta el módulo de la física del MM5 es totalmente estándar.

Tal como operan los programas de lectura del modelo MM5, los datos son preparados en paquetes de un año, procesados desde regridder hasta interpf donde ya estarán interpolados a coordenadas sigma.

El tamaño de los archivos de datos de entrada al MM5 resultan muy grandes, por ejemplo; un año de datos ocupa del orden de 25.4 GB, considerando el tamaño y dominio definido en 5.1. Es por lo que se recomienda tener un servidor con gran capacidad de espacio libre en disco para preprocesar los datos de entrada del modelo, que tenga un canal de comunicación con la supercomputadora de al menos 1 Gbps, ya sea de manera local ó si se conecta remotamente. Es deseable tener un servidor en DGSCA para reducir costos en tiempo de transferencia de datos para preprocesamiento y almacenamiento remoto.

Las primeras pruebas de corridas climatológicas del escenario A2 se llevaron a cabo en un servidor dual QUAD Core LINUX, estando disponible y con suficiente espacio en disco, fueron preparados 2 paquetes 6 meses de datos correspondientes al año 2010, para realizar la simulación de la atmósfera con el modelo MM5, algunos resultados son presentados en la Fig.5.4, corresponden a los campos instantáneos de lluvia y presión reducida al nivel del mar de cada 6 hrs. para el 2 de febrero de 2010, el tiempo de CPU para obtener este resultado fue de 27 hrs. Los resultados muestran ser realistas, aunque se encontraron inconsistencias en la estimación de la temperatura de superficie.

Las simulaciones se catalogan de la siguiente manera:

- Simulación de 10 años al menos del período 1960 - 1990 para generar una climatología del modelo MM5, recibiendo condiciones de frontera lateral de datos de REANALYSIS (Kalnay, 1996).
- Simulación de 10 años al menos del período 1960 - 1990 para generar una climatología del modelo MM5, recibiendo condiciones de frontera lateral de datos del modelo CCSM/NCAR.
- Simulación de 10 años al menos del período 2006 - 2018 para generar una climatología del modelo MM5, recibiendo condiciones de frontera lateral de datos del modelo CCSM/NCAR, para los escenarios A2 y A1B de las proyecciones del cambio climático.

El alcance final en los resultados indicados arriba estuvo en función de las limitaciones de la disponibilidad de usar una computadora que no es de uso exclusivo, y de la demanda de servicio a la que fue sometida por los usuarios durante el período efectivo en que se hicieron las simulaciones. Por ejemplo una vez teniendo el modelo MM5 operativo resolviendo aspectos técnicos y haciendo corridas cortas de prueba, ya era el 15 de octubre. Al inicio se hicieron corridas de 1 año por vez, usando hasta 128 procesadores, por la disponibilidad de CPU's libres, pero para el 30 de octubre y hasta la fecha los procesos que disparan las corridas esperan en fila hasta 1 día para poder entrar., por otro lado hay que sumar los tiempos muertos en que fueron resueltos problemas sobre la correcta preparación de los archivos de entrada al módulo MM5 de la física del modelo, tal fue el caso para que los programas de lectura del modelo fueran actualizando los datos de entrada de la temperatura de superficie del mar, la cual se mantenía fijo el campo de inicialización durante toda la simulación, aunque esto es correcto aceptarlo en un experimento de sensibilidad del clima, no es tan realista como que esta variable cambie en el tiempo.

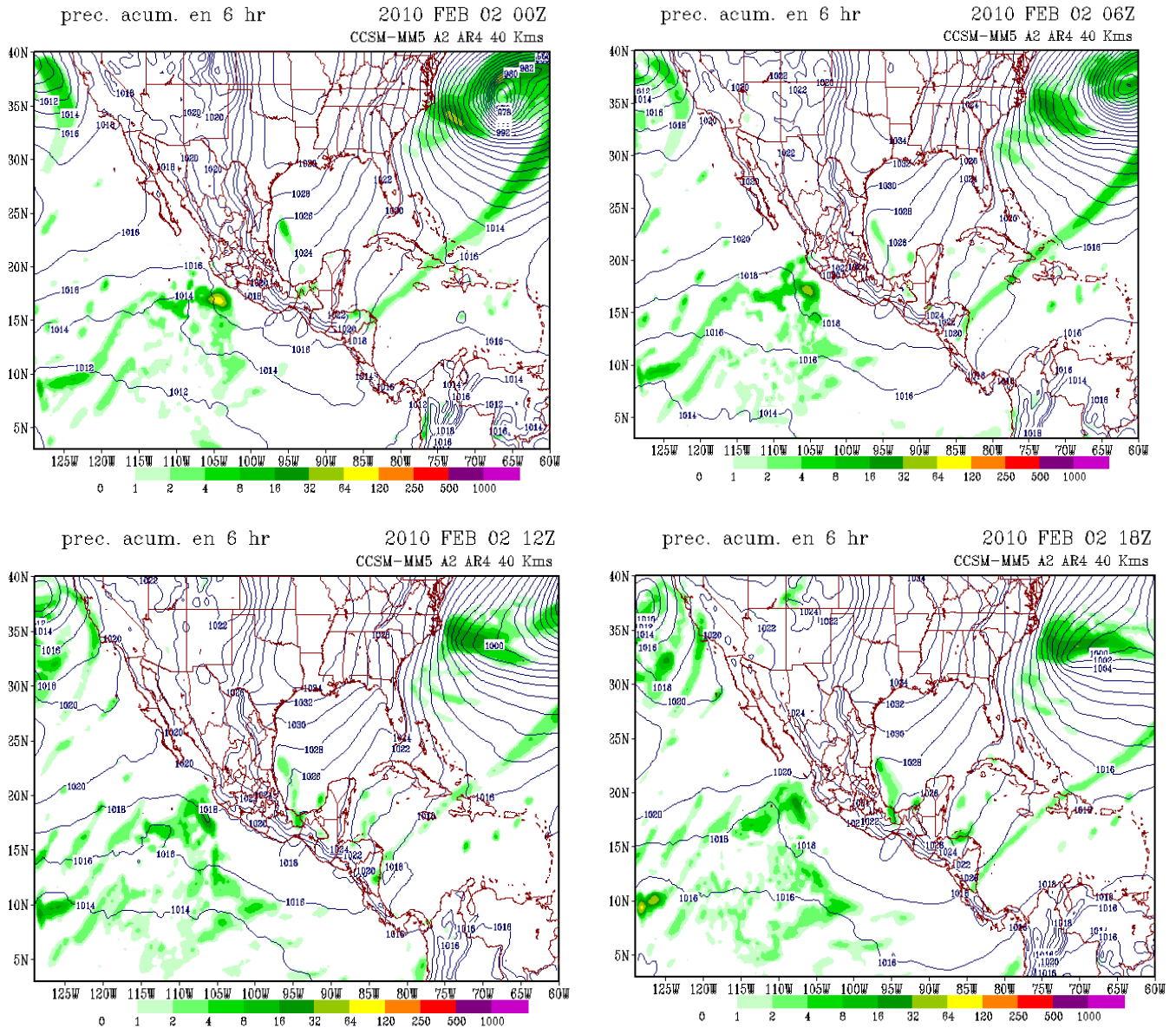


Fig. 5.4 – Simulación del MM5 de los campos instantáneos de lluvia acumulada en 6 hrs. y la presión reducida al nivel del mar para el 2 de febrero de 2010 del escenario A2.

5.5 Avance de las simulaciones de los escenarios regionales

En septiembre de 2008 fue firmado un convenio de colaboración entre CONAGUA y la UNAM para que el IMTA pudiera hacer uso de tiempo de cómputo en la supercomputadora KanBalam, y poder realizar las simulaciones numéricas proyectadas en este proyecto. Sólo se dispuso de octubre y noviembre para realizar las simulaciones climáticas sin ser un tiempo suficiente para cubrir los períodos descritos en el anexo técnico de este proyecto. Existe una gran limitación en la dinámica para usar un sistema de cómputo compartido, pues en el caso de KanBalam estuvo saturada durante este período, por lo que no fue permisible avanzar en el número de simulaciones realizadas.

El procedimiento para llevar a cabo los experimentos climáticos descritos consistió en.

Por ahora se presenta la lista de experimentos realizados hasta el momento de hacer este informe (Tabla 5.5). Aunque se presentarán algunos resultados a nivel de campos instantáneos, las climatologías o campos promedio y los análisis de estos serán presentados en un informe complementario a este volumen principal.

Tabla 5.5 - Períodos y tipo de experimentos realizados en KanBalam, durante octubre y noviembre de 2008.

<i>Siglo XX Reanalysis</i>	1959-1963	1964-1968	1998	11 Años
<i>Siglo XX CCSM</i>	1959-1963	1964-1968		10 Años
<i>SRESA1B CCSM</i>	2008-2012			5 Años
<i>SRESA2 CCSM</i>	2008-2012	2012-2016	2017-2021	15 Años

5.6 *Sobre los datos de las simulaciones y su disponibilidad*

El tamaño de los archivos de datos de las salidas del modelo MM5 para cualesquiera de los tipos de experimentos es del orden de 3.5 GB / mes, estos se salvarán primeramente en el tipo metafile dado por los programas de escritura del módulo MM5. Para luego ser procesados en el módulo MM5toGrADS donde los archivos generados contienen un subconjunto de campos de variables de superficie y de altura interpolados a coordenadas de presión.

Los datos descargados correspondientes a REANALYSIS, de los escenarios A2 y A1B y siglo XX del modelo CCSM contenidos en los archivos denominados unión y los que están listos para el módulo pregrid en formato GRIB 1, todos han sido respaldados en 4 discos duros de 1 TB cada uno. El IMTA a través del grupo de Hidrometeorología pondrá a disposición del SMN y de cualquier persona que designen para transferírseles, guardando en todo momento confidencialidad restrictiva en cuanto a su difusión y uso fuera de lo comprometido en el convenio de proyecto entre las dos instituciones.

En lo posible para el año 2009 podrán publicarse los datos para su descarga y visualización en una URL de acceso restringido a usuarios con permiso expreso del director del SMN.

Los datos a publicar estarán en alguno de los formatos estándar más conocidos como GRIB 1 o NETCDF. El software para visualizar los datos climatológicos es GrADS y VCDAT, ambos pueden leer datos en binario conforme al estándar formato GrADS. Al menos este último puede operarse remotamente mediante PHP en un portal HTML. Enseguida se muestra el contenido de un archivo CTL típico con el cual pueden leerse datos en binario en malla mediante GrADS (Fig. 5.5). Se observa que aparecen variables de naturaleza atmosférica como la lluvia, la temperatura y humedad cerca de la superficie y vientos a 10 m por encima del suelo, es de notar que aparezcan en el listado variables distribuidas en capas o niveles en el subsuelo, como consecuencia de que el modelo MM5 se está corriendo acopladamente con el modelo de superficie tierra NOAH, variables como la temperatura, humedad y contenido de agua del suelo, así es capaz de estimar escurrimientos sobre y por debajo de la superficie, forma una gran base de datos por analizar del orden de 250 MB / mes.

```
dset ^mm5_rean_exp_58_63_01.dat
byteswapped
title MM5 data
undef -9999.
pdef 199 121 lcc 22.00 -94.50 100.00 61.00 5.00 35.00 -94.50 39000. 39000.
xdef 503 linear -138.60 0.1757
ydef 264 linear -2.81 0.1757
zdef 23 levels 0.99500 0.98500 0.97000 0.94500 0.91000 0.87000 0.82500 0.77500 0.72500 0.67500
0.62500 0.57500 0.52500 0.47500 0.42500 0.37500 0.32500 0.27500 0.22500 0.17500 0.12500 0.07500
0.02500
tdef 122 linear 06:00Z31DEC1958 360MN
vars 22
tg 0 99 ground temp (K)
rc 0 99 accum conv pcn (cm)
rn 0 99 accum non-c pcn (cm)
st1 0 99 soil temp 1 (K)
st2 0 99 soil temp 2 (K)
st3 0 99 soil temp 3 (K)
st4 0 99 soil temp 4 (K)
sm1 0 99 soil moist1 (m3/m3)
sm2 0 99 soil moist2 (m3/m3)
sm3 0 99 soil moist3 (m3/m3)
sm4 0 99 soil moist4 (m3/m3)
sw1 0 99 soil water 1 (m3/m3)
sw2 0 99 soil water 2 (m3/m3)
sw3 0 99 soil water 3 (m3/m3)
sw4 0 99 soil water 4 (m3/m3)
sro 0 99 surface runoff (mm)
uro 0 99 undergrd runoff (mm)
t2m 0 99 2 m temperature (K)
q2m 0 99 2m mix ratio (kg/kg)
u10 0 99 10 m u wind (m/sec)
v10 0 99 10 m v wind (m/sec)
pslv 0 99 sea level prs (mb)
endvars
```

Fig. 5.5 - Listado típico para leer un archivo binario de datos en malla de la salida del modelo MM5 del experimento siglo XX alimentado por el modelo CCSM, del 31 de diciembre de 1958 a las 06 Z hasta 31 de enero de 1959 a las 18Z.

5.7 Obtención de datos

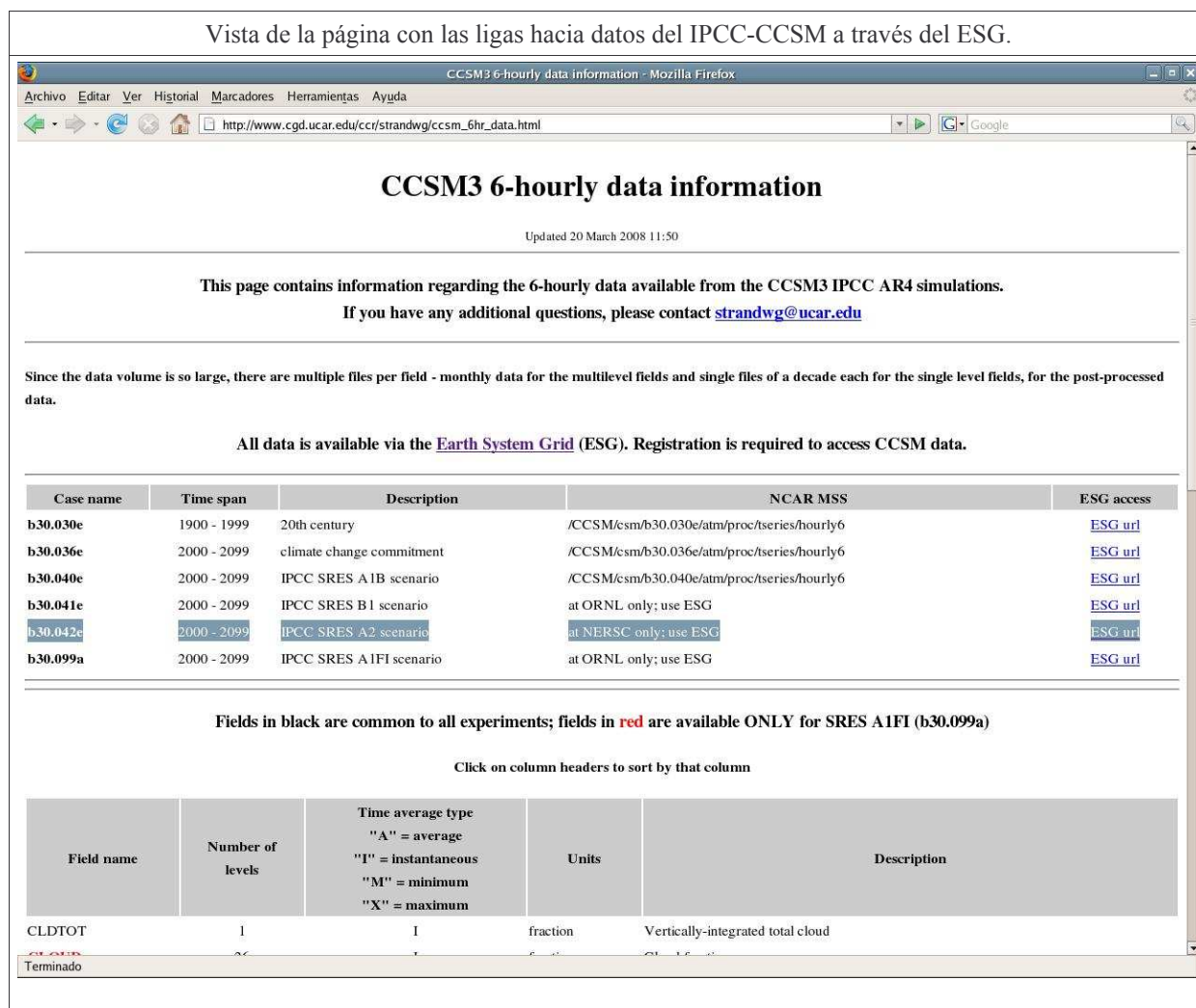
Admisión al portal ESG.

1.-Entrar al url

http://www.cgd.ucar.edu/ccr/strandwg/ccsm_6hr_data.html

Esta URL contiene ligas hacia los datos de cada 6 hrs. de las simulaciones del modelo CCSM3 IPCC AR4, correspondientes a experimentos del siglo XX (nombre de caso b30.030e), además de encontrar los experimentos SRESA1B (antes descripto) y el SRESA2 (antes descripto) los cuales tendrá el nombre de caso de **b30.42e** y **b30.030e** estos comprenden el periodo de **2000 -2099**, la liga de estos experimentos permite ir al portal de Earth Sytem GRID que es donde se encuentran los datos simulados.

Vista de la página con las ligas hacia datos del IPCC-CCSM a través del ESG.



Updated 20 March 2008 11:50

This page contains information regarding the 6-hourly data available from the CCSM3 IPCC AR4 simulations.
If you have any additional questions, please contact strandwg@ucar.edu

Since the data volume is so large, there are multiple files per field - monthly data for the multilevel fields and single files of a decade each for the single level fields, for the post-processed data.

All data is available via the [Earth System Grid \(ESG\)](#). Registration is required to access CCSM data.

Case name	Time span	Description	NCAR MSS	ESG access
b30.030e	1900 - 1999	20th century	/CCSM/csm/b30.030e/atm/proc/tseries/hourly6	ESG url
b30.036e	2000 - 2099	climate change commitment	/CCSM/csm/b30.036e/atm/proc/tseries/hourly6	ESG url
b30.040e	2000 - 2099	IPCC SRES A1B scenario	/CCSM/csm/b30.040e/atm/proc/tseries/hourly6	ESG url
b30.041e	2000 - 2099	IPCC SRES B1 scenario	at ORNL only; use ESG	ESG url
b30.042e	2000 - 2099	IPCC SRES A2 scenario	at NERSC only; use ESG	ESG url
b30.099a	2000 - 2099	IPCC SRES A1FI scenario	at ORNL only; use ESG	ESG url

Fields in black are common to all experiments; fields in red are available ONLY for SRES A1FI (b30.099a)

Click on column headers to sort by that column

Field name	Number of levels	Time average type "A" = average "I" = instantaneous "M" = minimum "X" = maximum	Units	Description
CLDTOT	1	I	fraction	Vertically-integrated total cloud

2.-Escoger el enlace hacia el experimento que se necesita (ejemplo b30.042e =SRESA2), este enlace te llevara a la url

<https://www.earthsystemgrid.org/security/loginout.htm?>

3.-La cual es una página de acceso, ahí se debe dar la información del usuario (registro antes realizado)

username (usuario): jluis

password (contraseña): modelos.

Vista de la pantalla para entrar al ESG.



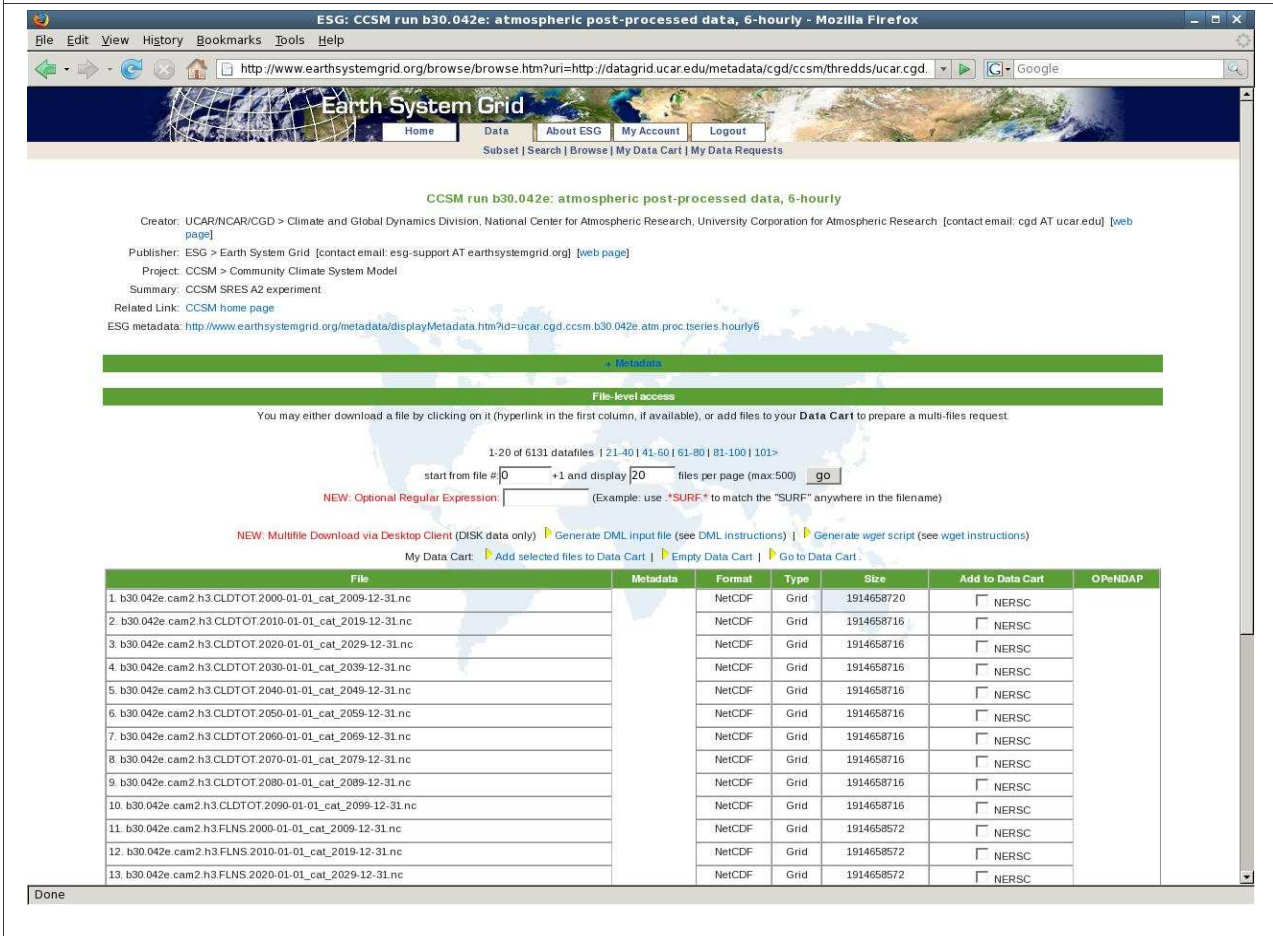
Selección de archivos.

De no haber problema con la información del usuario se muestra la pantalla donde hay un buscador y un catalogo de archivos, en el cual se buscan y se escogen el archivo o archivos para su descarga, el cual en el nombre del archivo contiene información acerca del modelo al que pertenece, nombre de la variable (superficie o altura), fecha del periodo que comprende (tiempo de inicio y final).

Ejemplo: b30.042e.cam2.h3.T.2007-09-01_cat_2007-09-30.nc

Experimento: b30.042e
Modelo: cam2
Variable: T (temperatura)
Fecha inicio: 2007-09-01
Fecha final: 2007-09-30
Formato: .nc (netcdf)

Vista de la página que tiene el buscador y el catalogo de datos del ESG.



The screenshot shows a web browser window with the URL <http://www.earthsystemgrid.org/browse/browse.htm?uri=http://datagrid.ucar.edu/metadata/cgd/ccsm/thredds/ucar.cgd>. The page title is "ESG: CCSM run b30.042e: atmospheric post-processed data, 6-hourly - Mozilla Firefox".

The main content area displays the following information:

- Creator:** UCAR/NCAR/CGD > Climate and Global Dynamics Division, National Center for Atmospheric Research, University Corporation for Atmospheric Research [contact email: cgd AT ucar.edu] [web page]
- Publisher:** ESG > Earth System Grid [contact email: esg-support AT earthsystemgrid.org] [web page]
- Project:** CCSM > Community Climate System Model
- Summary:** CCSM SRES A2 experiment
- Related Link:** CCSM home page
- ESG metadata:** http://www.earthsystemgrid.org/metadata/displayMetadata.htm?id=ucar.cgd.ccsm.b30.042e.atm_proc.series.hourly6

Below this information is a search interface with the following elements:

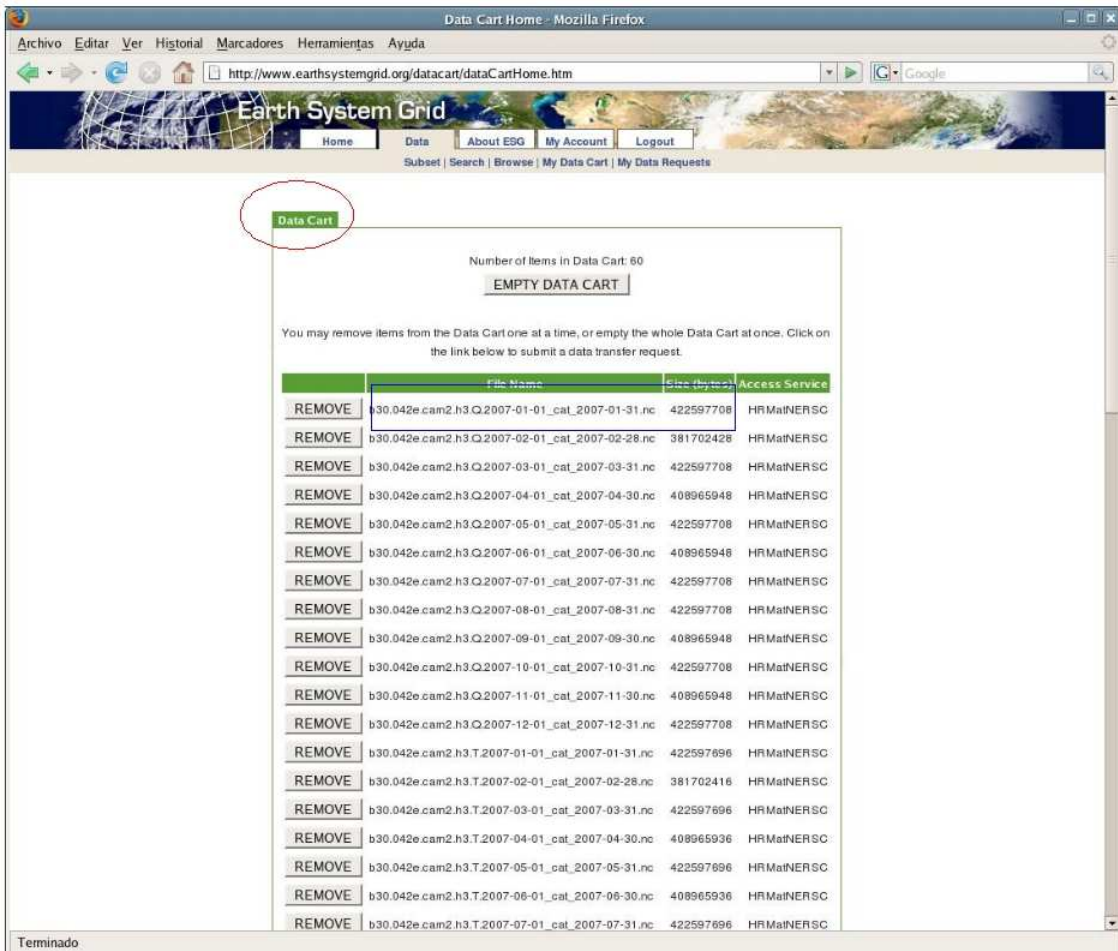
- A "File-level access" section with a note: "You may either download a file by clicking on it (hyperlink in the first column, if available), or add files to your Data Cart to prepare a multi-files request."
- Navigation links: "1: 20 of 6131 datafiles | 21-40 | 41-60 | 61-80 | 81-100 | 101 >"
- Search filters: "start from file # 0 +1 and display 20 files per page (max:500) go"
- Advanced search: "NEW: Optional Regular Expression: (Example: use *SURF* to match the 'SURF' anywhere in the filename)"
- Actions: "NEW: Multifile Download via Desktop Client (DISK data only)", "Generate DML input file (see DML instructions)", "Generate wget script (see wget instructions)", "My Data Cart: Add selected files to Data Cart | Empty Data Cart | Go to Data Cart"

The main data table is as follows:

File	Metadata	Format	Type	Size	Add to Data Cart	OPeNDAP
1. b30.042e.cam2.h3.CLDTOT.2000-01-01_cat_2009-12-31.nc		NetCDF	Grid	1914658720	<input type="checkbox"/> NERSC	
2. b30.042e.cam2.h3.CLDTOT.2010-01-01_cat_2019-12-31.nc		NetCDF	Grid	1914658716	<input type="checkbox"/> NERSC	
3. b30.042e.cam2.h3.CLDTOT.2020-01-01_cat_2029-12-31.nc		NetCDF	Grid	1914658716	<input type="checkbox"/> NERSC	
4. b30.042e.cam2.h3.CLDTOT.2030-01-01_cat_2039-12-31.nc		NetCDF	Grid	1914658716	<input type="checkbox"/> NERSC	
5. b30.042e.cam2.h3.CLDTOT.2040-01-01_cat_2049-12-31.nc		NetCDF	Grid	1914658716	<input type="checkbox"/> NERSC	
6. b30.042e.cam2.h3.CLDTOT.2050-01-01_cat_2059-12-31.nc		NetCDF	Grid	1914658716	<input type="checkbox"/> NERSC	
7. b30.042e.cam2.h3.CLDTOT.2060-01-01_cat_2069-12-31.nc		NetCDF	Grid	1914658716	<input type="checkbox"/> NERSC	
8. b30.042e.cam2.h3.CLDTOT.2070-01-01_cat_2079-12-31.nc		NetCDF	Grid	1914658716	<input type="checkbox"/> NERSC	
9. b30.042e.cam2.h3.CLDTOT.2080-01-01_cat_2089-12-31.nc		NetCDF	Grid	1914658716	<input type="checkbox"/> NERSC	
10. b30.042e.cam2.h3.CLDTOT.2090-01-01_cat_2099-12-31.nc		NetCDF	Grid	1914658716	<input type="checkbox"/> NERSC	
11. b30.042e.cam2.h3.FLNS.2000-01-01_cat_2009-12-31.nc		NetCDF	Grid	1914658572	<input type="checkbox"/> NERSC	
12. b30.042e.cam2.h3.FLNS.2010-01-01_cat_2019-12-31.nc		NetCDF	Grid	1914658572	<input type="checkbox"/> NERSC	
13. b30.042e.cam2.h3.FLNS.2020-01-01_cat_2029-12-31.nc		NetCDF	Grid	1914658572	<input type="checkbox"/> NERSC	

Al seleccionar el archivo o archivos se debe de ir al enlace “Go to Data Card”, esta liga lleva a una pagina donde se muestra una lista con los archivos seleccionados (deposito de archivos), en donde se puede remover el archivo si es que no se utiliza, o permite el almacenaje hasta ponerlos en linea para su descarga. Al estar en el Data Card, dar click en la liga “Transfer Data”, este enlace lleva a una pantalla con un formulario de los datos que se desean descargar.

Vista de la página que muestra el Data Card de ESG.



The screenshot shows a web browser window titled "Data Cart Home - Mozilla Firefox" with the URL "http://www.earthsystemgrid.org/datacart/dataCartHome.htm". The page header includes "Earth System Grid" and navigation links like "Home", "Data", "About ESG", "My Account", and "Logout". A "Data Card" label is circled in red. Below it, the text reads "Number of Items in Data Cart: 60" and "EMPTY DATA CART". A message states: "You may remove items from the Data Cart one at a time, or empty the whole Data Cart at once. Click on the link below to submit a data transfer request." Below this is a table with columns: "File Name", "Size (bytes)", and "Access Service". Each row contains a "REMOVE" button, a file name, a size, and the service name "HRMaINERSC".

	File Name	Size (bytes)	Access Service
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.Q.2007-01-01_cat_2007-01-31.nc	422597708	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.Q.2007-02-01_cat_2007-02-28.nc	381702428	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.Q.2007-03-01_cat_2007-03-31.nc	422597708	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.Q.2007-04-01_cat_2007-04-30.nc	408965948	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.Q.2007-05-01_cat_2007-05-31.nc	422597708	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.Q.2007-06-01_cat_2007-06-30.nc	408965948	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.Q.2007-07-01_cat_2007-07-31.nc	422597708	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.Q.2007-08-01_cat_2007-08-31.nc	422597708	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.Q.2007-09-01_cat_2007-09-30.nc	408965948	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.Q.2007-10-01_cat_2007-10-31.nc	422597708	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.Q.2007-11-01_cat_2007-11-30.nc	408965948	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.Q.2007-12-01_cat_2007-12-31.nc	422597708	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.T.2007-01-01_cat_2007-01-31.nc	422597696	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.T.2007-02-01_cat_2007-02-28.nc	381702416	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.T.2007-03-01_cat_2007-03-31.nc	422597696	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.T.2007-04-01_cat_2007-04-30.nc	408965936	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.T.2007-05-01_cat_2007-05-31.nc	422597696	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.T.2007-06-01_cat_2007-06-30.nc	408965936	HRMaINERSC
REMOVE	b30.042e.cam2.h3.T.2007-07-01_cat_2007-07-31.nc	422597696	HRMaINERSC

Terminado

En el formulario del ESG en el cual se puede personalizar la selección de los archivos a descargar, se puede controlar el total de archivos que se pondrán en línea para la descarga, que es la inicialización de la disponibilidad de los archivos y se realiza con dar click sobre el botón "SUBMIT".

Vista del Formulario de selección de archivos a descargar.

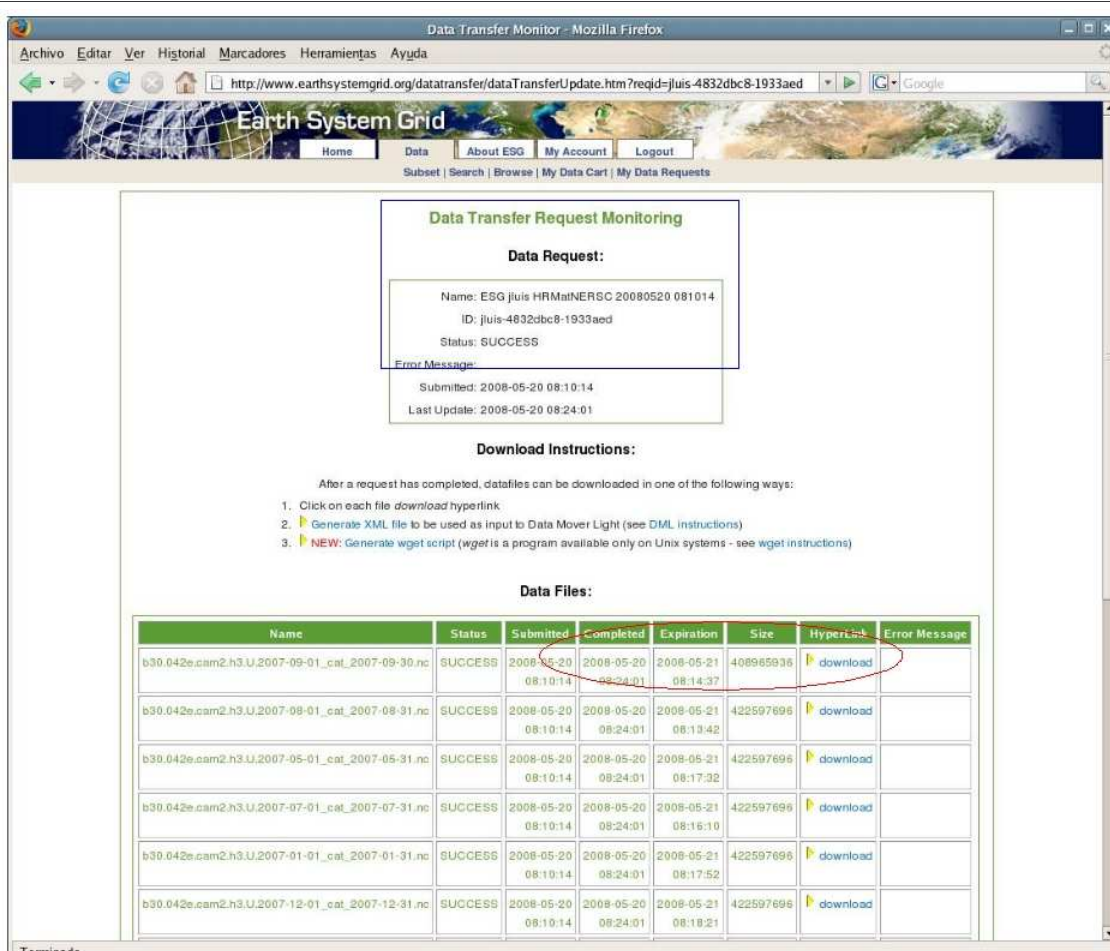
The screenshot shows a web browser window displaying the 'Data Transfer Request Submission Form' on the Earth System Grid website. The form contains a table with the following columns: File Name, Size (bytes), and Access Service. The table lists 30 files, each with a checkbox in the first column. The files are organized by month and year (2007). The 'Terminado' status is visible at the bottom left of the form area.

File Name	Size (bytes)	Access Service
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.Q.2007-01-01_cat_2007-01-31.nc	422597708	HRMailNERSC
<input type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.Q.2007-02-01_cat_2007-02-28.nc	381702428	HRMailNERSC
<input type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.Q.2007-03-01_cat_2007-03-31.nc	422597708	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.Q.2007-04-01_cat_2007-04-30.nc	408965948	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.Q.2007-05-01_cat_2007-05-31.nc	422597708	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.Q.2007-06-01_cat_2007-06-30.nc	408965948	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.Q.2007-07-01_cat_2007-07-31.nc	422597708	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.Q.2007-08-01_cat_2007-08-31.nc	422597708	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.Q.2007-09-01_cat_2007-09-30.nc	408965948	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.Q.2007-10-01_cat_2007-10-31.nc	422597708	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.Q.2007-11-01_cat_2007-11-30.nc	408965948	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.Q.2007-12-01_cat_2007-12-31.nc	422597708	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.T.2007-01-01_cat_2007-01-31.nc	422597696	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.T.2007-02-01_cat_2007-02-28.nc	381702416	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.T.2007-03-01_cat_2007-03-31.nc	422597696	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.T.2007-04-01_cat_2007-04-30.nc	408965936	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.T.2007-05-01_cat_2007-05-31.nc	422597696	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.T.2007-06-01_cat_2007-06-30.nc	408965936	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.T.2007-07-01_cat_2007-07-31.nc	422597696	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.T.2007-08-01_cat_2007-08-31.nc	422597696	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.T.2007-09-01_cat_2007-09-30.nc	408965936	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.T.2007-10-01_cat_2007-10-31.nc	422597696	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.T.2007-11-01_cat_2007-11-30.nc	408965936	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.T.2007-12-01_cat_2007-12-31.nc	422597696	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.U.2007-01-01_cat_2007-01-31.nc	422597696	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.U.2007-02-01_cat_2007-02-28.nc	381702416	HRMailNERSC
<input checked="" type="checkbox"/> b30.042e.cam2.h3.U.2007-03-01_cat_2007-03-31.nc	422597696	HRMailNERSC

Descarga de archivos.

Después del formulario de ESG, sigue el monitoreo de los archivos, este monitoreo permite al usuario saber en que momento esta listo el archivo para su descarga (en línea), esto lleva un tiempo considerando la cantidad y tamaño de los archivos, cuando los archivos se encuentran listos para su descarga el portal ESG envía un correo al usuario (en el registro de usuario el portal solicita una dirección de correo electrónico) en el cual contiene una liga al monitoreo de los archivos seleccionados, aunque no es necesario el tener que verificar la cuenta de correo electrónico ya que en la página del monitoreo se encuentra una liga que actualiza el proceso de la disponibilidad de los archivos, en el mismo monitoreo existe la información si se realizó la disponibilidad del archivo o si existe un error, cuando los archivos están disponibles para descargar, se crea un enlace “download”, en el cual con dar click sobre el se empezara a descargar del archivo.

Vista del monitoreo de los archivos disponibles para descargar.



The screenshot shows a web browser window titled "Data Transfer Monitor - Mozilla Firefox" displaying the Earth System Grid website. The page is titled "Data Transfer Request Monitoring" and shows details for a specific data request. Below the details, there are "Download Instructions" and a table of "Data Files".

Data Request:

Name: ESG juis HRMatNERSC 20080520 081014
ID: juis-4832dbc8-1933aed
Status: SUCCESS
Error Message:
Submitted: 2008-05-20 08:10:14
Last Update: 2008-05-20 08:24:01

Download Instructions:

After a request has completed, datafiles can be downloaded in one of the following ways:

1. Click on each file download hyperlink
2. Generate XML file to be used as input to Data Mover Light (see DML instructions)
3. **NEW:** Generate wget script (wget is a program available only on Unix systems - see wget instructions)

Data Files:

Name	Status	Submitted	Completed	Expiration	Size	HyperLink	Error Message
b30.042e.cam2.h3.U.2007-09-01_cat_2007-09-30.nc	SUCCESS	2008-05-20 08:10:14	2008-05-20 08:24:01	2008-05-21 08:14:37	408965936	download	
b30.042e.cam2.h3.U.2007-09-01_cat_2007-09-31.nc	SUCCESS	2008-05-20 08:10:14	2008-05-20 08:24:01	2008-05-21 08:13:42	422597696	download	
b30.042e.cam2.h3.U.2007-05-01_cat_2007-05-31.nc	SUCCESS	2008-05-20 08:10:14	2008-05-20 08:24:01	2008-05-21 08:17:32	422597696	download	
b30.042e.cam2.h3.U.2007-07-01_cat_2007-07-31.nc	SUCCESS	2008-05-20 08:10:14	2008-05-20 08:24:01	2008-05-21 08:16:10	422597696	download	
b30.042e.cam2.h3.U.2007-01-01_cat_2007-01-31.nc	SUCCESS	2008-05-20 08:10:14	2008-05-20 08:24:01	2008-05-21 08:17:52	422597696	download	
b30.042e.cam2.h3.U.2007-12-01_cat_2007-12-31.nc	SUCCESS	2008-05-20 08:10:14	2008-05-20 08:24:01	2008-05-21 08:18:21	422597696	download	

Terminado

Cuando en el formulario se opta por la disponibilidad de demasiados archivos lo preferible en la descarga de archivos es utilizar la opción de generar un script que contenga el comando wget, este script se genera desde el mismo portal ESG, en la sección de monitoreo al estar todos los archivos disponibles en línea, el monitoreo ofrece la función de crear el script, el comando wget permite la descarga desde un servidor http como es en este caso.

Vista de como se genera un script wget.

Data Transfer Request Monitoring

Data Request:

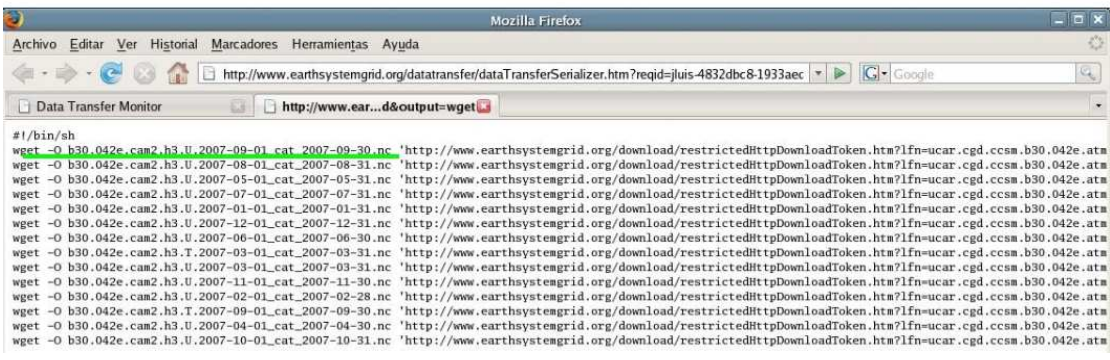
Name: ESG jluis HRMatNERSC 20080520 081014
 ID: jluis-4832dbc8-1933aed
 Status: SUCCESS
 Error Message:
 Submitted: 2008-05-20 08:10:14
 Last Update: 2008-05-20 08:24:01

Download Instructions:

After a request has completed, datafiles can be downloaded in one of the following ways:

1. Click on each file [download](#) hyperlink
2. [Generate XML file to be used as input to Data Mover Light](#) (see DML instructions)
3. **NEW: Generate wget script** (wget is a program available only on Unix systems - see [wget instructions](#))

↓



```

#!/bin/sh
wget -O b30_042e.cam2.h3.U.2007-09-01_cat_2007-09-30.nc 'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.cesm.b30_042e.atm'
wget -O b30_042e.cam2.h3.U.2007-08-01_cat_2007-08-31.nc 'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.cesm.b30_042e.atm'
wget -O b30_042e.cam2.h3.U.2007-05-01_cat_2007-05-31.nc 'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.cesm.b30_042e.atm'
wget -O b30_042e.cam2.h3.U.2007-07-01_cat_2007-07-31.nc 'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.cesm.b30_042e.atm'
wget -O b30_042e.cam2.h3.U.2007-01-01_cat_2007-01-31.nc 'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.cesm.b30_042e.atm'
wget -O b30_042e.cam2.h3.U.2007-12-01_cat_2007-12-31.nc 'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.cesm.b30_042e.atm'
wget -O b30_042e.cam2.h3.U.2007-06-01_cat_2007-06-30.nc 'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.cesm.b30_042e.atm'
wget -O b30_042e.cam2.h3.T.2007-03-01_cat_2007-03-31.nc 'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.cesm.b30_042e.atm'
wget -O b30_042e.cam2.h3.U.2007-03-01_cat_2007-03-31.nc 'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.cesm.b30_042e.atm'
wget -O b30_042e.cam2.h3.U.2007-11-01_cat_2007-11-30.nc 'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.cesm.b30_042e.atm'
wget -O b30_042e.cam2.h3.U.2007-02-01_cat_2007-02-28.nc 'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.cesm.b30_042e.atm'
wget -O b30_042e.cam2.h3.T.2007-09-01_cat_2007-09-30.nc 'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.cesm.b30_042e.atm'
wget -O b30_042e.cam2.h3.U.2007-04-01_cat_2007-04-30.nc 'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.cesm.b30_042e.atm'
wget -O b30_042e.cam2.h3.U.2007-10-01_cat_2007-10-31.nc 'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.cesm.b30_042e.atm'

```

En este caso se cambia el nombre del archivo(script) a uno que facilite lo que realiza, utiliza el comando en una terminal:

```
mv dataTransferSerializer.htm descarga_ene-dic-2000.csh
```

El script se debe de guardar en el directorio (por ejemplo /datos_1/bruto_srea2/) donde se desean bajar los datos, utiliza el comando:

```
mv descarga_dic-2000.csh /datos_1/bruto_srea2/
```

También se debe de cambiar permiso para ejecución , utiliza el comando

```
chmod a+x descarga_ene-dic-2000.csh
```

Después se debe de crear un archivo oculto en el home del usuario (ejemplo /home/modelos/) este archivo tendrá el nombre de .wgetrc (el punto al inicio del archivo indica que esta oculto) el cual contendrá información del nombre de usuario y password para acceder al servidor http:

```
http://www.earthsystemgrid.org/
```

Ejemplo de como esta estructurado el archivo: .wgetrc:

```
http-user=jluis  
http-passwd=modelos
```

Ejemplo de la estructura del script para descargar archivos: ene-dic-2000.csh

```
#!/bin/sh  
wget -O b30.042e.cam2.h3.Q.2000-12-01_cat_2000-12-31.nc  
'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.ccsmb30.042e.atm.pro  
c.tseries.hourly6.b30.042e.cam2.h3.Q.2000-12-01_cat_2000-12-  
31.nc&service=CACHEatNCAR&url=http://datagrid.ucar.edu:8080/data/cache/1205349266_2063_24856.b30.042e  
.cam2.h3.Q.2000-12-01_cat_2000-12-31.nc&size=422597692&name=b30.042e.cam2.h3.Q.2000-12-01_cat_2000-  
12-31.nc'  
wget -O b30.042e.cam2.h3.Q.2000-01-01_cat_2000-01-31.nc  
'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.ccsmb30.042e.atm.pro  
c.tseries.hourly6.b30.042e.cam2.h3.Q.2000-01-01_cat_2000-01-  
31.nc&service=CACHEatNCAR&url=http://datagrid.ucar.edu:8080/data/cache/1205349266_2063_24856.b30.042e  
.cam2.h3.Q.2000-01-01_cat_2000-01-31.nc&size=422597692&name=b30.042e.cam2.h3.Q.2000-01-01_cat_2000-  
01-31.nc'  
wget -O b30.042e.cam2.h3.Q.2000-03-01_cat_2000-03-31.nc  
'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.ccsmb30.042e.atm.pro  
c.tseries.hourly6.b30.042e.cam2.h3.Q.2000-03-01_cat_2000-03-  
31.nc&service=CACHEatNCAR&url=http://datagrid.ucar.edu:8080/data/cache/1205349266_2063_24856.b30.042e  
.cam2.h3.Q.2000-03-01_cat_2000-03-31.nc&size=422597692&name=b30.042e.cam2.h3.Q.2000-03-01_cat_2000-  
03-31.nc'  
wget -O b30.042e.cam2.h3.Q.2000-10-01_cat_2000-10-31.nc  
'http://www.earthsystemgrid.org/download/restrictedHttpDownloadToken.htm?lfn=ucar.cgd.ccsmb30.042e.atm.pro  
c.tseries.hourly6.b30.042e.cam2.h3.Q.2000-10-01_cat_2000-10-  
31.nc&service=CACHEatNCAR&url=http://datagrid.ucar.edu:8080/data/cache/1205349266_2063_24856.b30.042e  
.cam2.h3.Q.2000-10-01_cat_2000-10-31.nc&size=422597692&name=b30.042e.cam2.h3.Q.2000-10-01_cat_2000-  
10-31.nc'  
continua...
```

5.8 Ejemplo de pre-procesamiento

La creación de una archivo pre-procesado el cual contenga todas las variables (superficie y altura) y un periodo determinado (mes) facilita el manejo de los datos para una mejor clasificación y manipulación de este, las herramientas para archivos con formato netcdf son los comandos NCO con estos comandos se logra la unión y extracción de información.

A continuación se explica el proceso que se realiza para la creación del archivo preprocesado, el ejemplo es para ENERO 2010 del experimento A2.

EXTRACCIÓN.

1.- De los archivos descargados por mes se ve su encabezado mediante el comando ncdump con la opción -v time el cual muestra el tiempo, ejemplo que abarca el mes de enero del año 2010.

```
ncdump -v time cam2.h3.Q.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc
```

2.- El resultado de esta instrucción es un encabezado del archivo netcdf, así como los valores del tiempo que abarca el mes enero del 2010, a continuación esta el resultado:

```
netcdf cam2.h3.Q.2010-01-01_cat_2010-01-31 {
dimensions:
```

```
    time = UNLIMITED ; // (124 currently)
    lev = 26 ;
    lat = 128 ;
    lon = 256 ;
    chars = 8 ;
    ilev = 27 ;
    isccp_prs = 7 ;
    isccp_prstau = 49 ;
    isccp_tau = 7 ;
    tbnd = 2 ;
```

```
variables:
```

```
    double P0 ;
        P0:long_name = "reference pressure" ;
        P0:units = "Pa" ;
    float Q(time, lev, lat, lon) ;
        Q:units = "kg/kg" ;
        Q:long_name = "Specific humidity" ;
```

```
continua
```

```
...
```

```
...
```

```
time = 51100, 51100.25, 51100.5, 51100.75, 51101, 51101.25, 51101.5,
51101.75, 51102, 51102.25, 51102.5, 51102.75, 51103, 51103.25, 51103.5,
51103.75, 51104, 51104.25, 51104.5, 51104.75, 51105, 51105.25, 51105.5,
51105.75, 51106, 51106.25, 51106.5, 51106.75, 51107, 51107.25, 51107.5,
51107.75, 51108, 51108.25, 51108.5, 51108.75, 51109, 51109.25, 51109.5,
51109.75, 51110, 51110.25, 51110.5, 51110.75, 51111, 51111.25, 51111.5,
51111.75, 51112, 51112.25, 51112.5, 51112.75, 51113, 51113.25, 51113.5,
51113.75, 51114, 51114.25, 51114.5, 51114.75, 51115, 51115.25, 51115.5,
51115.75, 51116, 51116.25, 51116.5, 51116.75, 51117, 51117.25, 51117.5,
51117.75, 51118, 51118.25, 51118.5, 51118.75, 51119, 51119.25, 51119.5,
51119.75, 51120, 51120.25, 51120.5, 51120.75, 51121, 51121.25, 51121.5,
51121.75, 51122, 51122.25, 51122.5, 51122.75, 51123, 51123.25, 51123.5,
51123.75, 51124, 51124.25, 51124.5, 51124.75, 51125, 51125.25, 51125.5,
51125.75, 51126, 51126.25, 51126.5, 51126.75, 51127, 51127.25, 51127.5,
51127.75, 51128, 51128.25, 51128.5, 51128.75, 51129, 51129.25, 51129.5,
51129.75, 51130, 51130.25, 51130.5, 51130.75 ;
}
```

3.- Ahora que se sabe los valores de tiempo de inicio y final para el mes ENERO 2010 se puede sustraer el mismo periodo (mes-año) en los archivos de superficie, que están por décadas, mediante la instrucción:

```
ncks -A -d time, 51100., 51130.75 cam2.h3.PSL.2010-01-01_cat_2019-12-31.nc cam2.h3.PSL.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc
```

4.- Al finalizar el proceso se obtiene archivos con el mismo mes ENERO del año 2010 y para verificar que contenga solo los tiempos deseados se realizar la instrucción:

```
ncdump -v time cam2.h3.PSL.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc
```

5.- El resultado debe tener los mismos valores en tiempo y el mismo numero de tiempo:

```
netcdf cam2.h3.PSL.2010-01-01_cat_2010-01-31 {
dimensions:
    time = UNLIMITED ; // (124 currently)
    lat = 128 ;
    lon = 256 ;
    chars = 8 ;
    ilev = 27 ;
    lev = 26 ;
    isccp_prs = 7 ;
    isccp_prstau = 49 ;
    isccp_tau = 7 ;
    tbnd = 2 ;
variables:
    double P0 ;
        P0:long_name = "reference pressure" ;
        P0:units = "Pa" ;
    float PSL(time, lat, lon) ;
        PSL:units = "Pa" ;
        PSL:long_name = "Sea level pressure" ;
...
...
time = 51100, 51100.25, 51100.5, 51100.75, 51101, 51101.25, 51101.5,
51101.75, 51102, 51102.25, 51102.5, 51102.75, 51103, 51103.25, 51103.5,
51103.75, 51104, 51104.25, 51104.5, 51104.75, 51105, 51105.25, 51105.5,
51105.75, 51106, 51106.25, 51106.5, 51106.75, 51107, 51107.25, 51107.5,
51107.75, 51108, 51108.25, 51108.5, 51108.75, 51109, 51109.25, 51109.5,
51109.75, 51110, 51110.25, 51110.5, 51110.75, 51111, 51111.25, 51111.5,
51111.75, 51112, 51112.25, 51112.5, 51112.75, 51113, 51113.25, 51113.5,
51113.75, 51114, 51114.25, 51114.5, 51114.75, 51115, 51115.25, 51115.5,
51115.75, 51116, 51116.25, 51116.5, 51116.75, 51117, 51117.25, 51117.5,
51117.75, 51118, 51118.25, 51118.5, 51118.75, 51119, 51119.25, 51119.5,
51119.75, 51120, 51120.25, 51120.5, 51120.75, 51121, 51121.25, 51121.5,
51121.75, 51122, 51122.25, 51122.5, 51122.75, 51123, 51123.25, 51123.5,
51123.75, 51124, 51124.25, 51124.5, 51124.75, 51125, 51125.25, 51125.5,
51125.75, 51126, 51126.25, 51126.5, 51126.75, 51127, 51127.25, 51127.5,
51127.75, 51128, 51128.25, 51128.5, 51128.75, 51129, 51129.25, 51129.5,
51129.75, 51130, 51130.25, 51130.5, 51130.75 ;
}
```

6.- Esto se repite para las demás variables de superficie (PHIS, PSL y TS).

UNIÓN

Ahora que tenemos todos los archivos (variables de superficie y altura) por un mismo periodo ENERO 2010, la siguiente etapa es la de unir estos archivos en un solo archivo conteniendo un mes de datos, al ser archivos con formato netcdf lo recomendado es utilizar los comandos NCO, el unir los archivos servirá para tener las variables unidas y almacenadas en un solo archivo con lo cual se facilita su procesamiento en etapas siguientes.

Para unir los archivos se utiliza los siguientes pasos, el ejemplo continua para unir un mes de datos en un archivo del periodo ENERO 2010:

El total de archivos para el mes ENERO del año 2010, se muestra con la instrucción:

```
ls *2010-01*
```

El resultado muestra 9 archivos (uno por variable) con fecha de inicio igual así como fecha final, el resultado esta a continuación:

```
cam2.h3.PHIS.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc  
cam2.h3.PS.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc  
cam2.h3.PSL.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc  
cam2.h3.Q.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc  
cam2.h3.T.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc  
cam2.h3.TS.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc  
cam2.h3.U.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc  
cam2.h3.V.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc  
cam2.h3.Z3.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc
```

1.- Realizar una copia del primer archivo, para no perder ningún archivo, ya que el procedimiento que utilizamos sobrescribe en el primer archivo los demás archivos, con lo cual se perdería el archivo bruto:

```
cp cam2.h3.PHIS.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc cam2T85_201001_sr4a2.nc
```

2.- Se comienza a unir los archivos para generar el archivo final

```
ncks -A cam2.h3.PS.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc cam2T85_201001_sr4a2.nc  
ncks -A cam2.h3.PSL.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc cam2T85_201001_sr4a2.nc  
ncks -A cam2.h3.Q.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc cam2T85_201001_sr4a2.nc  
ncks -A cam2.h3.T.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc cam2T85_201001_sr4a2.nc  
ncks -A cam2.h3.TS.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc cam2T85_201001_sr4a2.nc  
ncks -A cam2.h3.U.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc cam2T85_201001_sr4a2.nc  
ncks -A cam2.h3.V.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc cam2T85_201001_sr4a2.nc  
ncks -A cam2.h3.Z3.2010-01-01_cat_2010-01-31.nc cam2T85_201001_sr4a2.nc
```

3.- El resultado es un archivo netcdf llamado cam2T85_201001_sr4a2.nc el cual contendrá todas las variables (superficie y altura) y un mismo periodo de tiempo, verificar con la instrucción:

```
ncdump -h cam2T85_201001_sr4a2.nc
netcdf cam2T85_201001_sr4a2 {
dimensions:
    time = UNLIMITED ; // (124 currently)
    lat = 128 ;
    lon = 256 ;
    chars = 8 ;
    ilev = 27 ;
    lev = 26 ;
    isccp_prs = 7 ;
    isccp_prstau = 49 ;
    isccp_tau = 7 ;
    tbnf = 2 ;
variables:
float PHIS(time, lat, lon) ;
    PHIS:units = "m2/s2" ;
    PHIS:long_name = "Surface geopotential" ;
float PS(time, lat, lon) ;
    PS:units = "Pa" ;
    PS:long_name = "Surface pressure" ;
float PSL(time, lat, lon) ;
    PSL:units = "Pa" ;
    PSL:long_name = "Sea level pressure" ;
float TS(time, lat, lon) ;
    TS:units = "K" ;
    TS:long_name = "Surface temperature (radiative)" ;
float Q(time, lev, lat, lon) ;
    Q:units = "kg/kg" ;
    Q:long_name = "Specific humidity" ;
float T(time, lev, lat, lon) ;
    T:units = "K" ;
    T:long_name = "Temperature" ;
float U(time, lev, lat, lon) ;
    U:units = "m/s" ;
    U:long_name = "Zonal wind" ;
float V(time, lev, lat, lon) ;
    V:units = "m/s" ;
    V:long_name = "Meridional wind" ;
float Z3(time, lev, lat, lon) ;
    Z3:units = "m" ;
    Z3:long_name = "Geopotential Height (above sea level)" ;
```

continua...

```
time = 51100, 51100.25, 51100.5, 51100.75, 51101, 51101.25, 51101.5,
51101.75, 51102, 51102.25, 51102.5, 51102.75, 51103, 51103.25, 51103.5,
51103.75, 51104, 51104.25, 51104.5, 51104.75, 51105, 51105.25, 51105.5,
51105.75, 51106, 51106.25, 51106.5, 51106.75, 51107, 51107.25, 51107.5,
51107.75, 51108, 51108.25, 51108.5, 51108.75, 51109, 51109.25, 51109.5,
51109.75, 51110, 51110.25, 51110.5, 51110.75, 51111, 51111.25, 51111.5,
51111.75, 51112, 51112.25, 51112.5, 51112.75, 51113, 51113.25, 51113.5,
```


51113.75, 51114, 51114.25, 51114.5, 51114.75, 51115, 51115.25, 51115.5,
51115.75, 51116, 51116.25, 51116.5, 51116.75, 51117, 51117.25, 51117.5,
51117.75, 51118, 51118.25, 51118.5, 51118.75, 51119, 51119.25, 51119.5,
51119.75, 51120, 51120.25, 51120.5, 51120.75, 51121, 51121.25, 51121.5,
51121.75, 51122, 51122.25, 51122.5, 51122.75, 51123, 51123.25, 51123.5,
51123.75, 51124, 51124.25, 51124.5, 51124.75, 51125, 51125.25, 51125.5,
51125.75, 51126, 51126.25, 51126.5, 51126.75, 51127, 51127.25, 51127.5,
51127.75, 51128, 51128.25, 51128.5, 51128.75, 51129, 51129.25, 51129.5,
51129.75, 51130, 51130.25, 51130.5, 51130.75 ;
}

6 ANÁLISIS DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS

6.1 Antecedentes

Los informes de evaluación elaborados por los grupos de trabajo del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), coinciden en señalar que desde el inicio de la era industrial se ha registrado un incremento progresivo de la concentración atmosférica de ciertos gases, partículas y aerosoles que producen el denominado "*efecto invernadero*" (IPCC, 2001; Wehner, 2005).

El IPCC, prevé para el presente siglo, ocurra un aumento significativo de la temperatura de la superficie terrestre que alteraría otros aspectos fundamentales del clima, tales como la distribución espacial y temporal de las lluvias, la altura del nivel del mar y la circulación en los océanos y la atmósfera, entre otros (Haylock, et al., 2006; IPCC, 2007).

Hace algunos años se ha tenido un importante avance en la evaluación de las proyecciones del cambio climático, debido principalmente al extenso número de simulaciones disponibles a partir de una gama muy amplia de modelos de circulación general océano-atmósfera (AOGCM, por sus siglas en inglés) que, utilizados conjuntamente con la información adicional procedente de las observaciones, se genera una base de datos cuantitativa para una estimación regional en muchos de los aspectos del cambio climático futuro (Livezey, et al., 2007).

Por otra parte, los informes de evaluación del IPCC representan la valoración más importante sobre el cambio climático desde el punto de vista de las bases científicas, así como del impacto, adaptación y vulnerabilidad sobre los ecosistemas, la población humana y la salud (Weisheimer y Palmer, 2005).

Sin embargo, la incertidumbre acerca de la evolución de las tasas de emisión de gases invernadero en los próximos años, el desconocimiento de la capacidad efectiva de los sumideros de estos gases existentes en el medio ambiente, y la complejidad de la posible respuesta del sistema climático, impiden efectuar un "pronóstico" de los patrones regionales del cambio climático previsible a escala global. Afortunadamente, es posible trazar un escenario de cambio climático para estimar el probable impacto sobre los ecosistemas naturales y las actividades humanas (IPCC, 2007).

Las tendencias climáticas regionales son de interés tanto para entender los fenómenos climáticos naturales, así como los procesos inducidos por las actividades humanas. En relación con las tendencias climáticas globales, sin embargo, su detección se obstaculiza por fenómenos de menor escala y la influencia de procesos de clima regionales, tales como El fenómeno de El Niño y la Oscilación del Sur (Zhai, et al., 2005).

La detección de tendencia climática en la escala regional representa una actividad de investigación muy complicada, sin embargo, por la variación relativamente mayor asociada con procesos climáticos naturales, limita la importancia estadística de estimaciones de tendencia regionales en relación con aquellos para estimaciones de tendencia globales (Meehl, et al., 2000; Kharin, et al., 2007).

Un escenario de cambio climático (Peixoto y Oort, 1991), se define como la descripción espacial y temporal, físicamente consistente, de las posibles condiciones climáticas futuras, expresada cuantitativamente mediante rangos plausibles de las variables climáticas fundamentales. Esta descripción se basa en un conjunto de suposiciones sobre la futura evolución de los factores de cambio y en la actual comprensión científica del sistema climático.

6.1.1 Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es el de presentar las tendencias climáticas históricas de precipitación y temperatura en superficie para cuatro bases de datos en México; así como también las tendencias proyectadas para este siglo de acuerdo con la información de AOGCMs que participaron en el 4º Reporte de Evaluación del IPCC. Para ello, se implementaron programas en lenguaje de programación NCAR Command Language (NCL), para el análisis y visualización de cuatro bases de datos climatológicos de precipitación y temperatura: The Global Precipitation Climatology Project (GPCP), The Climatic Research Unit (CRU), The Climate Prediction Center (CPC) y el Servicio Meteorológico Nacional de México de la Comisión Nacional del Agua (SMN / CONAGUA), en nueve regiones geográficas de México y un periodo climatológico de referencia (1980 a 1999). Los resultados de la tendencia climática de la precipitación y temperatura en México se obtuvieron a partir del análisis de regresión lineal aplicado a las cuatro bases de datos climatológicos de la precipitación.

El estudio incluyó una comparación entre las cuatro bases de datos para analizar sus diferencias entre ellas, y de las cuales se escogió la base de datos CRU, por su resolución espacial y temporal. Esta base de datos nos sirvió para realizar un estudio de validación de los modelos de IPCC, obteniendo tanto la correlación y la desviación del error cuadrático medio entre los modelos y la base de datos observados.

Se analizaron las series de tiempo de datos climatológicos de precipitación y temperatura de la base de datos CRU y quince modelos de IPCC, para un período de referencia de 1961-1990, así como también de los escenarios futuros de dos modelos y el promedio de los modelos del IPCC para tres períodos que corresponden de 2010-2039, 2040-2069 y 2070-2098, con base en estudios estadísticos. Además de una serie de actividades realizadas para el análisis de tendencias climáticas de las bases de datos y los modelos utilizados en este estudio, que se mostrarán más adelante.

6.1.2 Actividades

En este informe se presentan las actividades realizadas respecto al análisis de tendencias climáticas.

Implementación de programas en lenguaje de programación NCL para el análisis y visualización de la base de datos de CRU y quince modelos del IPCC.

Análisis de las series de tiempo de la base de datos CRU y los modelos del IPCC de datos climatológicos de precipitación y temperatura, para nueve zonas geográficas de la República Mexicana, para el período de referencia correspondiente de 1961-1990.

Presentación de resultados de la tendencia climática de la precipitación y temperatura en México, de acuerdo al estudio estadístico de regresión lineal aplicado a la base de datos de CRU y los modelos del IPCC.

Análisis de los escenarios futuros de precipitación y temperatura en México para dos modelos del IPCC, así como del promedio de quince modelos, para las nueve regiones geográficas en las que se dividió la República Mexicana y para tres períodos correspondientes a 2010-2039, 2040-2069 y 2070-2098.

Presentación de los escenarios futuros de dos modelos y el promedio de quince modelos del IPCC con la tendencia climática de la precipitación y temperatura en México, para los tres períodos antes mencionados.

6.2 Metodología

1. Se implementaron programas en lenguaje de programación NCL, para poder analizar y visualizar los datos climatológicos de precipitación y temperatura de la base de datos del CRU y de quince modelos del IPCC.
2. La base de datos CRU tiene una resolución espacial (latitud-longitud) de 0.5x0.5, sin embargo los datos climatológicos de precipitación y temperatura de los modelos no tenían la misma resolución por lo que fue necesario ajustar ésta a una misma resolución de 0.5x0.5 (latitud-longitud).
3. El análisis de los datos de precipitación y temperatura para los modelos del IPCC consistió en visualizar y hacer una comparación para el promedio climatológico mensual del período de referencia de 1961-1990, así como calcular la tendencia climática de precipitación y temperatura para dicho período, partiendo del análisis de correlación aplicado para las nueve

zonas geográficas.

4. Del análisis de los quince modelos del IPCC se eligieron los dos mejores modelos con base en los estudios estadísticos de correlación, y con estos dos modelos y el promedio de los quince modelos se hicieron los escenarios futuros de precipitación y temperatura en los cuales se presenta el promedio climatológico mensual y la tendencia climática para tres períodos correspondientes a 2010-2039, 2040-2069 y 2070-2098 para nueve regiones geográficas.

En la figura 6.1 se muestra las nueve zonas geográficas (Norte 1, Norte 2, Norte 3, Centro 1, Centro 2, Centro 3, Sur 1, Sur 2, y Sur 3) en las que se dividió la República Mexicana para el presente estudio de tendencias climáticas.

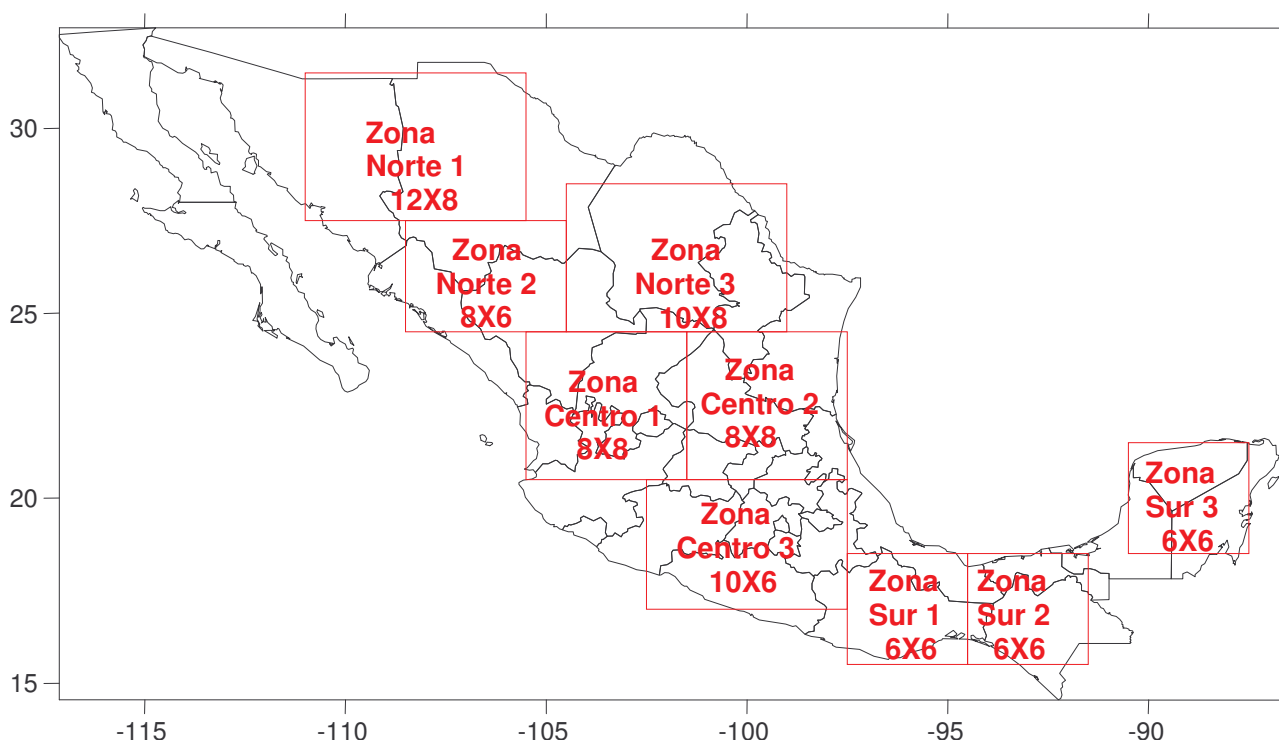


Figura 6.1 – Zonas para el estudio de tendencias climáticas de la precipitación y temperatura en México.

6.3 Tendencias climáticas históricas (1961-1990)

6.3.1 Precipitación

En las figuras 6.2, 6.3 y 6.4 se presenta la comparación del promedio climatológico mensual de la precipitación (mm/día) para los quince modelos del IPCC y la base de datos CRU, en las nueve regiones geográficas de estudio: norte 1, norte 2, norte 3, centro 1, centro 2, centro 3, sur 1, sur 2 y sur 3, para el período climatológico de referencia de 1961-1990.

La máxima precipitación en la zona norte se presenta entre los meses de junio-agosto, y de forma general los modelos tienden a sobreestimar precipitación para esta zona, en el zona norte 1 los modelos sobreestiman precipitación a partir del mes de agosto, en la zona norte 2 en los meses de agosto-septiembre, mientras que en la zona norte 3 lo hacen durante todo el año, por lo que esta zona es la que peor simulan los modelos, la mala simulación de esta zona puede ser debido a que los modelos no simulan el paso de ciclones tropicales por esta zona. Las zonas norte 1 y 2 presentan las menores diferencias con respecto a la climatología de la base de datos CRU en los meses de enero hasta abril.

Entre los meses de junio-agosto los modelos muestran los máximos de precipitación para la zona centro, mientras que la base de datos CRU tiene el máximo de precipitación en julio. En las zonas centro 1 y 3 todos los modelos tienden a sobreestimar precipitación durante todo el año, sin embargo en la zona centro 2 los modelos tienden a subestimar la precipitación de la temporada climática de verano, aunque en general la mayoría de los modelos si llegan a simular los máximos y mínimos de precipitación de esta zona.

En la zona sur a diferencia de las zonas norte y centro en esta zona los modelos subestiman precipitación sobre todo de verano, sin embargo si llegan a simular la sequía intraestival. En la zona sur 1 los modelos muestran los dos máximos y un mínimo de precipitación tal como la base de datos observados CRU, pero en los meses julio y septiembre y el mínimo en agosto, sin embargo el primer máximo y el mínimo lo adelantan un mes. En la zona sur 2 los máximos de precipitación que presentan los modelos en junio y septiembre coinciden con los máximos de la base de datos CRU, no así el mínimo de julio que se presenta un mes antes de acuerdo a los datos observados de CRU. La zona sur 3 es la mejor zona simulada de las tres de la región sur, ya que los máximos de junio y septiembre y el mínimo de julio coinciden adecuadamente con la climatología de CRU.

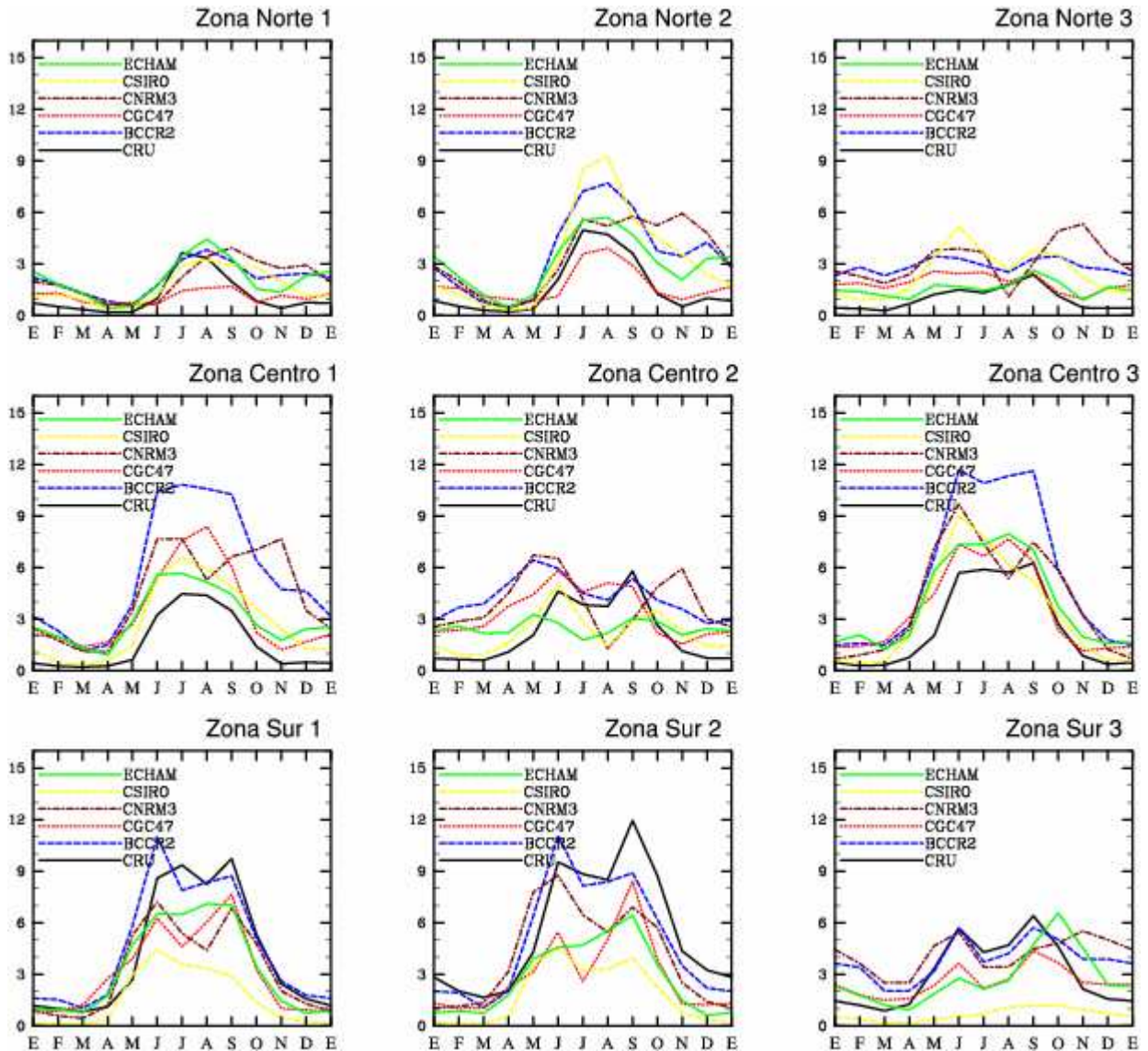


Figura 6.2 – Promedio climatológico mensual de la precipitación (mm/día) para cinco modelos del IPCC (ECHAM, CSIRO, CNRM3, CGC47, BCCR2) y la base de datos observados CRU, para el período de 1961-1990.

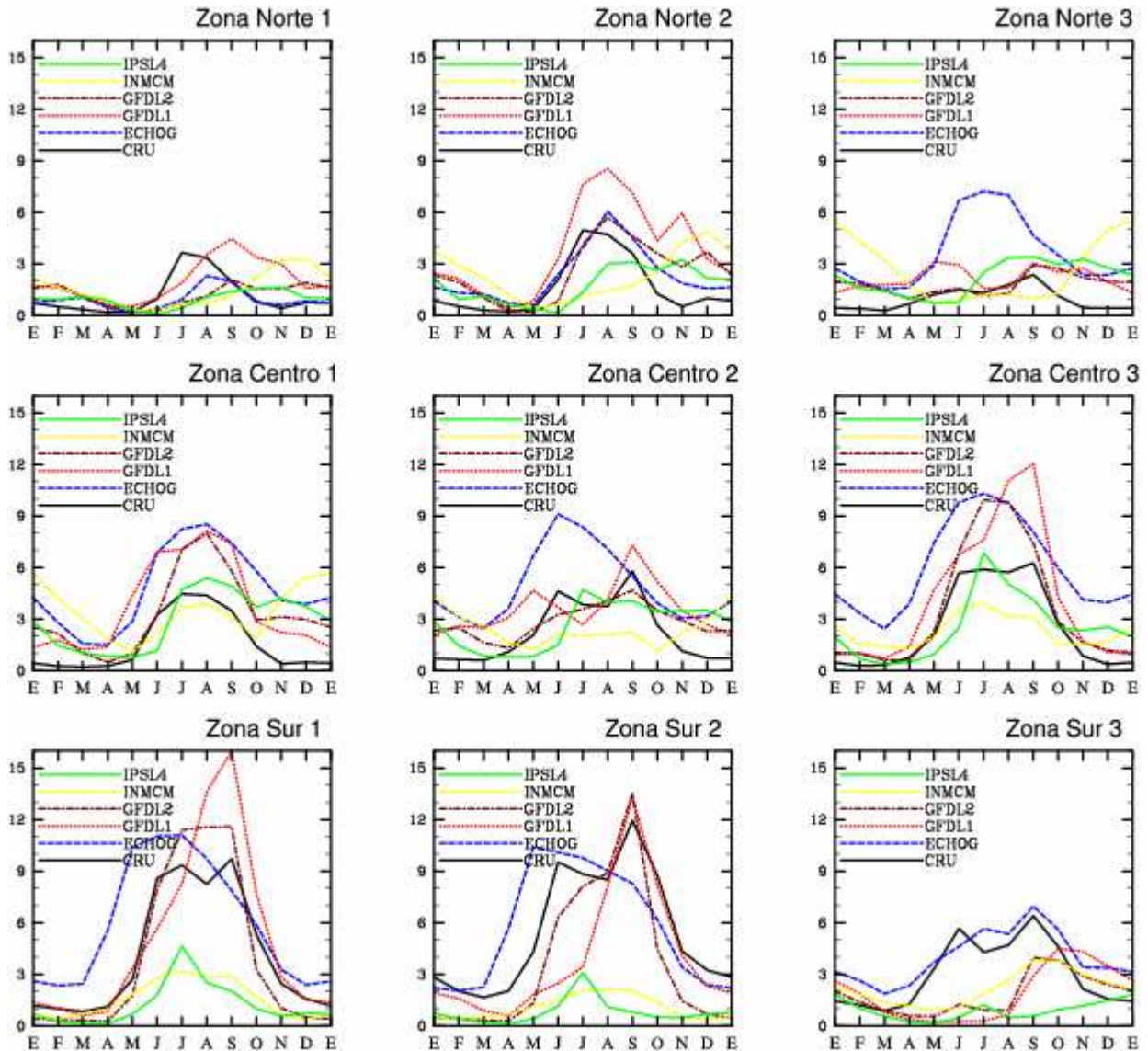


Figura 6.3 – Promedio climatológico mensual de la precipitación (mm/día) para cinco modelos del IPCC (IPSL4, INMCM, GFDL2, GFDL1, ECHOG) y la base de datos observada CRU, para el período de 1961-1990.

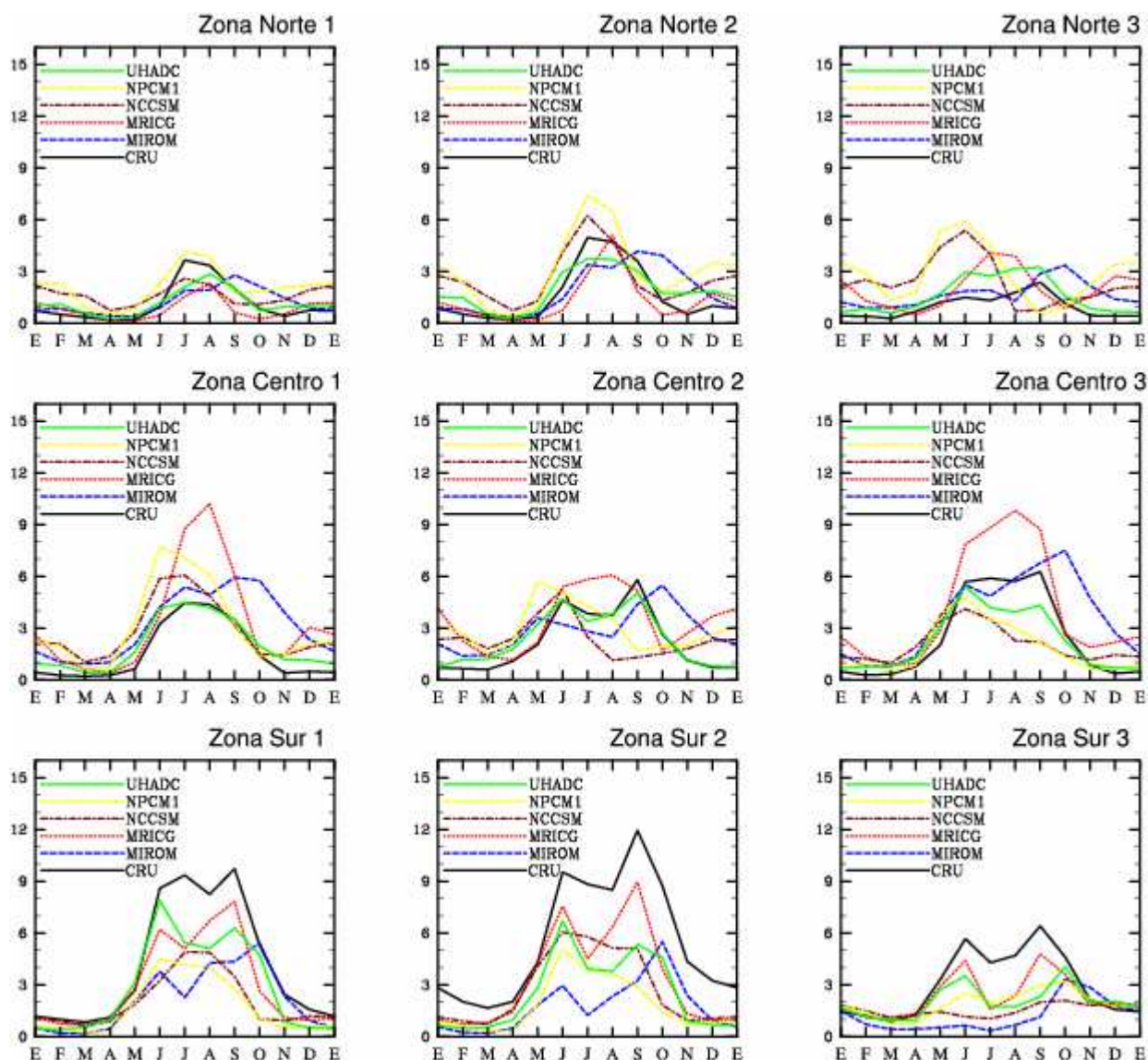


Figura 6.4 – Promedio climatológico mensual de la precipitación (mm/día) para cinco modelos del IPCC (UHADC, NPCM1, NCCSM, MRICG, MIROM) y la base de datos observada CRU, para el período de 1961-1990.

En las figuras 6.5, 6.6, 6.7 se presenta la tendencia de precipitación en (mm/día/decada) para quince modelos del IPCC y la base de datos observada CRU, en las nueve zonas geográficas de estudio, para el período de referencia de 1961-1990.

Las tendencias de la zona norte no presentan variaciones significativas en comparación con la zonas centro y sur, ya que estas oscilan entre ± 0.5 en casi todos los meses. La tendencia para la zona norte 1 es en general negativa principalmente en los meses de septiembre hasta noviembre. En la zona norte 2 la tendencia nuevamente es negativa tal como en la zona norte 1, sobre todo entre los meses de julio-noviembre, y las variaciones con respecto a CRU son mayores que en la zona norte 1. La tendencia de los modelos para la zona norte 3 se muestra negativa en los meses de enero-abril y septiembre, y positiva para el resto de los meses sin embargo en general todos los modelos tienen una tendencia inferior a CRU en la mayoría de los meses, cabe señalar que en está ultima zona los modelos difieren más con la tendencia de CRU.

En la zona centro 1 la tendencia climática de precipitación que muestran los modelos es en general negativa, y esta se encuentra por debajo de la tendencia de la base de datos CRU. La zona centro 2 es caracterizada por los modelos con una tendencia negativa en los meses de enero, febrero y marzo y una tendencia positiva en los meses de agosto, septiembre y octubre, aunque de forma general se puede decir que la tendencia de los modelos se ubican por arriba de las tendencias de CRU excepto en los meses de enero hasta abril. Las tendencias de la zona centro 3 son negativas y por debajo de la tendencia de CRU en los primero seis meses (enero-junio) y negativa en los meses de julio a diciembre, dicha tendencia es superior a las de la base de datos observada CRU.

Los modelos muestran para la zona sur una tendencia en general negativa. En está zona las tendencias de los modelos son inferiores respecto a la tendencia de CRU en los meses de enero hasta junio, y superior a CRU para el resto de los meses, sin embargo la tendencia es principalmente negativa, y en los meses de junio, julio y agosto la diferencias en la tendencia entre los modelos y CRU son más grandes. Para las zona sur 2 los modelos presentan una tendencia por debajo de CRU para los meses de enero, febrero, marzo y diciembre y por arriba de está de junio hasta noviembre, y de forma similar a la zona sur 1 los modelos tienen tendencia negativas para esta zona. En la zona sur 3 los modelos presentan una tendencia negativa durante todos los meses, y en general dicha tendencia se encuentra por debajo de CRU, principalmente en los meses de mayo-agosto meses en que la diferencia entre modelos y CRU es más significativa.

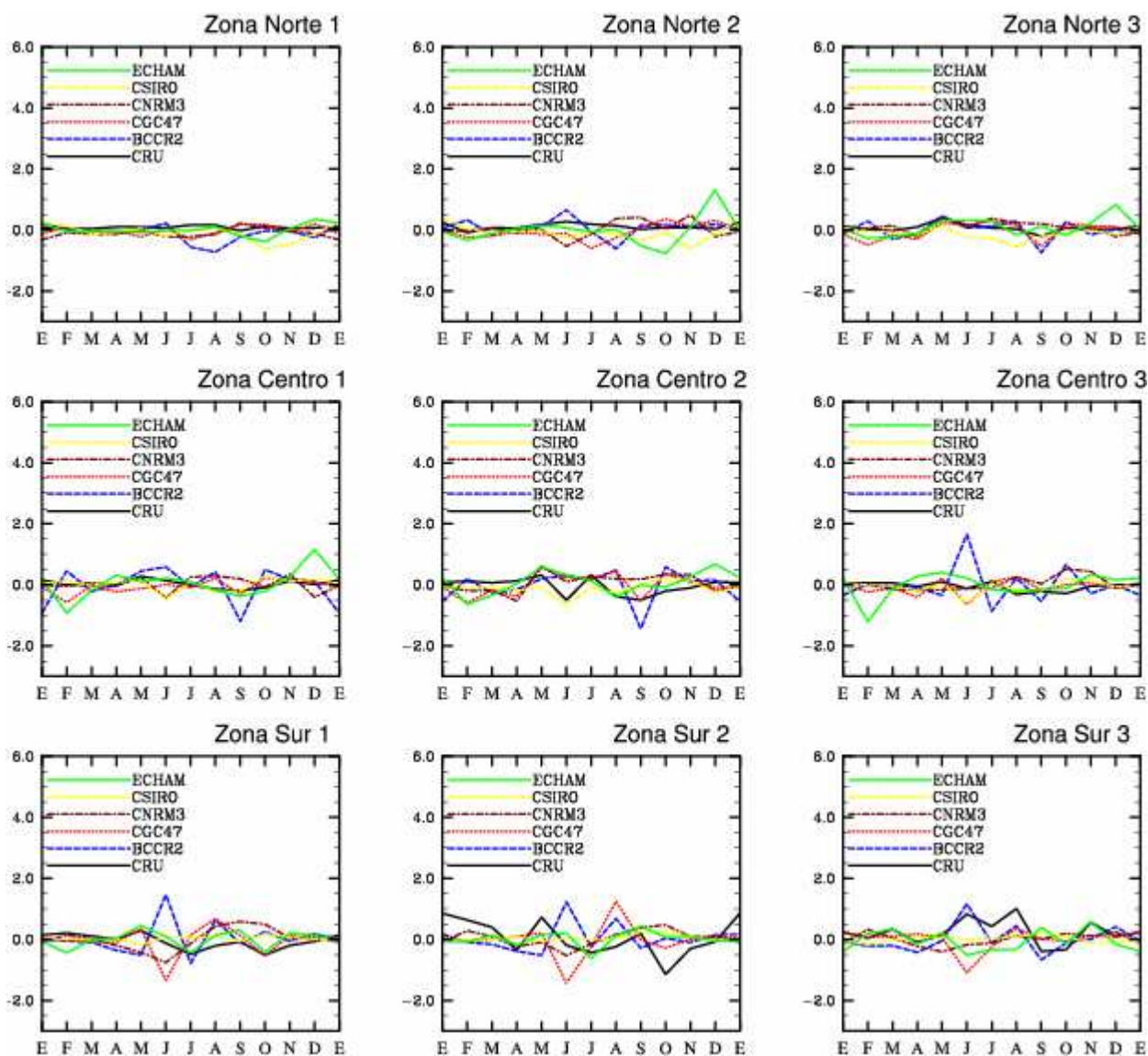


Figura 6.5 – Tendencia mensual de la precipitación (mm/día/década) para cinco modelos del IPCC (ECHAM, CSIRO, CNRM3, CGC47, BCCR2) y la base de datos observados CRU, para el período 1961-1990.

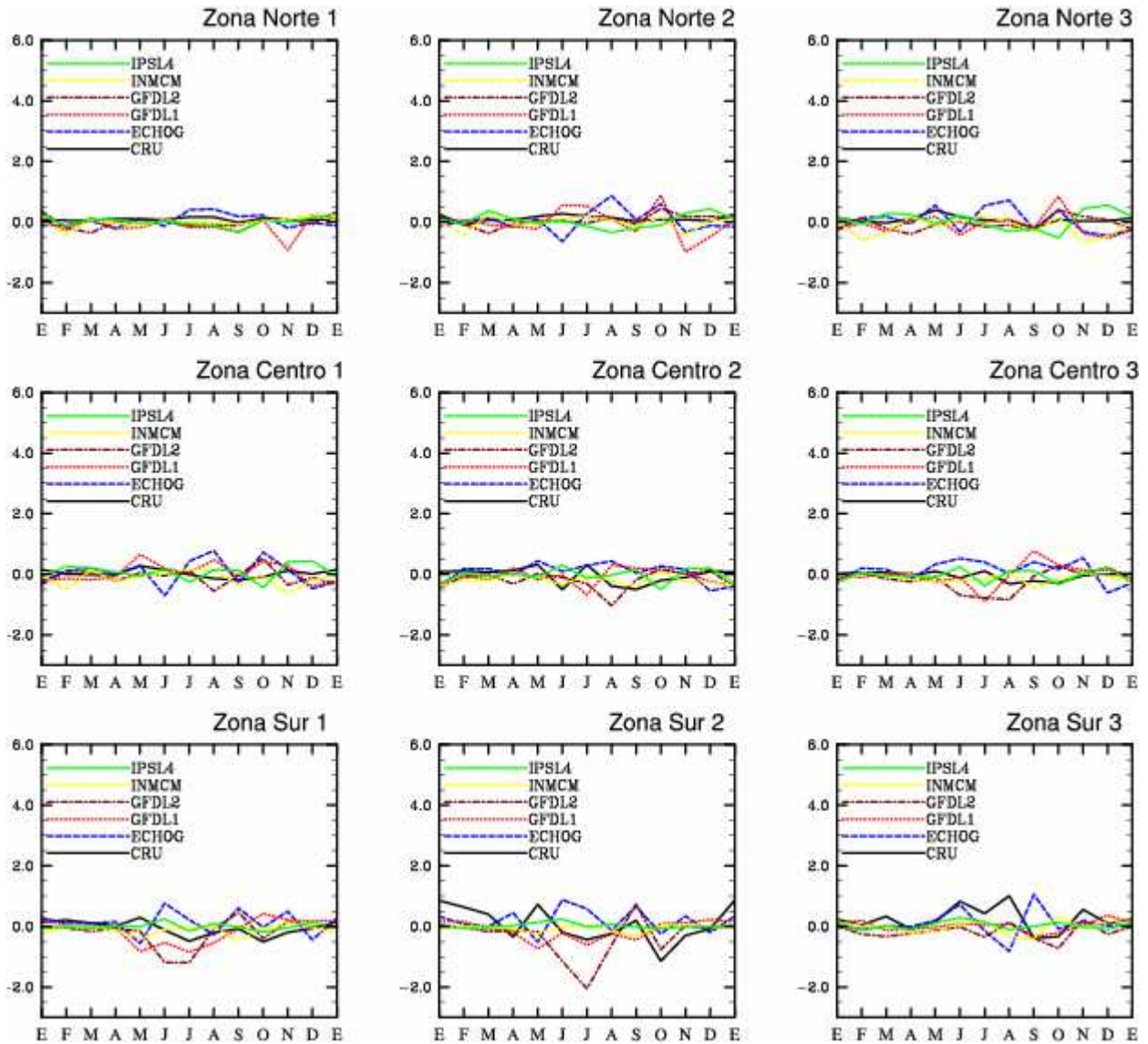


Figura 6.6 – Tendencia mensual de la precipitación (mm/día/década) para cinco modelos del IPCC (IPSL4, INMCM, GFDL2, GFDL1, ECHOG) y la base de datos observados CRU, para el período de 1961-1990.

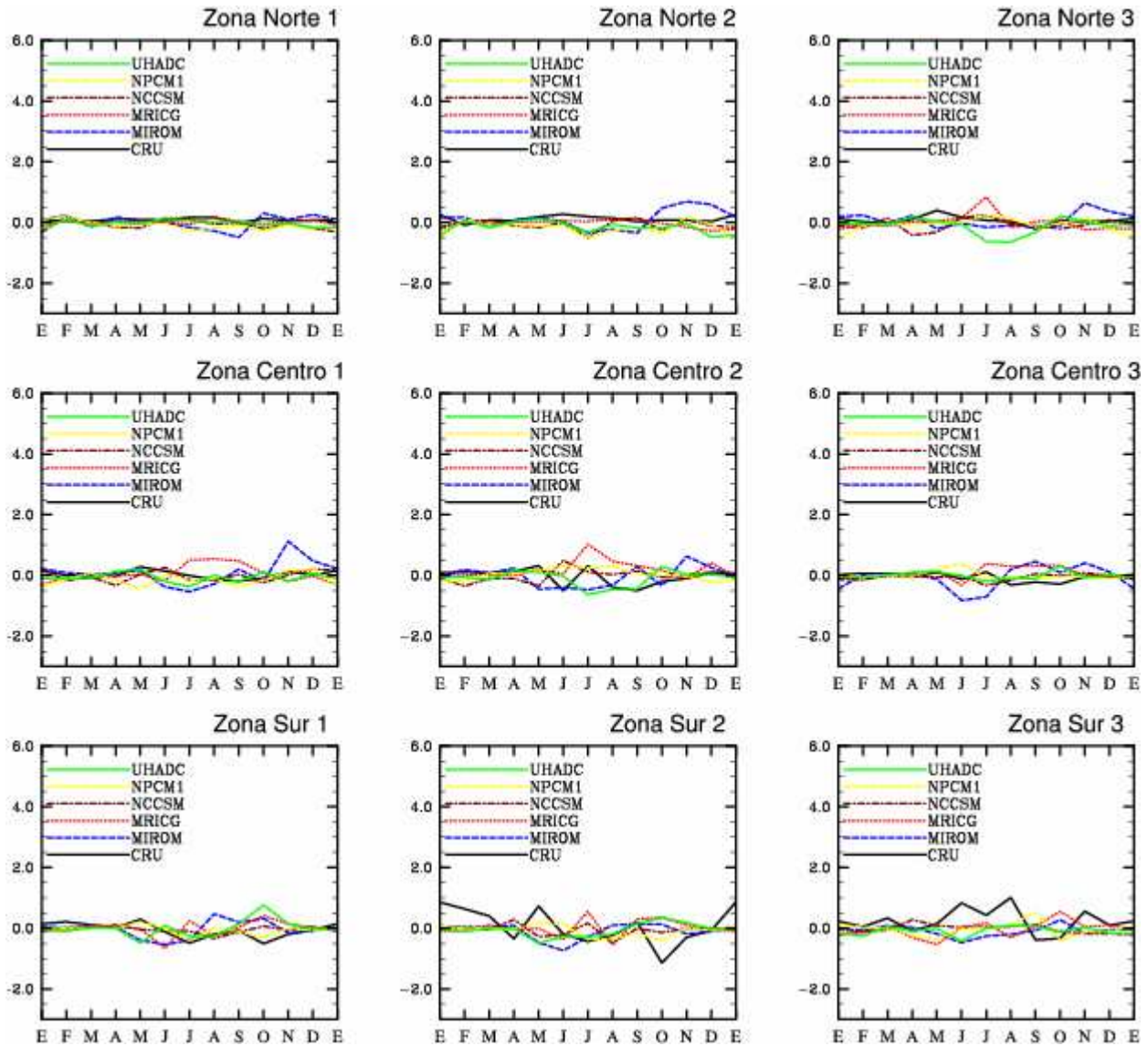


Figura 6.7 - Tendencia mensual de la precipitación (mm/día/década) para cinco modelos del IPCC (UHADC, NPCM1, NCCSM, MRICG, MIROM) y la base de datos observados CRU, para el período de 1961-1990.

Numero	Modelo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	total
1	BCCR_ BCM2_0	1	9	12	14	12	10	8	2	2	70
2	CCCMA CGCM 3_1	9	4	4	1	2	5	5	6	8	44
3	CNRM CM3	4	15	15	15	16	13	14	8	11	111
4	CSIRO MK3_0	8	3	3	9	3	1	7	14	9	57
5	MPI ECHAM5	2	6	2	3	4	6	6	5	7	41
6	MIUB ECHO G	12	2	8	7	10	14	10	13	1	77
7	GFDL CM2	11	11	9	6	8	12	11	10	16	94
8	GFDL1 CM2_1	15	10	10	11	9	4	4	4	12	79
9	INMCM3_0	16	16	16	16	15	15	15	12	6	127
10	IPSL CM4	14	14	13	12	11	11	9	15	15	114
11	MIROC3_2 MEDRES	6	8	6	8	7	16	13	16	13	93
12	MRI CGCM2_3_2a	13	5	7	5	6	9	1	1	3	50
13	NCAR CCSM3_0	5	12	11	10	14	7	16	11	14	100
14	NCAR PCM1	10	13	14	13	13	8	12	9	5	97
15	UKMO HADCM3	3	1	1	2	1	3	3	7	10	31
16	IPCC	7	7	5	4	5	2	2	3	4	39

Tabla 6.1 – Posicionamiento de quince modelos y del promedio de los modelos del IPCC, de acuerdo a la correlación y error cuadrático medio obtenido.

En la figura 6.8 se presenta la tendencia climática de la precipitación para el modelo ECHAM y UHADC (HADLEY), los cuales se eligieron a partir de un estudio de validación con bases estadísticas, el promedio de quince modelos representado como IPCC y la base de datos observados CRU.

La tendencia climática de la precipitación en la zona norte no presenta variaciones significativas en comparación con al zona centro y sur, sin embargo el modelos ECHAM picos de tendencia positiva de precipitación en el mes de diciembre, y un pico de tendencia negativo en octubre, siendo más notorio en las zonas norte 2 y 3. El modelo UHADC a diferencia del modelo ECHAM presenta una tendencia negativa de junio hasta el mes de agosto en la zona norte 3, y en octubre y diciembre en la zona norte 2. Los modelos de manera general se encuentran por debajo de las tendencias de CRU, y estas son por lo tanto negativas.

En la zona centro la tendencia climática se caracteriza porque en los meses junio-septiembre las diferencias en la tendencia entre los modelos y CRU son mayores. El modelo ECHAM muestra una de tendencia positiva en el mes de diciembre y negativa en febrero en las tres zonas en las cuales se dividió la región centro, este modelo tiene tendencias superiores a las tendencias de la base de datos CRU durante los meses de abril hasta diciembre, y las zonas que mejor representa el modelo ECHAM son las zonas centro 1 y 3. La tendencia climática de precipitación del modelo UHADC esta ligeramente por debajo de la tendencia de CRU durante junio y julio en las zonas centro 1 y 2, y se ubica por arriba de la misma en los meses de noviembre y diciembre en las zonas centro 2 y 3. El modelo UHADC tiende a mantenerse en general por debajo de las tendencias de CRU, siendo esta negativa en la mayoría de los meses, sin embargo esta tendencia se ajusta mejor a las tendencias la base de datos observados CRU.

Los modelos ECHAM y UHADC en la zona sur tienen tendencia negativa durante los meses de junio-agosto principalmente, y en general es en esta zona donde las diferencias en la tendencia de los modelos y CRU son mayores.

El modelo ECHAM en la zona sur 1 mantiene tendencias superiores a CRU durante abril hasta diciembre, sin embargo tiene mucha similaridad a la tendencia de la base de datos CRU y solo presenta un pico de tendencia negativo en febrero para esta zona. En la zona sur 2 el modelo ECHAM tiende a mantener tendencias inferiores a CRU durante los meses de enero hasta junio, y mantenerse por arriba de la misma en los meses posteriores, aunque de forma general el modelo marca una tendencia positiva para esta zona. El modelo ECHAM en la zona sur 3 representa adecuadamente la tendencia de la precipitación durante febrero a mayo y de octubre hasta diciembre, sin embargo en el mes de enero y de junio hasta agosto muestra una tendencia negativa marcada, obteniendo una diferencia significativamente grande con respecto a CRU.

En la zona sur 1 el modelo UHADC presenta un pico de tendencia negativa en mayo y uno positivo en octubre, los cuales son contrarios a los que tiene la base de datos observados CRU, y únicamente mantiene una semejanza en los meses de enero-mayo aunque el modelo conserva una tendencia negativa y por debajo de CRU en estos meses. La zona sur 2 es representada por el modelo UHADC con una tendencia negativa desde enero hasta agosto, y positiva para el resto de los meses, así como una máxima tendencia positiva en octubre la cual es contraria a la tendencia de CRU. El modelo UHADC presenta una tendencia negativa para la mayoría de los meses en la zona sur 3, y manteniéndose por debajo de las tendencias de CRU, principalmente en junio.

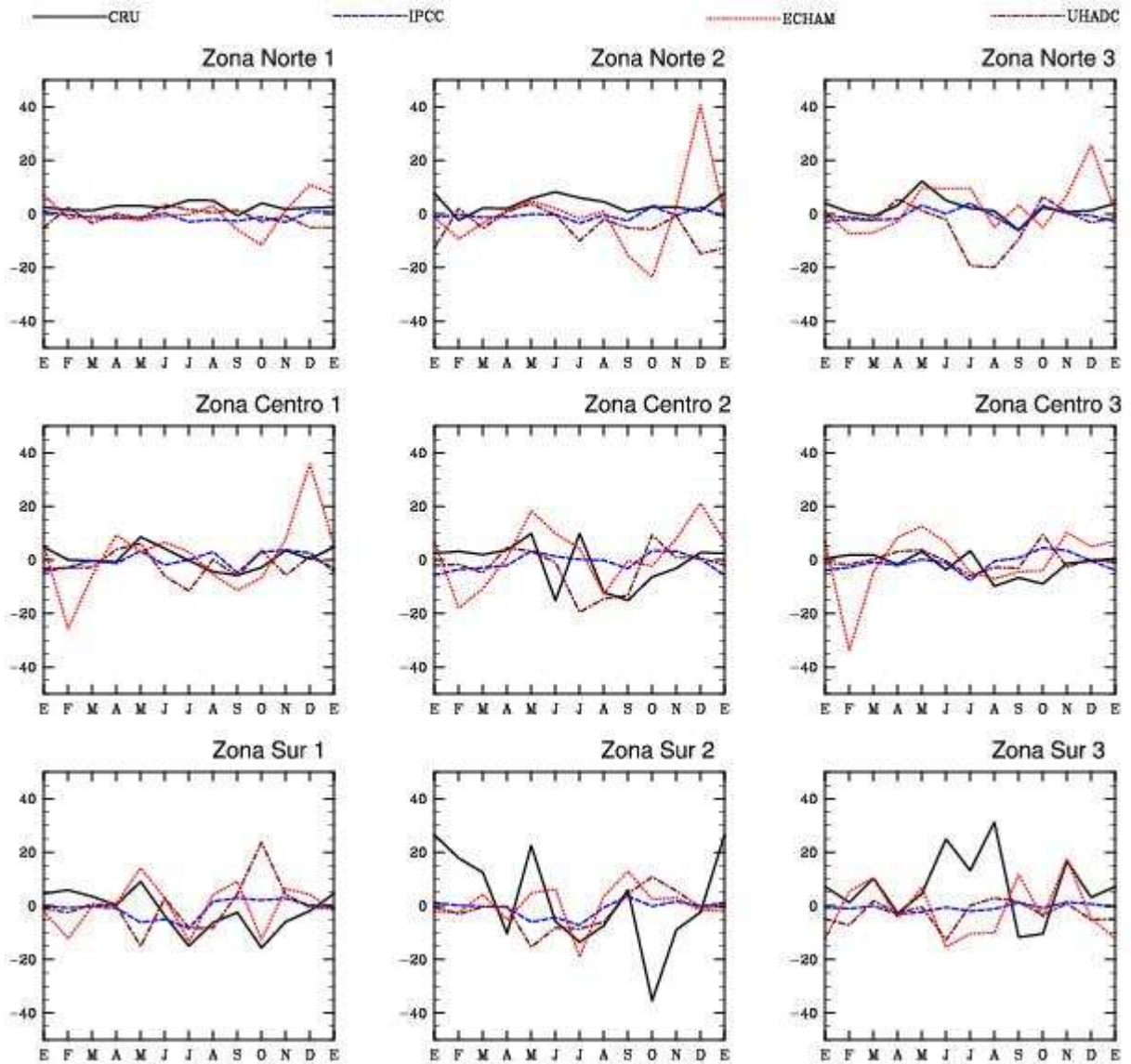


Figura 6.8 – Tendencia mensual de la precipitación (mm/década) para dos modelos (ECHAM y UHADG), el promedio de quince modelos del IPCC y la base de datos observados CRU, para el período de 1961-1990.

En las figuras 6.9-6.13 se presentan las gráficas con las características de la tendencia lineal de la precipitación (mm/día) para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC) del IPCC en las nueve zonas geográficas de estudio, durante el mes de enero.

La tendencia de la precipitación de la base de datos observados CRU para la zona norte se muestra positiva, aunque los picos de máxima precipitación no coinciden en las tres zonas, únicamente en 1981 y 1979 para las zonas norte 1 y 2, mientras que en los mínimos de precipitación si llegan a coincidir las tres zonas en 1980, 1986 y 1964 para las regiones 1 y 2, ya que la región 3 presenta este mínimo en 1963.

El modelo ECHAM simuló para la zona norte 1 y 2 valores de precipitación máxima en 1989, mientras que en la zona norte 3 el máximo se presentó en 1987. Los valores mínimos se ubican en general para las tres zonas del norte en 1961-1962, 1971 y 1975. Las tendencias para estas tres regiones por parte del modelo fueron positivas como lo muestra la pendiente de los mismos.

Los máximos de precipitación del modelo HADLEY para la zona norte se muestran en 1971, 1962 y 1987 para la zona norte 1, 2, y 3 respectivamente, y en 1972 se presenta un mínimo en las tres zonas del norte. El modelo HADLEY mostró tendencias positivas para la zona norte 1 no así en las zonas norte 2 y 3 donde las tendencias fueron negativas.

En la zona centro la base de datos observados CRU tiene un máximo de precipitación en 1981 en las zonas centro 1 y 2, mientras que en la zona centro 3 se observa en 1980. Los mínimos de precipitación se presentaron en 1982 y 1962 para las zonas centro 2 y 3, y en la zona centro 1 se observa un mínimo en 1963, y las tendencias son en general positivas para la zona centro.

Las tendencias para la zona centro del modelo ECHAM no presentan una tendencia marcada, ya que no manifiestan cambios aparentes. Los máximos de precipitación del modelo ECHAM se muestran en la zona centro 1 y 2 en 1987, y en la zona centro 3 en 1970. Los picos de mínima precipitación en las tres zonas se observan en los años de 1971, 1979, 1984 y 1985.

El modelo HADLEY para la zona centro presenta en general una tendencia negativa, y el máximo de precipitación para el período de estudio coincidió en las tres zonas observándose en 1964, sin embargo las zonas centro 1 y 2 muestran otro máximo importante en 1988. Los mínimos de precipitación se presentaron en diferente año en cada zona en la zona centro 1 en 1972, en la centro 2 en 1984 y en la centro 3 en 1968, 1982 y 1985.

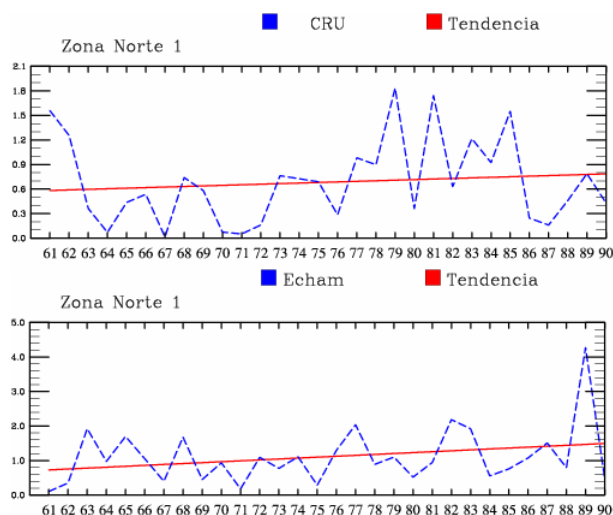
Para la zona sur la base de datos CRU indica una tendencia de aumento en la precipitación. Durante el mes de enero las zonas sur 1 y 2 coinciden en un pico de máxima precipitación en 1989, y en la zona sur 3 el máximo se observa en 1972. La mínima precipitación de 1987 se presentó en las zonas sur 1 y 3, mientras que en la zona sur 2 el mínimo se observa en 1977.

El modelo ECHAM muestra una tendencia ligeramente negativa para las zonas sur 2 y 3, y no existe una tendencia aparente para la zona sur 1. Los máximos de precipitación para la zona sur 2 y 3 por parte del modelo ECHAM se observa en 1973, y en la zona sur 1 en 1970. El modelo simuló en la zona sur 2 y 3 dos mínimos en la precipitación en 1968 y 1975, y para la zona sur 1 en 1984.

En las zonas sur 2 y 3 el modelo HADLEY muestra una tendencia positiva, mientras que en la zona sur 1 dicha tendencia es negativa. En 1963 el modelo simuló un máximo de precipitación en las zonas sur 2 y 3, y en 1964 para la zona sur 1. De acuerdo al modelo la zona sur 1 tiene dos mínimos de precipitación en 1971 y 1981, y en las zonas sur 2 y 3 se observan en 1974 y 1964 para cada zona respectivamente.

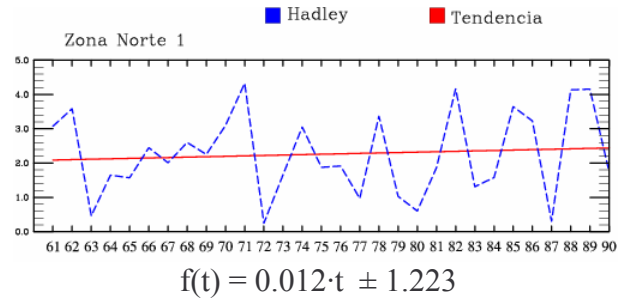
De forma general las tendencias del modelo ECHAM tiene mayor similitud con las tendencias de la base de datos observados CRU para la zona norte, y las tendencias del modelo HADLEY coinciden mejor con CRU para la zona sur, mientras que en la zona centro en modelo ECHAM no muestra cambios significativos en la tendencia, y el modelo HADLEY tiene tendencias negativas contrarias a CRU.

ENERO (ZONA NORTE 1)



$$f(t) = 0.007 \cdot t \pm 0.515$$

$$f(t) = 0.026 \cdot t \pm 0.826$$



ENERO (ZONA NORTE 2)

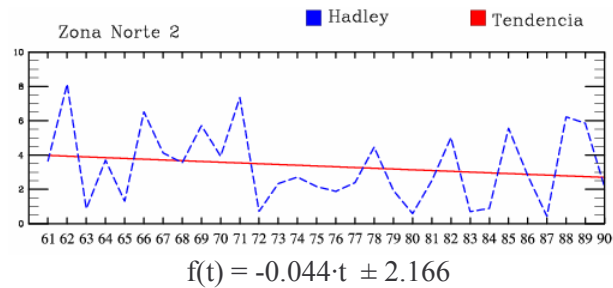
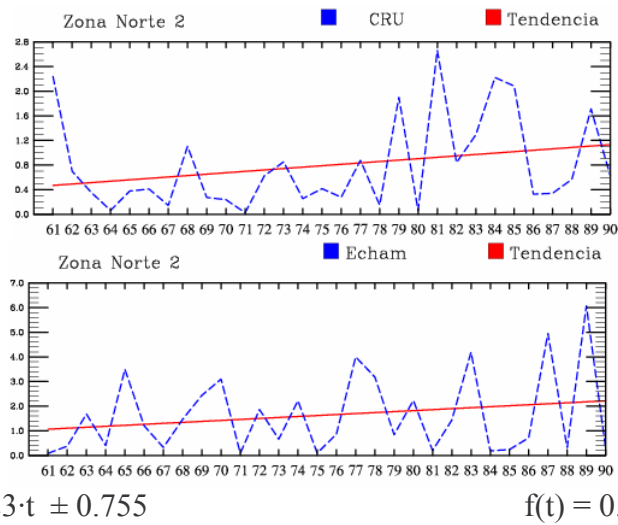
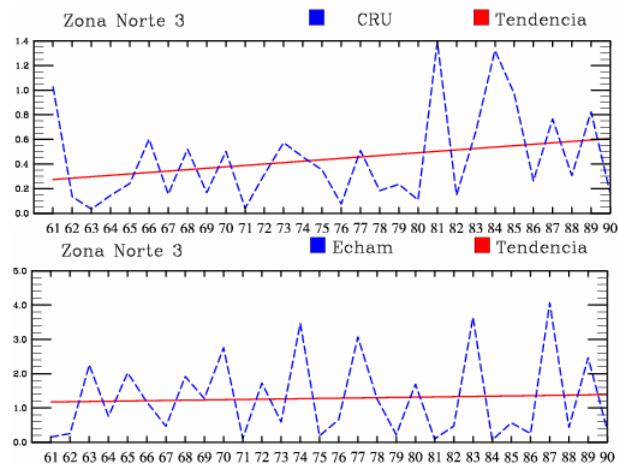


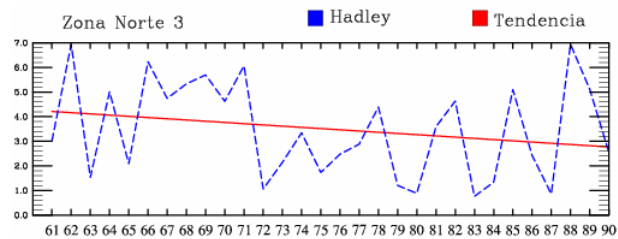
Figura 6.9 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Norte 1 y Norte 2 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante enero de 1961 a 1990.

ENERO (ZONA NORTE 3)



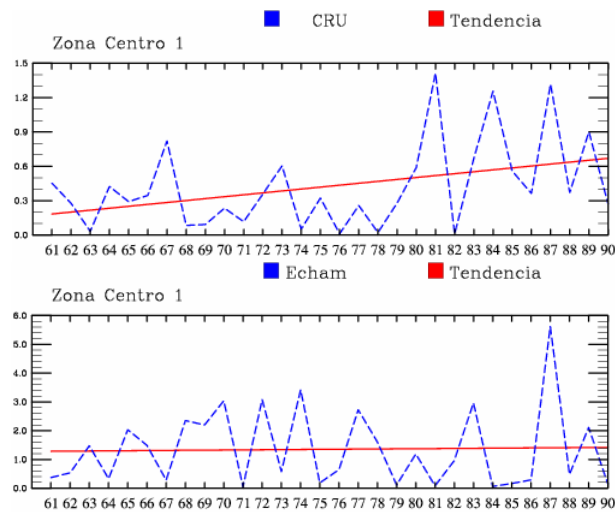
$$f(t) = 0.011 \cdot t \pm 0.369$$

$$f(t) = 0.007 \cdot t \pm 1.200$$



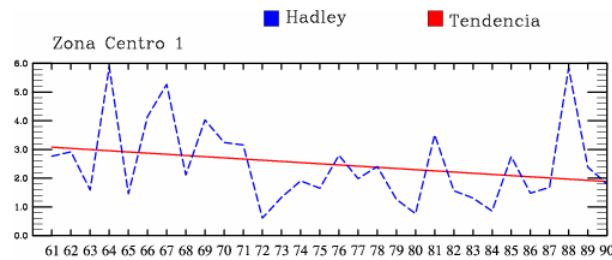
$$f(t) = -0.050 \cdot t \pm 1.948$$

ENERO (ZONA CENTRO 1)



$$f(t) = 0.017 \cdot t \pm 0.385$$

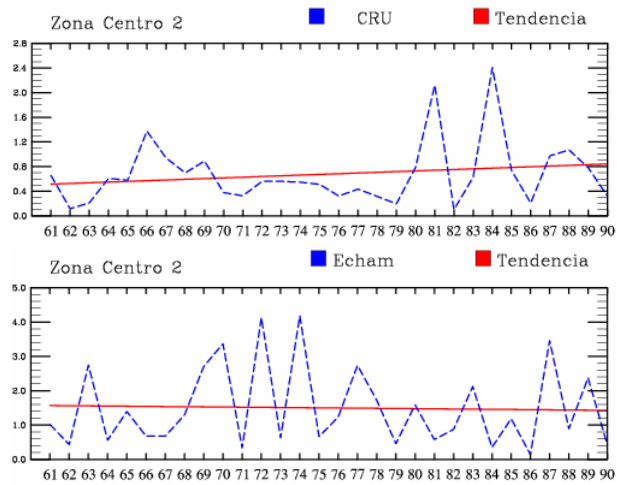
$$f(t) = 0.005 \cdot t \pm 1.357$$



$$f(t) = -0.041 \cdot t \pm 1.412$$

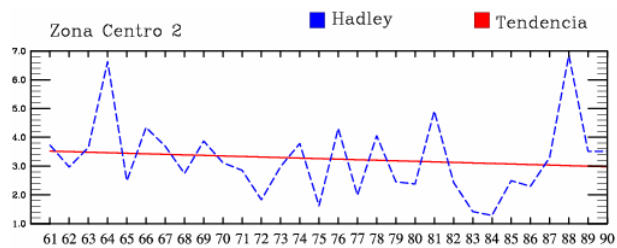
Figura 6.10 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Norte 3 y Centro 1 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante enero de 1961 a 1990.

ENERO (ZONA CENTRO 2)



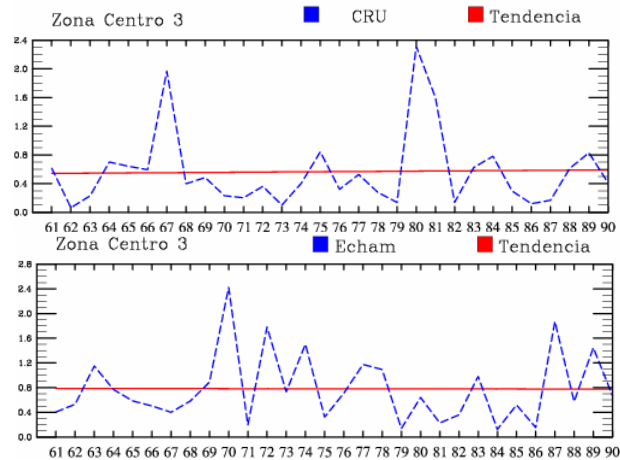
$$f(t) = 0.011 \cdot t \pm 0.525$$

$$f(t) = -0.005 \cdot t \pm 1.187$$



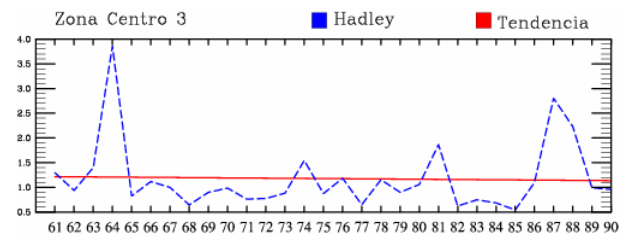
$$f(t) = -0.019 \cdot t \pm 1.309$$

ENERO (ZONA CENTRO 3)



$$f(t) = 0.002 \cdot t \pm 0.532$$

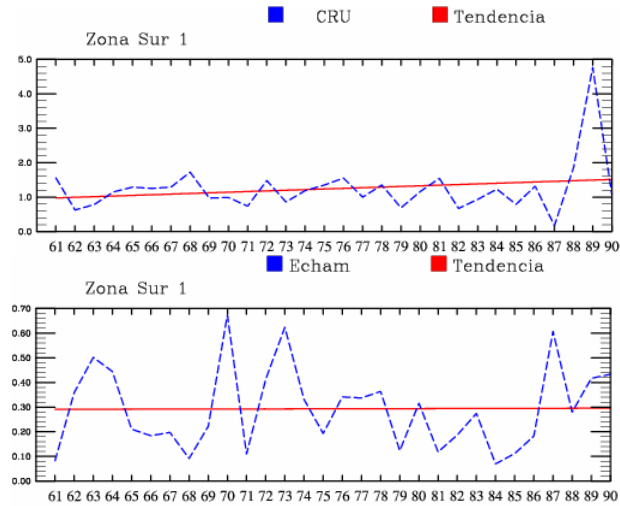
$$f(t) = -0.0003 \cdot t \pm 0.564$$



$$f(t) = -0.003 \cdot t \pm 0.704$$

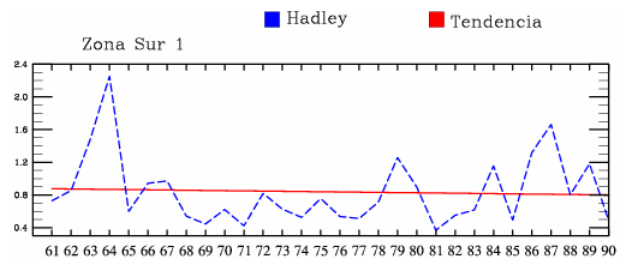
Figura 6.11 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Centro 2 y Centro 3 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante enero de 1961 a 1990.

ENERO (ZONA SUR 1)



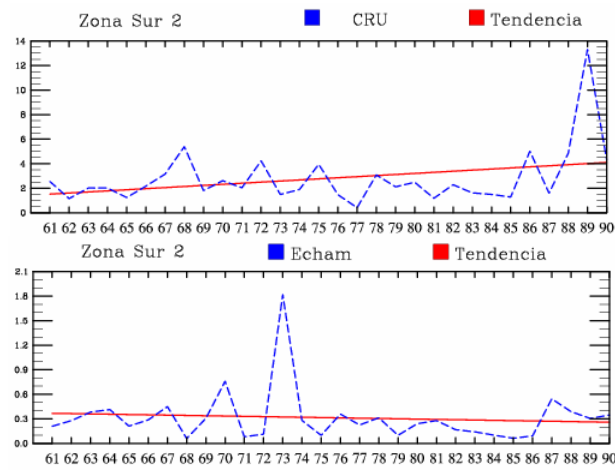
$$f(t) = 0.019 \cdot t \pm 0.760$$

$$f(t) = 0.0002 \cdot t \pm 0.167$$



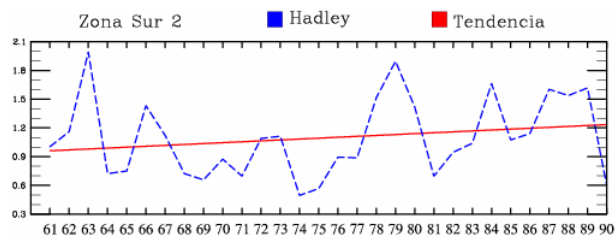
$$f(t) = -0.003 \cdot t \pm 0.425$$

ENERO (ZONA SUR 2)



$$f(t) = 0.089 \cdot t \pm 2.356$$

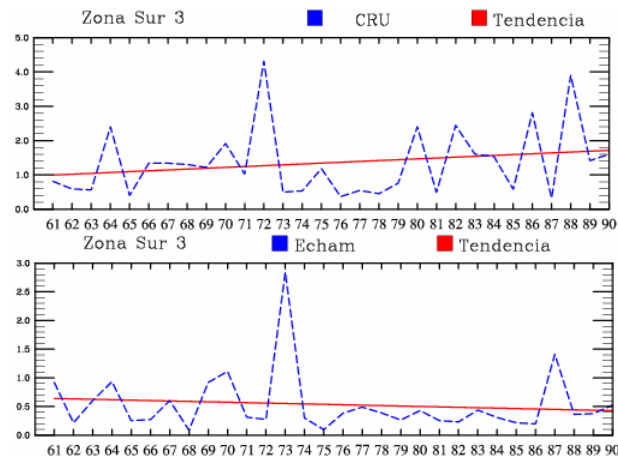
$$f(t) = -0.004 \cdot t \pm 0.325$$



$$f(t) = 0.009 \cdot t \pm 0.409$$

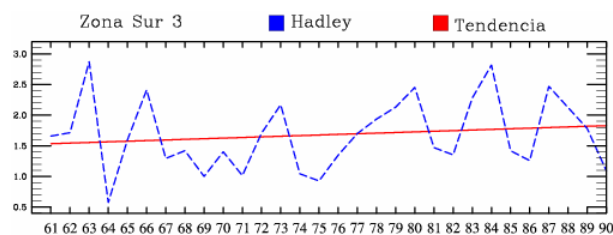
Figura 6.12 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Sur 1 y Sur 2 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante enero de 1961 a 1990.

ENERO (ZONA SUR 3)



$$f(t) = 0.025 \cdot t \pm 1.025$$

$$f(t) = -0.007 \cdot t \pm 0.537$$



$$f(t) = 0.010 \cdot t \pm 0.582$$

Figura 6.13 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en la región geográfica Sur 3 para el mes de enero para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante el periodo de 1961 a 1990.

En la figura 6.14 se muestra los mapas de tendencia climática de precipitación en México para la base de datos CRU, el promedio de quince modelos del IPCC representado como IPCC, y los modelos ECHAM y UHADC (HADLEY) que son los dos mejores modelos de acuerdo al estudio de validación hecha con bases estadísticas.

Las tendencias climáticas de precipitación de la serie de datos observados CRU tiene un incremento en la precipitación en la zona sur-sureste y en menor medida en el noroeste y noreste de la República Mexicana, es decir existe una tendencia positiva en este mes para el período de referencia 1961-1990.

El promedio de los modelos IPCC muestra una ligera tendencia positiva en el noroeste y sur de México pero menor que CRU, mientras que en el centro del país tiene una tendencia de disminución de la precipitación a diferencia de CRU que no presenta cambios.

El modelo ECHAM contrario a la tendencia de precipitación del IPCC muestra un aumento en la precipitación en el centro del país, y contrario a CRU presenta en el sur de México una ligera tendencia de disminución, aunque de forma similar a los datos observados de CRU si muestra la tendencia positiva en el noroeste de la República Mexicana.

Para este período climatológico del mes de enero el modelo UHADC tiene ligeras tendencias negativas, siendo más intenso en el noroeste de México y la Península de Yucatán, mientras que en el centro y sureste las tendencias de precipitación no muestran una tendencia marcada, para uno de los dos signos, ya sea positiva o negativa.

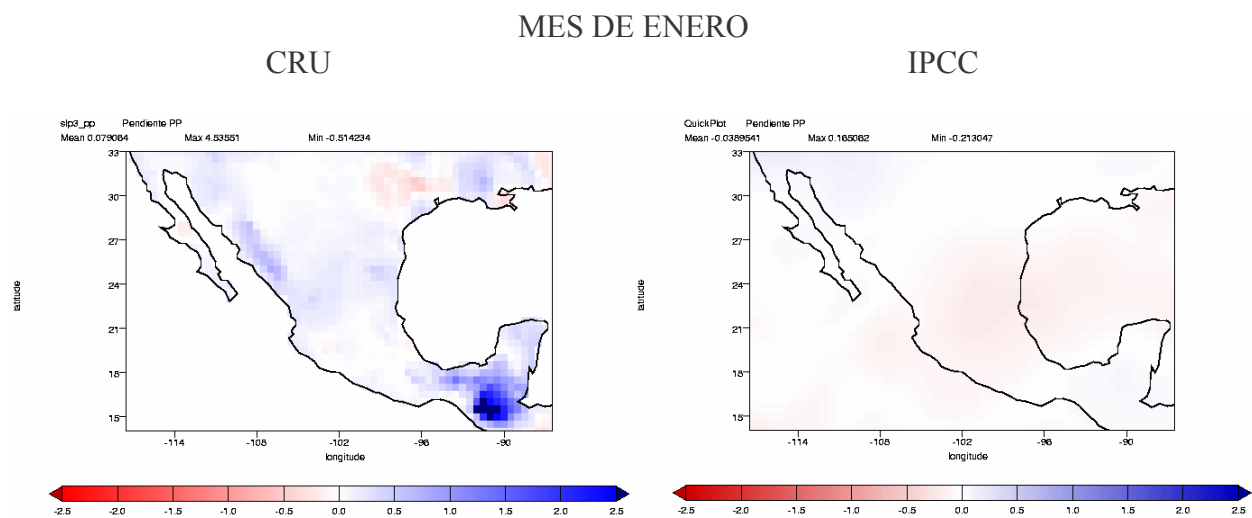
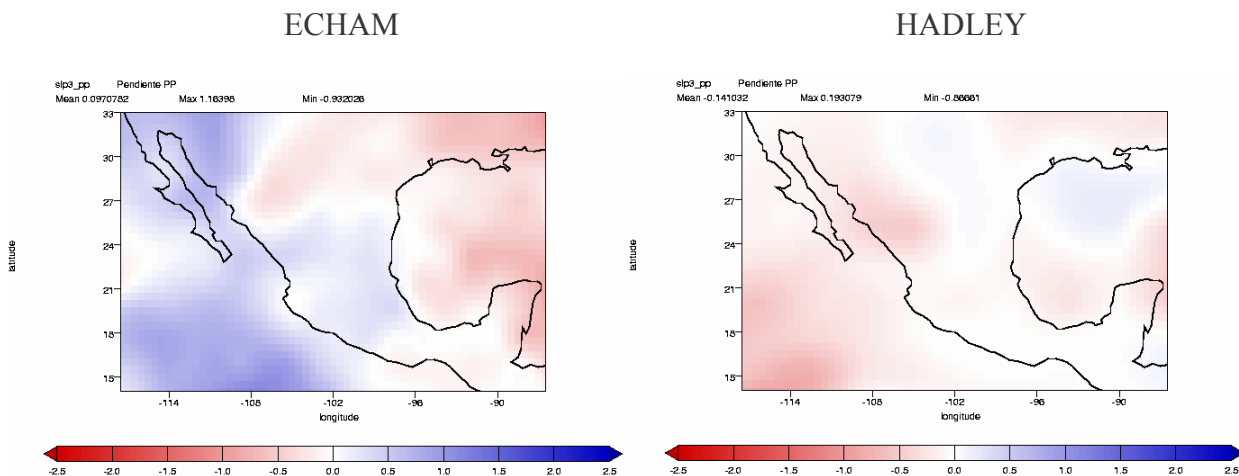


Figura 6.14 - Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para dos modelos (ECHAM y HADLEY), el promedio de quince modelos del IPCC, y la base de datos observados CRU, para el período 1961-1990.



Continuación de la figura 6.14

En las figuras 6.15-6.19 se muestran las gráficas correspondientes a la tendencia lineal de la precipitación (mm/día) del mes de abril para las nueve regiones geográficas, de CRU, y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC).

Durante el mes de abril se puede observar que CRU tiene en las tres regiones de la zona norte máximos de precipitación en 1981 y 1985, y en 1969 en las zonas norte 1 y 3 y en 1968 en la zona norte 2. Los mínimos de precipitación se dieron en 1969, 1984 y 1989 en las zonas norte 1 y 2, ya que la zona norte 3 presenta una característica singular respecto a los mínimos ya que se observan un año antes o después que las zonas norte 1 y 2, en 1971, 1983 y 84, y en 1988 para dicha zona.

El modelo ECHAM muestra tres máximos de precipitación en la zona norte 1 en 1962, 1973 y 1987, en la norte 2 solo se observa un máximo en 1978, y en la zona norte 3 en 1974. Los mínimos de precipitación para la zona norte 1 se encuentran en 1964, 1967 y 1981-82, en la zona norte 2 se observan en 1967, 1981 y 1986, coincidiendo con la zona norte 1, mientras que la zona norte 3 solo presenta un mínimo en 1967 mismo año en que las zonas norte 1 y 2 que también tienen un mínimo. El modelo ECHAM en general presenta una tendencia negativa para la zona norte.

La simulación de la precipitación del modelo HADLEY para la zona norte 1 muestra un máximo en 1971, en la zona norte 2 en 1962 y 1968, y en la zona norte 3 en 1983, mientras que los mínimos de precipitación se presentaron de acuerdo al modelo en 1972, 1981 y 1984-85, en la zona norte 2 en 1974, 1981 y 1984-86, y por ultimo en la zona norte 3 en 1982 y 1985. La tendencia al igual que el modelo ECHAM es negativa en las tres zonas de la región norte.

La base de datos observados CRU no muestra para la zona centro 1 una tendencia, ya que no se observan cambios significativos, sin embargo en la zona centro 2 se ve una tendencia positiva y en la zona norte 3 una tendencia negativa. Sin embargo el modelo ECHAM presenta una tendencia negativa en las zonas centro 2 y 3 y positiva para la zona centro 1, coincidiendo solo en la zona centro 3 con CRU.

El modelo HADLEY muestra una tendencia negativa para las zonas centro 1 y 3 y positiva para la zona centro 2, este modelo concuerda en la dirección de la tendencia en las zonas centro 2 y 3 con CRU. En el mes de abril los máximos de precipitación para la zona centro 1 se tiene en 1966, en la centro 2 en 1985 y en la centro 3 en 1962, mientras que los mínimos de precipitación se observan en los mismo años en las tres zonas que son 1970, 1975 y 1983-84.

Los modelos ECHAM y HADLEY en la zona centro 1 coincidieron en un mínimo de precipitación en 1981, ya que en el máximo de precipitación el modelo ECHAM lo presenta en 1972 y el modelo HADLEY en 1971.

En la zona centro 2 las simulaciones muestran que el modelo ECHAM tiene un máximo en 1972 y dos mínimos importantes en 1981 y 1986, y HADLEY tiene un máximo en 1983 y un mínimo en 1980. En la zona centro 3 el modelo ECHAM presenta dos máximos considerables en 1972 y 1973, sin embargo el modelo HADLEY solo muestra un máximo en 1983, respecto a los mínimos de precipitación ECHAM señala un mínimo en 1969 y otro en 1981, HADLEY solo tiene un mínimo considerable en 1980 en toda la temporada climática de estudio.

Para el mes de abril la zona sur 1 no tiene una tendencia marcada para uno de los dos signos, la zona sur 2 y 3 muestran una tendencia en decremento de la precipitación, sin embargo las tres zonas de la región sur coinciden en un mínimo de la misma en 1975, aunque cada zona zonas presenta otro mínimo importante la zona sur 1 en 1978, la zona sur 2 en 1984 y la zona sur 3 en 1978 y 1986. Mientras que el máximo de la precipitación en la zona sur 1 se observa en 1979, en la zona sur 2 en 1962 y por ultimo la zona sur 3 tiene dos máximo en 1967 y otro en 1969.

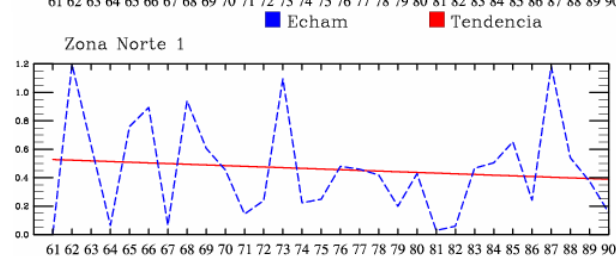
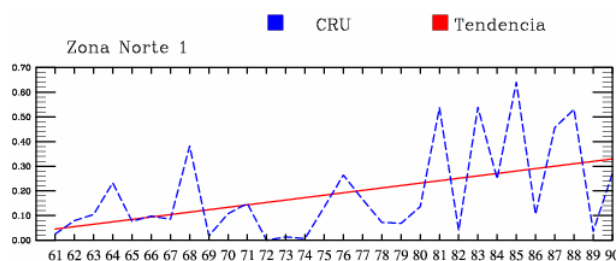
El modelo ECHAM presenta una tendencia poco marcada y sin cambios significativos en la zona sur 1, y una tendencia de aumento de la precipitación en las zonas sur 2 y 3. Este modelo simuló un máximo en la precipitación en las zonas sur 1 y 2 en 1974, aunque la zona sur 2 tiene otro máximo considerable en 1972, y la zona sur 3 muestra máximos en la precipitación en 1973 y 1985. Los mínimos en la precipitación coinciden más entre las tres zonas para los años de 1963, 1967, 1983, sin embargo la zona sur 1 y 2 tienen otro mínimo en 1985, esta ultima también presenta mínimos en 1977, 1979, y la zona sur 3 muestra dos mínimos más en 1966 y 1986.

Las tendencias para la región sur de acuerdo al modelo HADLEY son en decremento de la precipitación siendo más pronunciado en las zonas sur 2 y 3. La zona sur 1 presenta un máximo en 1966 y 1983, la zona sur 2 en 1964 y 1966, la zona sur 3 en 1961, mientras que las mínimas

de precipitación se ubican en 1965 y 1989 en la zona sur 1, 1965 en las zonas sur 2 y 3, aunque esta última también muestra mínimos en 1974 y 1983.

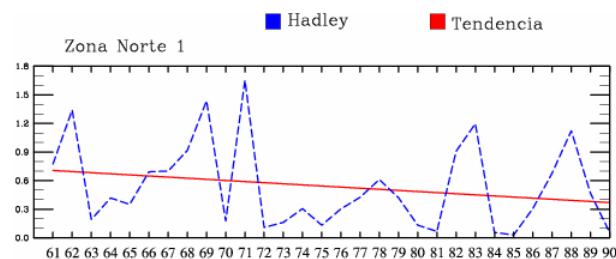
En general el modelo HADLEY simula mejor las tendencias para el mes de abril de acuerdo a CRU coincidiendo con la misma en las zonas centro 2 y 3 y las tres zonas de la región sur, mientras que el modelo ECHAM solo concuerda con CRU en las zonas centro 3 y sur 1, y en la región norte ningún de los dos modelos simuló correctamente las tendencias con base en CRU.

ABRIL (ZONA NORTE 1)



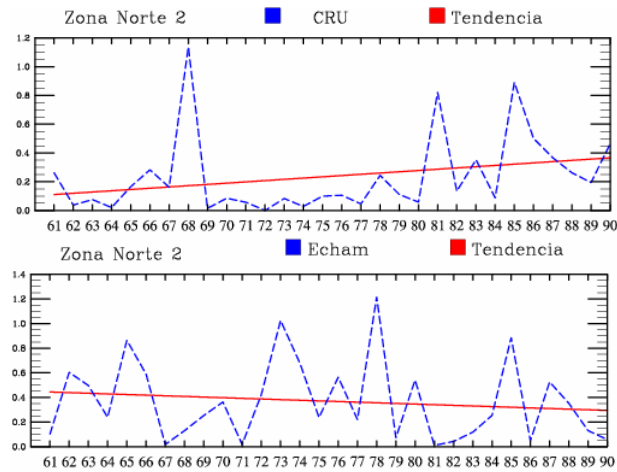
$$f(t) = 0.010 \cdot t \pm 0.185$$

$$f(t) = -0.005 \cdot t \pm 0.342$$



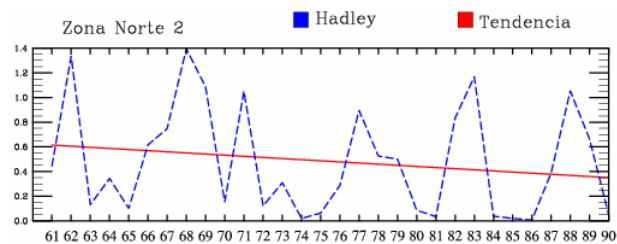
$$f(t) = -0.012 \cdot t \pm 0.454$$

ABRIL (ZONA NORTE 2)



$$f(t) = 0.009 \cdot t \pm 0.278$$

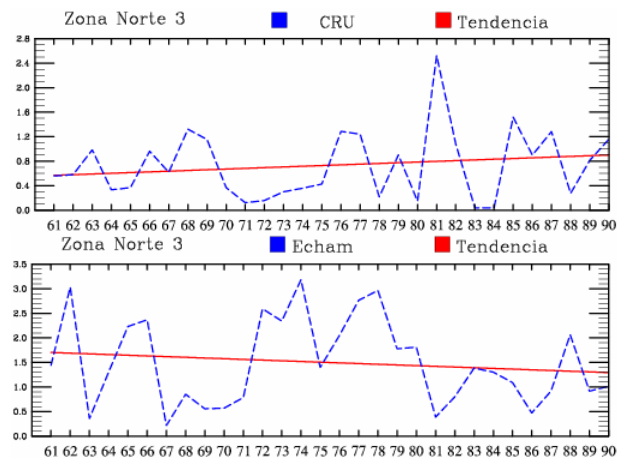
$$f(t) = -0.005 \cdot t \pm 0.325$$



$$f(t) = -0.009 \cdot t \pm 0.441$$

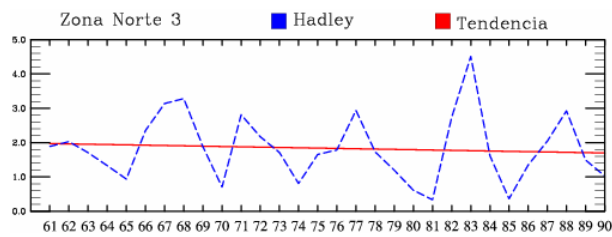
Figura 6.15 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Norte 1 y Norte 2 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante abril de 1961 a 1990.

ABRIL (ZONA NORTE 3)



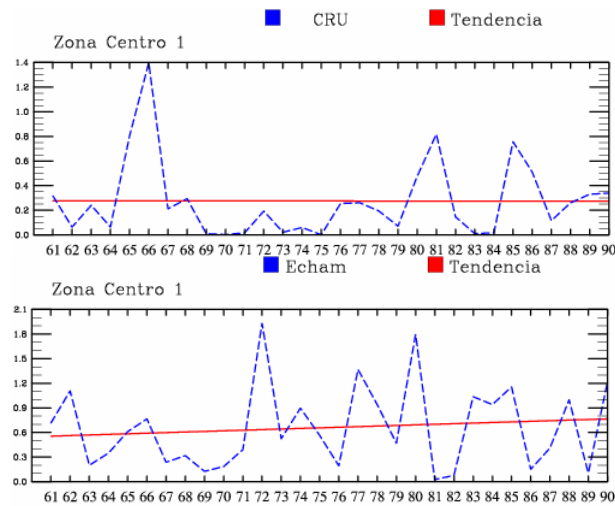
$$f(t) = 0.011 \cdot t \pm 0.560$$

$$f(t) = -0.014 \cdot t \pm 0.881$$



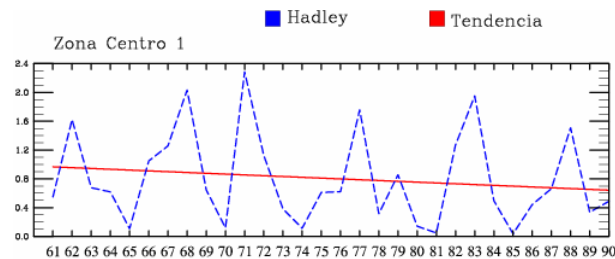
$$f(t) = -0.009 \cdot t \pm 0.955$$

ABRIL (ZONA CENTRO 1)



$$f(t) = -0.0001 \cdot t \pm 0.316$$

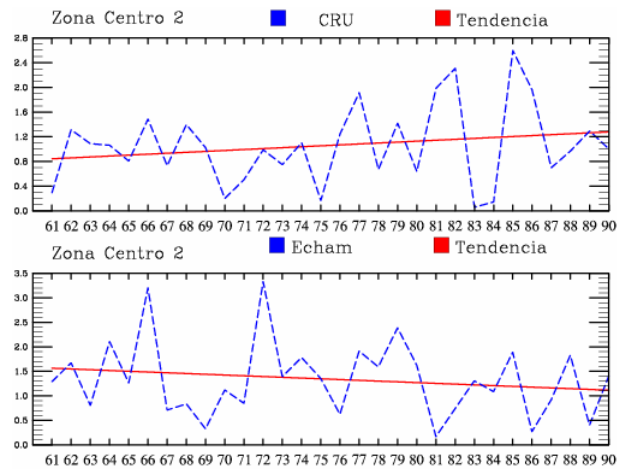
$$f(t) = 0.007 \cdot t \pm 0.508$$



$$f(t) = -0.011 \cdot t \pm 0.641$$

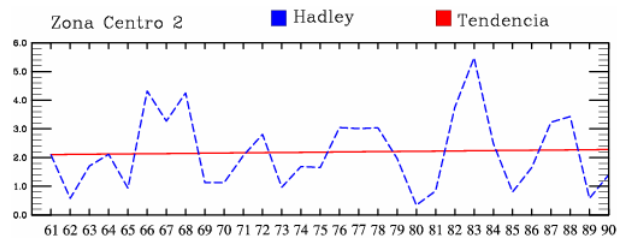
Figura 6.16 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Norte 3 y Centro 1 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante abril de 1961 a 1990.

ABRIL (ZONA CENTRO 2)



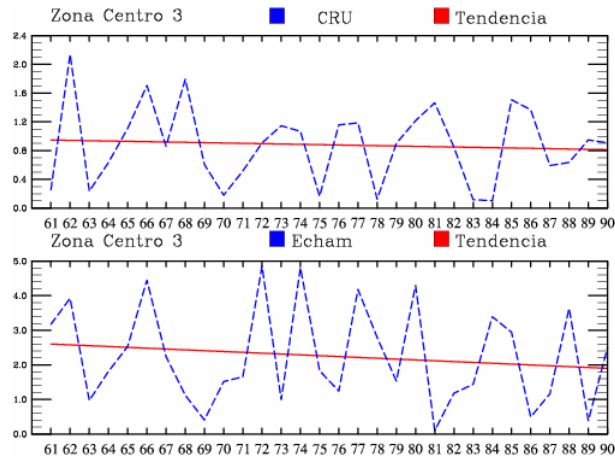
$$f(t) = 0.015 \cdot t \pm 0.641$$

$$f(t) = -0.015 \cdot t \pm 0.771$$



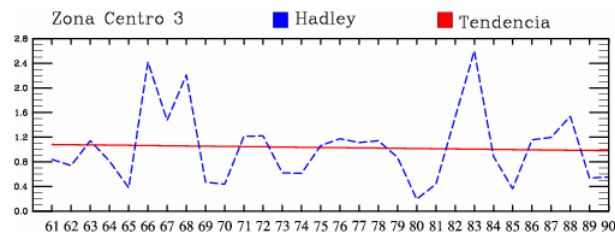
$$f(t) = 0.006 \cdot t \pm 1.286$$

ABRIL (ZONA CENTRO 3)



$$f(t) = -0.005 \cdot t \pm 0.542$$

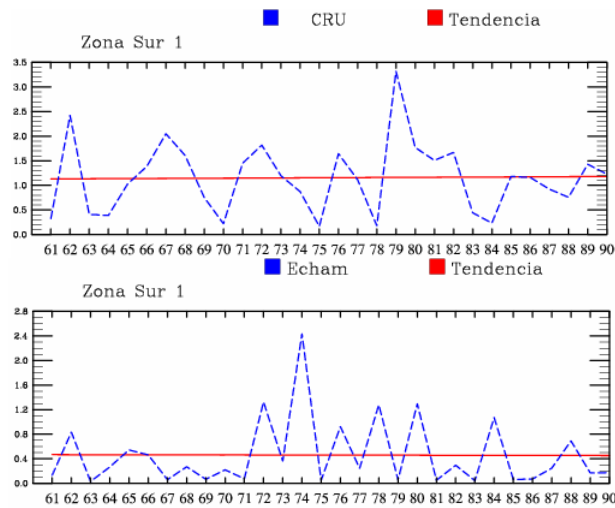
$$f(t) = -0.024 \cdot t \pm 1.423$$



$$f(t) = -0.003 \cdot t \pm 0.595$$

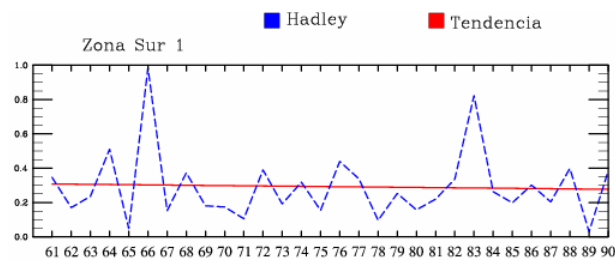
Figura 6.17 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Centro 2 y Centro 3 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante abril de 1961 a 1990.

ABRIL (ZONA SUR 1)



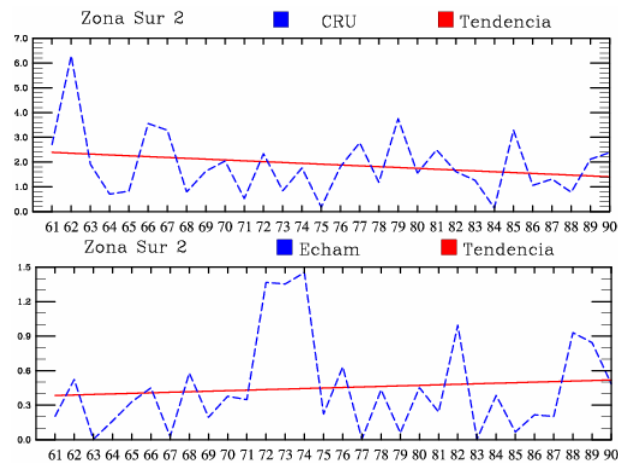
$$f(t) = 0.002 \cdot t \pm 0.730$$

$$f(t) = -0.0005 \cdot t \pm 0.556$$



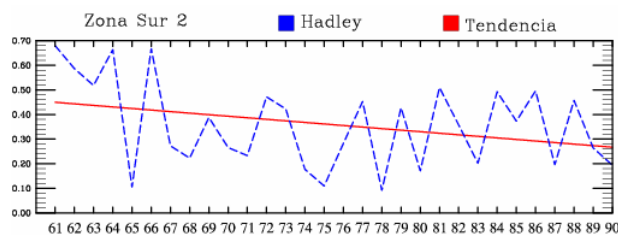
$$f(t) = -0.001 \cdot t \pm 0.204$$

ABRIL (ZONA SUR 2)



$$f(t) = -0.034 \cdot t \pm 1.286$$

$$f(t) = 0.005 \cdot t \pm 0.413$$



$$f(t) = -0.006 \cdot t \pm 0.174$$

Figura 6.18 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Sur 1 y Sur 2 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante abril de 1961 a 1990.

El promedio de los modelos, es decir, el IPCC, no presenta tendencias significativas para el país, solo para una pequeña porción del centro- oriente, norte- centro y la Península de Yucatán, donde existen ligeras tendencias de disminución de precipitación.

El modelo ECHAM en este mes muestra tendencias positivas en el centro y suroeste, y negativas en el noreste y sureste, así como la Península de Yucatán, mientras que en el noroeste las tendencias son poco marcadas, es decir, sin cambios considerables.

El modelo HADLEY para este mes muestra tendencias de mayor precipitación en pequeñas regiones del noreste, el altiplano, centro y suroeste de México. Mientras que en el resto de la República Mexicana no se observa un cambio significativo en las tendencias de precipitación.

Los modelos ECHAM y HADLEY unicamente muestran tendencias concordantes con CRU en el centro y altiplano Mexicano donde las tendencias son positivas.

ABRIL

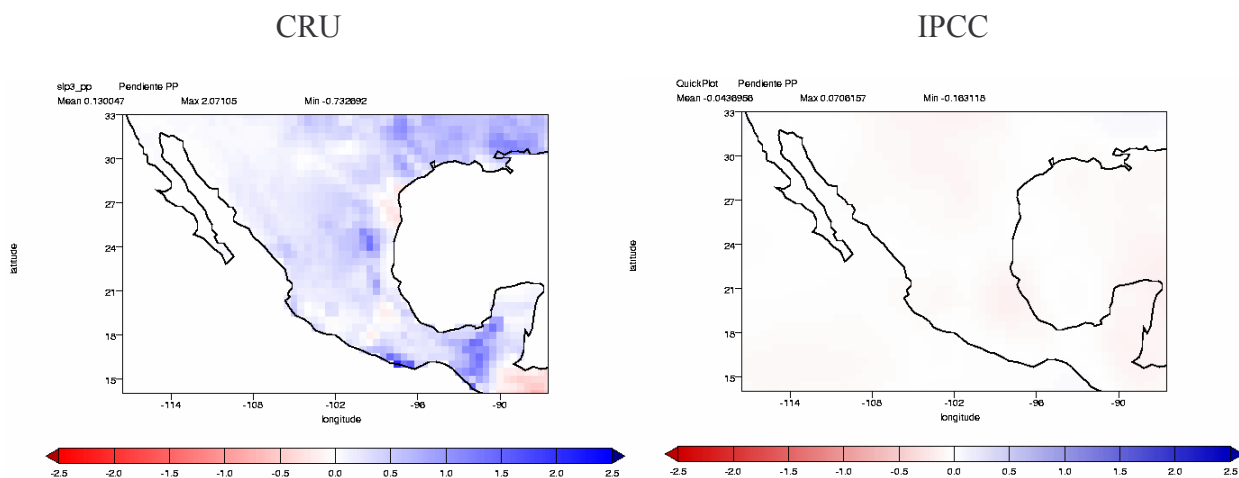
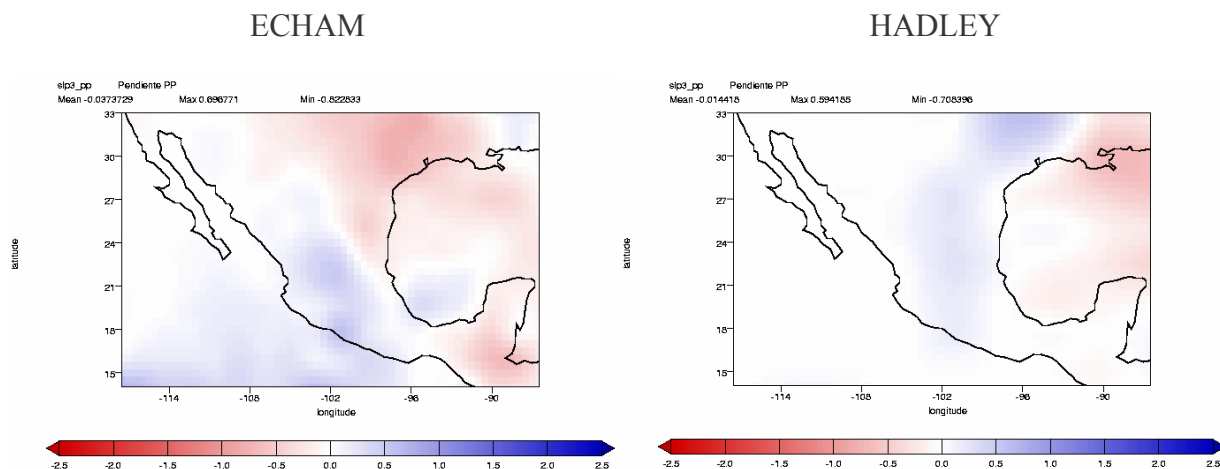


Figura 6.20 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para dos modelos (ECHAM y HADLEY), el promedio de quince modelos del IPCC, y la base de datos observados CRU, para el periodo 1961-1990.



Continuación de la figura 6.20

En las figuras 6.21-6.25 se muestran las gráficas correspondientes a la tendencia lineal de la precipitación (mm/día) del mes de julio para las nueve regiones geográficas, de CRU, y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC).

La tendencia de precipitación en la zona norte de la base de datos observados CRU es de incremento de la misma en las tres zonas de la región norte. La zona norte 1 presenta un pico de máxima precipitación en 1988, la zona norte 2 en 1968 y la zona norte 3 en 1976. La mínima precipitación en la zona norte 1 se observa en 1087, en la zona norte 2 en 1968 y 1983, y la zona norte 3 en 1974 y 1989.

El modelo ECHAM presenta similitudes entre las zonas norte 1 y 2 en los años 1962, 1971 con tendencias positivas, sin embargo la zona norte 1 tiene otro máximo considerable en 1989, y la zona norte 2 en 1981, mientras que la zona norte 3 muestra un máximo en 1961 y otro en 1969. Los mínimos de precipitación se presentaron en 1967 para la zona norte 1, 1969 en la zona norte 2 y 1963 y 1968 en la zona norte 3. Este modelo tiene tendencias neutras para las zonas norte 1 y 2, mientras que en la zona norte 3 la tendencia muestra una disminución en la precipitación.

El modelo HADLEY simuló para la zona norte un máximo en la precipitación en 1977, 1982 y 1987, en la zona norte 2 en 1965 y 1988 y en la zona norte 3 en 1966, mientras que los mínimos de precipitación se observan en 1980 en la zona norte 1, 1984 en la zona norte 2 y 1966 en la zona norte 3. Este modelo muestra una tendencia en decremento de las zonas norte 1 y 2, no así en la zona norte 3 donde la tendencia del período de estudio es positiva.

En el mes de julio las tendencias en la región centro muestran que las zonas centro 2 y 3 tienen un incremento en la precipitación, es decir, una tendencia positiva, y con un ligero decremento de la misma para zona norte 1. Para este mes las tres zonas coincidieron en un máximo en 1976, y un mínimo en 1962, aunque la zona centro 2 tiene otro mínimo en 1982, y la centro 3 en 1979.

El modelo ECHAM presenta una tendencia ligeramente positiva en la zona centro 1, en decremento en la centro 2, y no se observan una tendencia en la zona centro 3. Sin embargo este modelo simuló para las tres zonas de la región centro un máximo en la precipitación en 1981, y aunque en los mínimos de precipitación no coincidieron la zona centro 1 presenta un máximo en 1975, la centro 2 en 1963 y la centro 3 en 1988.

La simulación del modelo HADLEY para la región centro muestra que la zona centro 1 y 3 tienen una tendencia a la disminución de la precipitación, y un aumento de la misma en la zona centro 2. Las tres zonas de la región centro coinciden en un mínimo en la precipitación de acuerdo al modelo en 1966, aunque la zona centro 1 y 3 tienen otro mínimo en 1979 y 1988 respectivamente. Los máximos precipitación en la zona centro 1 se presentaron en 1985 y 1987, la zona centro 2 en 1975 y la centro 3 en 1986.

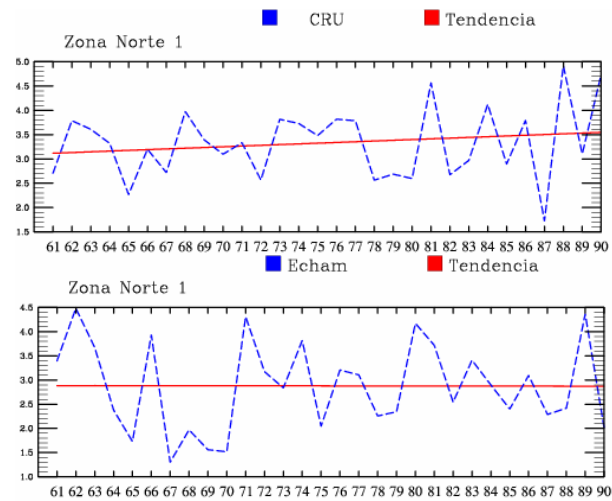
Las tendencias de la precipitación en la región sur de la base de datos observados CRU son en decremento para la zonas sur 1 y 2 y de aumento en la zona sur 3. El máximo en la precipitación para la zonas sur 1 y 2 se presentó en 1961, y en la zona sur 3 en 1987, mientras que el mínimo de precipitación en la zona sur 1 se observa en 1986, en la sur 2 en 1967 y 1977, y 1963 en la zona sur 3.

Para este mes de julio el modelo ECHAM muestra en la zona sur 1 y 3 una tendencia que indica el aumento de la precipitación, mientras que la zona sur 2 no existe una tendencia. Los años en que se presentaron máximos de precipitación para el período de estudio en la zona sur 1 son 1966 y 1981, en la zona sur 2 en 1966 y 1969 y en la zona sur 3 en 1971. Los mínimos en la precipitación se observan en 1961 y 1987 para las zonas sur 1 y 2, así como 1976 para la zona sur 3.

El modelo HADLEY presenta una tendencia en decremento de la precipitación en las zonas sur 1 y 2, y con un ligero aumento de la misma para la zona sur 3. El modelo simuló en 1961 un máximo para las tres zonas del sur, y un mínimo en 1966, aunque las zonas sur 2 y 3 tienen otro mínimo en 1979 y 1978 respectivamente.

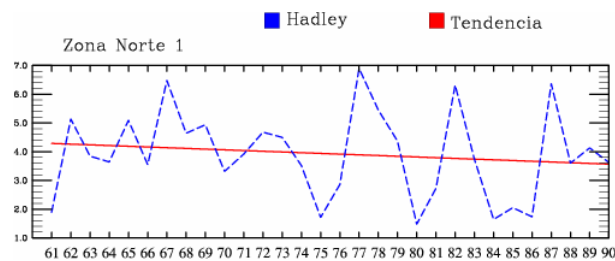
De forma general el modelo que mejor simuló las tendencias climáticas del mes de julio fue HADLEY que coincidió con las tendencias base de datos CRU para este mes en las zonas norte 3, centro y sur 1 y 2. Mientras que el modelo ECHAM solo concuerda con la tendencia de CRU en la zona sur 3.

JULIO (ZONA NORTE 1)



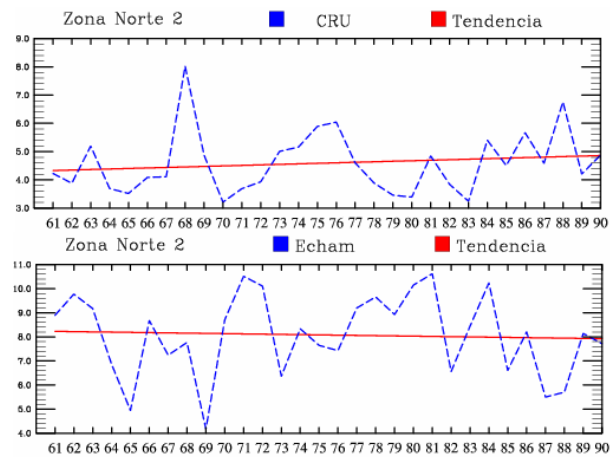
$$f(t) = 0.015 \cdot t \pm 0.740$$

$$f(t) = -0.0005 \cdot t \pm 0.913$$



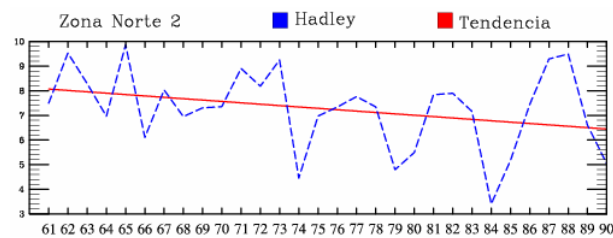
$$f(t) = -0.025 \cdot t \pm 1.520$$

JULIO (ZONA NORTE 2)



$$f(t) = 0.018 \cdot t \pm 1.101$$

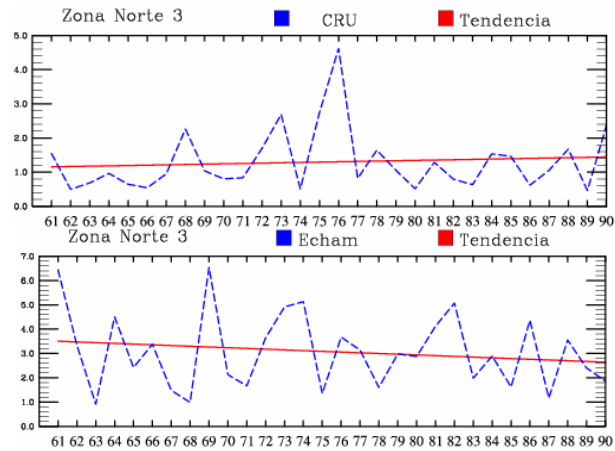
$$f(t) = -0.010 \cdot t \pm 1.696$$



$$f(t) = 0.056 \cdot t \pm 1.604$$

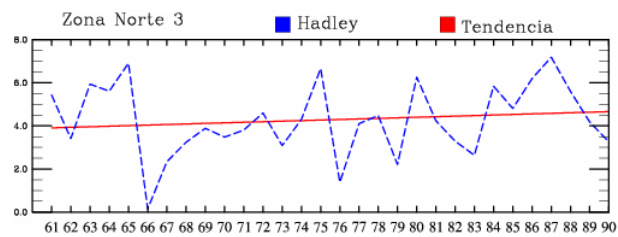
Figura 6.21 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Norte 1 y Norte 2 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante julio de 1961 a 1990.

JULIO (ZONA NORTE 3)



$$f(t) = 0.010 \cdot t \pm 0.908$$

$$f(t) = -0.030 \cdot t \pm 1.552$$



$$f(t) = 0.026 \cdot t \pm 1.678$$

JULIO (ZONA CENTRO 1)

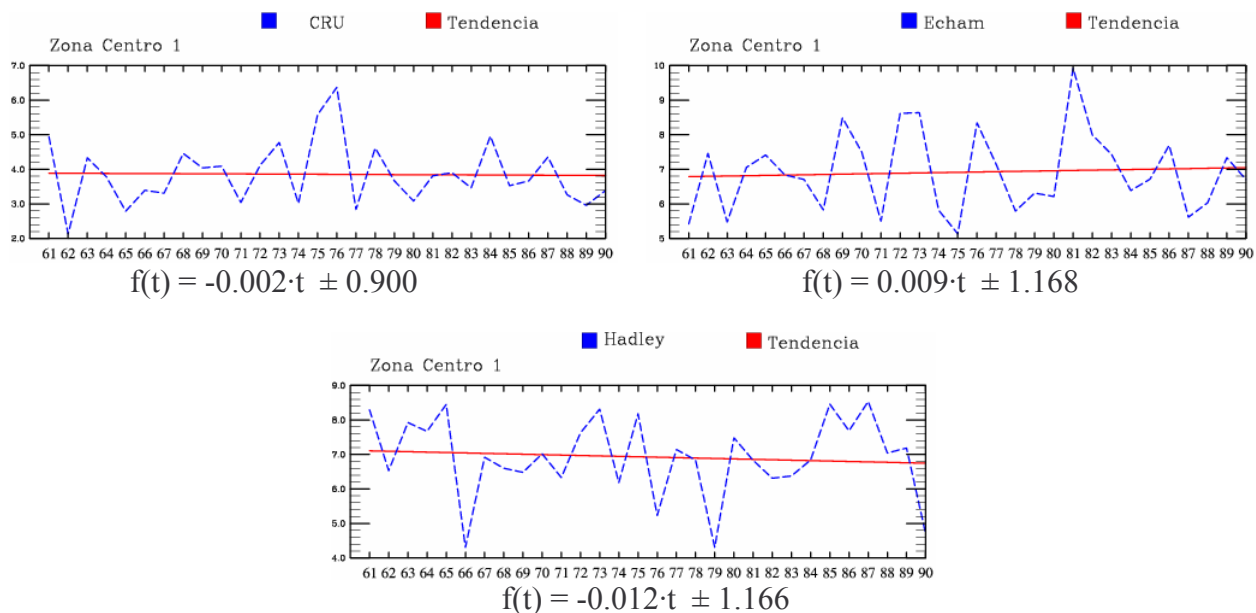
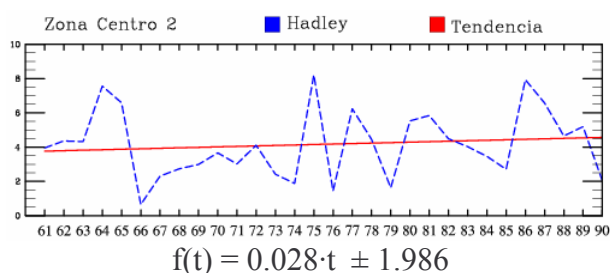
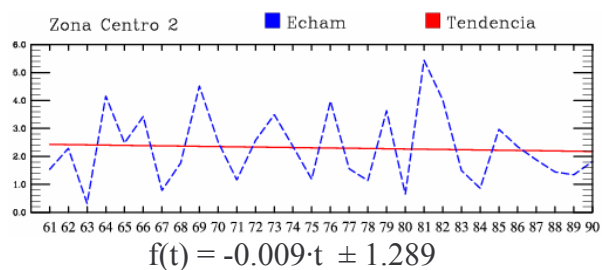
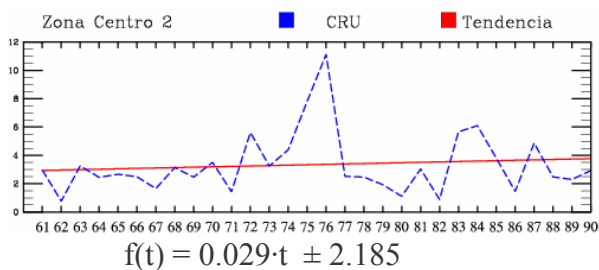


Figura 6.22 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Norte 3 y Centro 1 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante julio de 1961 a 1990.

JULIO (ZONA CENTRO 2)



JULIO (ZONA CENTRO 3)

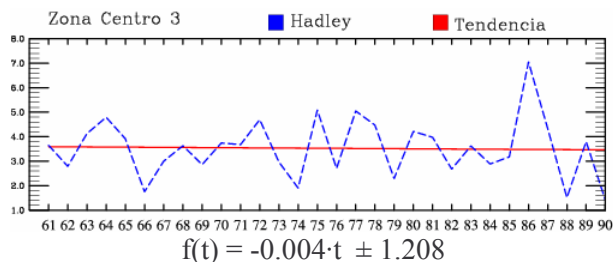
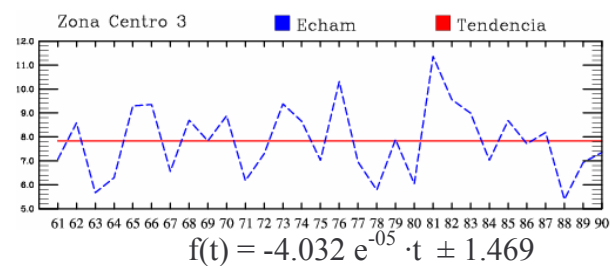
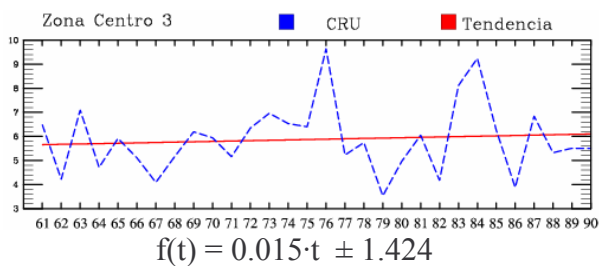


Figura 6.23 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Centro 2 y Centro 3 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante julio de 1961 a 1990.

JULIO (ZONA SUR 1)

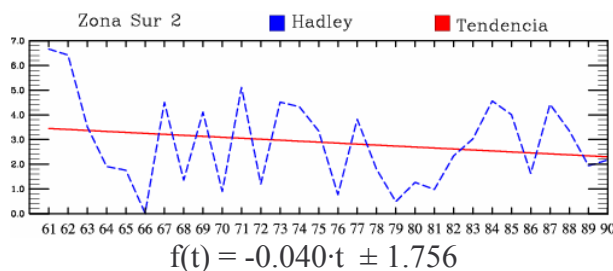
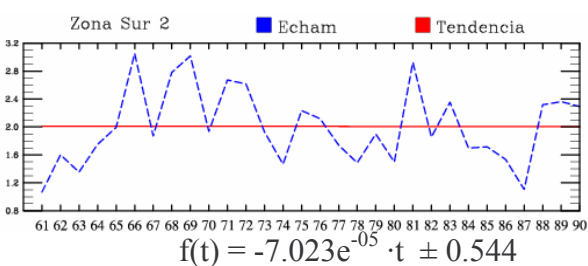
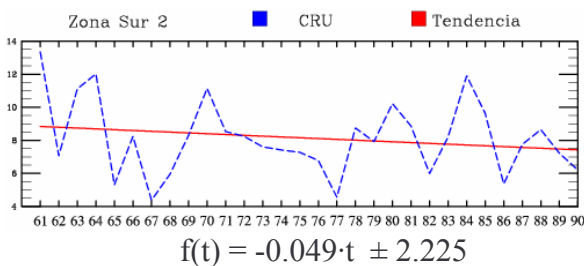
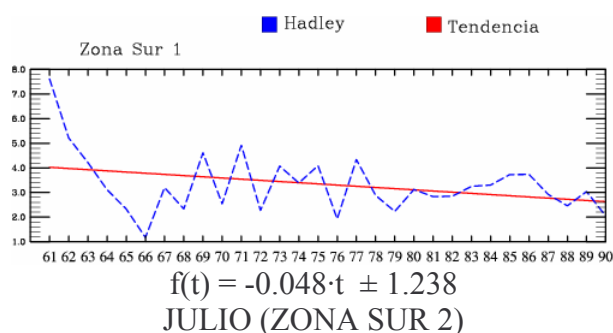
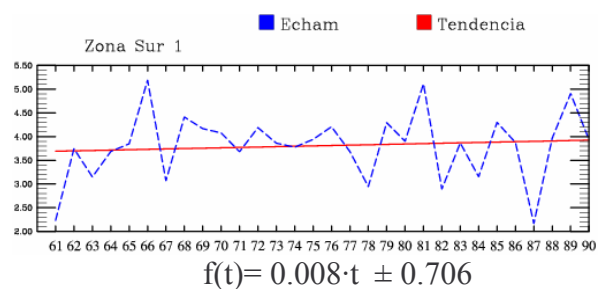
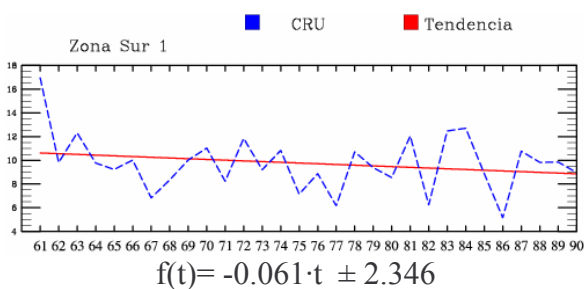


Figura 6.24 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Sur 1 y Sur 2 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante julio de 1961 a 1990.

JULIO (ZONA SUR 3)

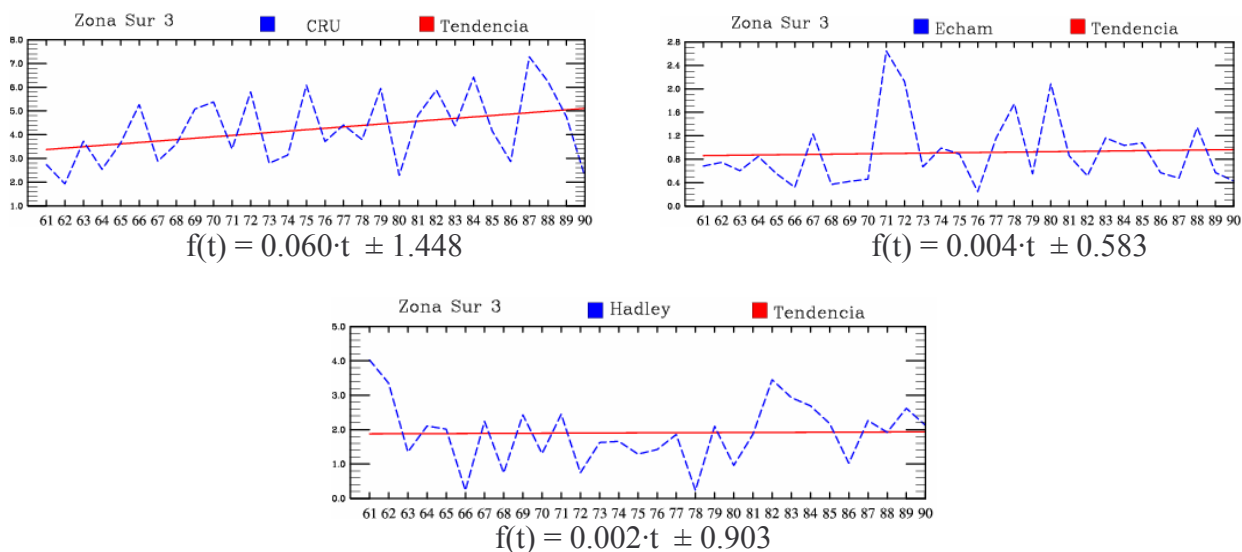


Figura 6.25 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en la región geográfica Sur 3 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante julio de 1961 a 1990.

La figura 6.26 muestra las tendencias de precipitación del mes de julio para la base de datos observados CRU, el promedio de quince modelos del IPCC, y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC) que son parte también del IPCC.

Las tendencias de precipitación para este mes por parte de la base de datos CRU indican tendencias negativas para el noroeste, al igual que para el centro y sureste y una marcada tendencia al aumento de la precipitación en la Península de Yucatán, permaneciendo con cambios poco significativos en el noreste y altiplano Mexicano. El IPCC muestra tendencias negativas desde el centro de la República Mexicana hasta la Península de Yucatán, así como en el noroeste de México, observándose puntos de mayor intensidad en las costas del centro de Veracruz, Oaxaca y Guerrero. En el Altiplano y noreste de México se hallan tendencias positivas de la precipitación.

El modelo ECHAM presenta tendencias negativas desde el centro hasta la Península de Yucatán, así como una ligera mancha roja en el noroeste que indica una tendencia de disminución en la precipitación. Mientras que en el noreste y costas de Nayarit y Sinaloa se observa una tendencia positiva. Las tendencias de precipitación del modelo ECHAM son similares al IPCC al presentar un incremento en la precipitación en el noreste y un decremento en el sureste y Península de Yucatán, y con CRU únicamente coinciden en la tendencia negativa del centro de México.

El modelo HADLEY tiene tendencias negativas para la mayor parte del país, desde el noreste donde estas son más intensas hasta el sureste de México, y solo muestra ligeras tendencias positivas en el noroeste y la Península de Yucatán. Este modelo presenta similitud con CRU al tener ligera tendencia positiva en la península de Yucatán, y tendencias negativas en el centro y sur-sureste de la República Mexicana.

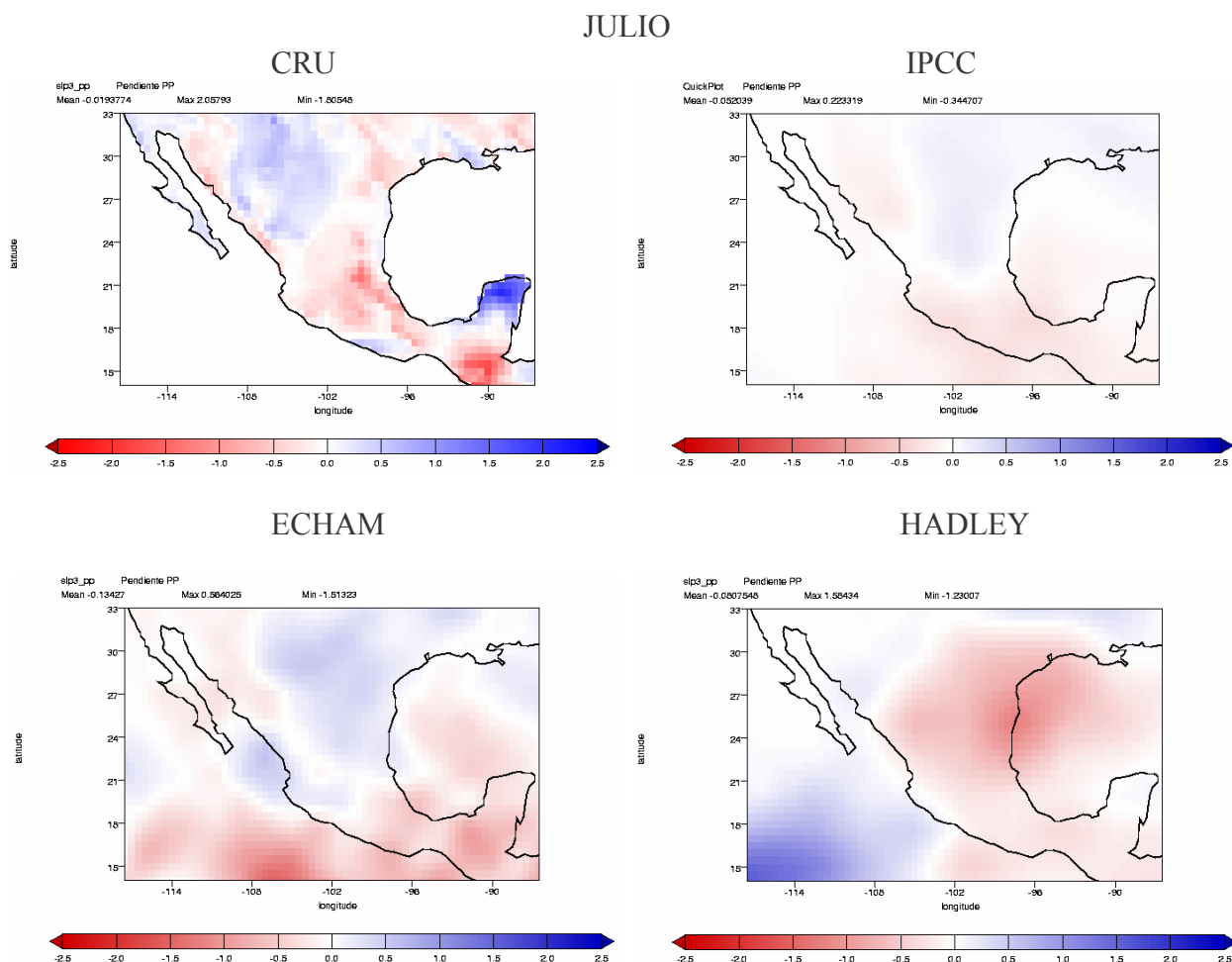


Figura 6.26 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para dos modelos (ECHAM y HADLEY), el promedio de quince modelos del IPCC, y la base de datos observados CRU, para el período 1961-1990.

En las siguientes figuras de la 6.27-6.31 se presenta la tendencia lineal de la precipitación (mm/día), del mes de octubre para nueve regiones geográficas, para la base de datos observados CRU y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC) del IPCC.

Durante el mes de octubre las tendencias en la zona norte se mantienen positivas de acuerdo a la base de datos observados CRU, la zona norte 2 y 3 presentan un máximo en 1971 y la zona norte 1 en 1972, mientras que los mínimos de precipitación coinciden en las tres zonas en 1979, aunque la zona norte 1 y 2 tienen otros mínimos en 1965, 1973 y 1982 para la norte 1, y 1965, 1975, 1982 y 1987 para la zona norte 2.

El modelo ECHAM para las tres zonas de la región norte muestra una tendencia a la disminución de la precipitación, principalmente en la zona norte 1, dicha zona presenta un máximo en la precipitación en 1988 y un mínimo en 1989, en la zona norte 2 tiene un máximo en 1972 y en 1986 un mínimo, y la zona norte 3 muestra una máxima precipitación en 1967 y un mínimo en 1966.

El modelo HADLEY tiene para la zona norte una tendencia ligera al decremento de la precipitación, en 1985 este modelo simuló un máximo en la precipitación para las tres zonas de la región norte, y mientras que el mínimo de precipitación se observa en 1979, 1981-82 en las tres zonas, sin embargo la zona norte 3 tiene otro mínimo en 1970.

En este mes de octubre la zona centro tiene de forma general una tendencia en decremento, y sus máximos de precipitación difieren de año en cada zona ya que la zona centro 1 presenta un máximo en 1971 y 1978 y tres mínimos en 1970, 1979 y 1987, la zona centro 2 en 1966 tiene un máximo y 1979 un mínimo, y la zona centro 3 presenta un máximo en 1976 y el mínimo en la precipitación en 1987.

Las tendencias del modelo ECHAM son en general positivas para la zona centro, con un máximo de la misma en 1988 para las tres zonas, y un mínimo para las zonas centro 1 y 2 en 1963, y 1975 para la zona centro 3.

El modelo HADLEY presenta una tendencia negativa para la zona centro 1, y no existe una tendencia para las zonas centro 2 y 3. Este modelo simuló para las zonas centro 1 y 2 un máximo de la precipitación en 1980 y en la zona centro 3 en 1974 y 1980, y un mínimo para las tres zonas en 1981, aunque la zona centro 1 tiene otro mínimo en 1989.

La base de datos observados CRU tiene para la región sur una tendencia en decremento de la precipitación. Los máximos y mínimos de cada zona se presentaron los mismos años, ya que en las tres zonas se observa un máximo en 1965 y dos mínimos en 1963 y 1987.

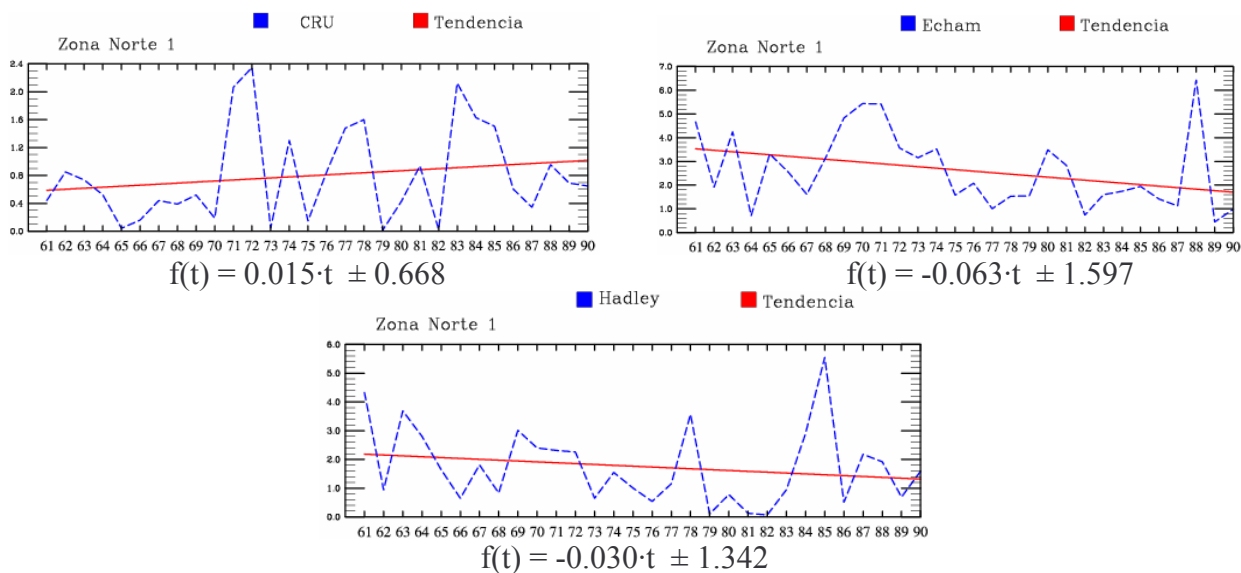
El modelo ECHAM para la región sur muestra una tendencia positiva, con máximos en la zona sur 1 en 1970 y 1982, y en la zona sur 2 y 3 en 1989, y los mínimos de precipitación se observan en 1983 en la zona sur 1, 1972 en la zona sur 2 y 1978 y 1981 en la zona sur 3.

El modelo HADLEY presenta para la región sur de forma general una tendencia de disminución en la precipitación. El máximo de precipitación lo simula el modelo en 1962 para las zonas sur 1

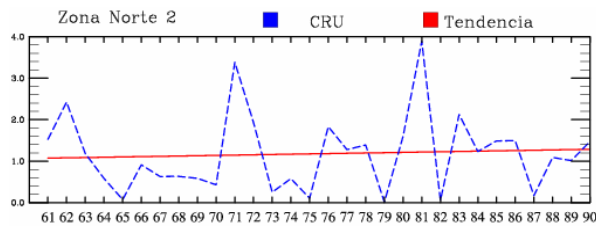
y 2 aunque en la zona sur 2 se tiene otro máximo en 1982, y en 1967 en la zona sur 3. Los mínimos se observan en 1978 para la zona sur 1, 1964 y 1985 para la zona sur 2, y 1961 y 1981 en la zona sur 3.

Las tendencias climáticas de los modelos ECHAM y HADLEY para el mes de octubre en la zona norte son en decremento de la precipitación contrarias a las tendencias de la base de datos observados CRU, en la región centro el modelo HADLEY solo concuerda con la tendencia de CRU en la zona centro 1, mientras que el modelo ECHAM no lo hace para ninguna zona, el modelo HADLEY es el que mejor representa las tendencias de precipitación para la región sur ya que coincide con la tendencia de CRU, el modelo ECHAM por el contrario no concuerda con la tendencia de ninguna zona con CRU.

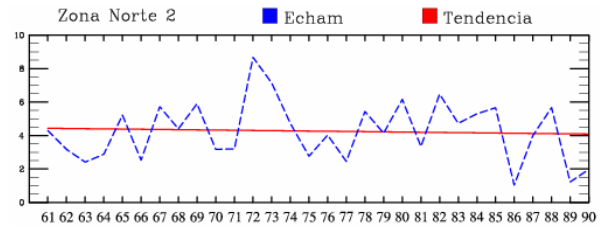
OCTUBRE (ZONA NORTE 1)



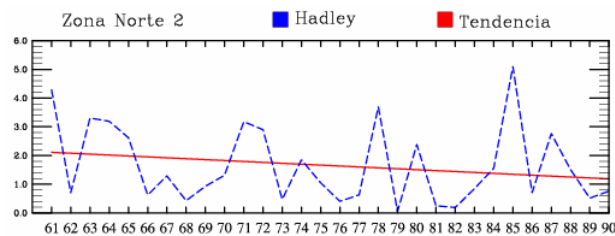
OCTUBRE (ZONA NORTE 2)



$$f(t) = 0.007 \cdot t \pm 0.937$$



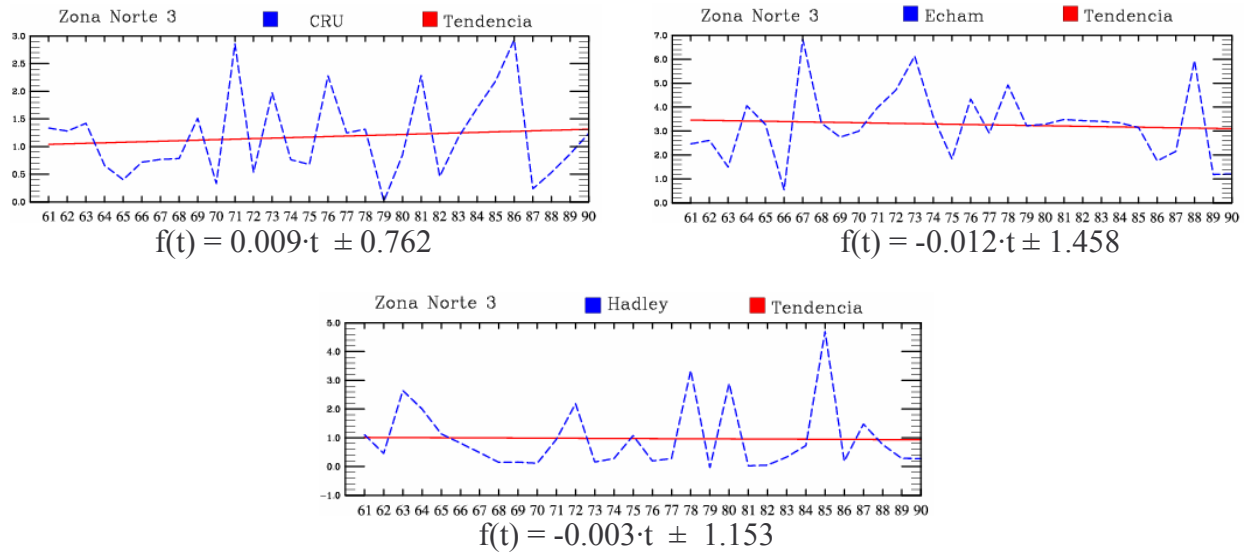
$$f(t) = 0.012 \cdot t \pm 1.781$$



$$f(t) = -0.032 \cdot t \pm 1.360$$

Figura 6.27 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Norte 1 y Norte 2 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante octubre de 1961 a 1990.

OCTUBRE (ZONA NORTE 3)



OCTUBRE (ZONA CENTRO 1)

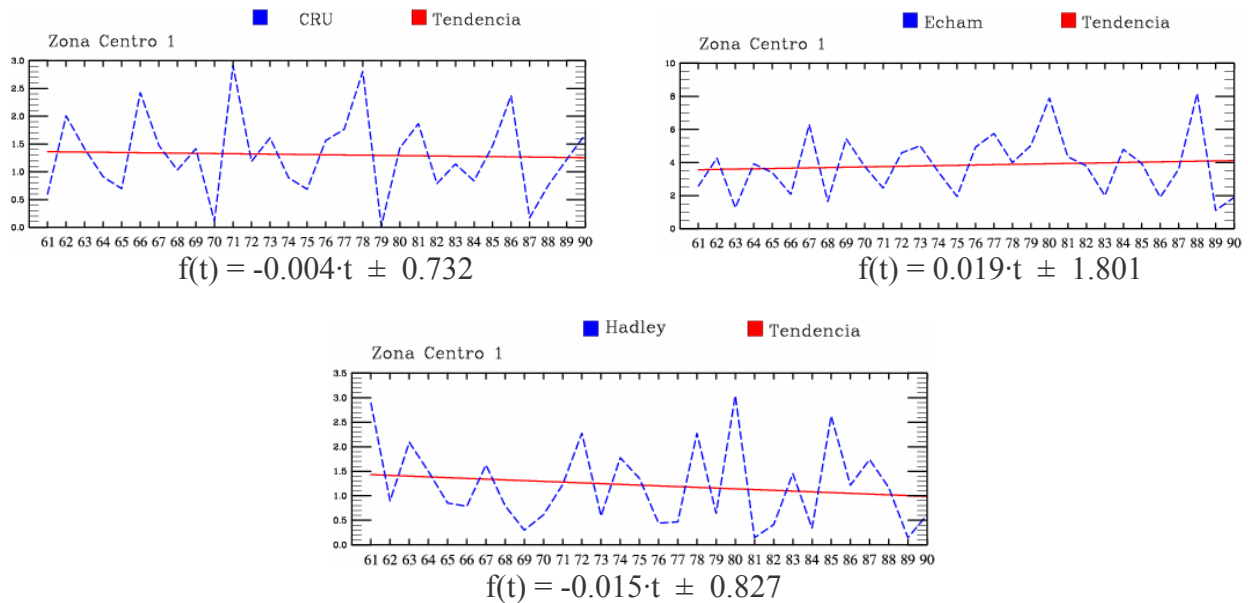
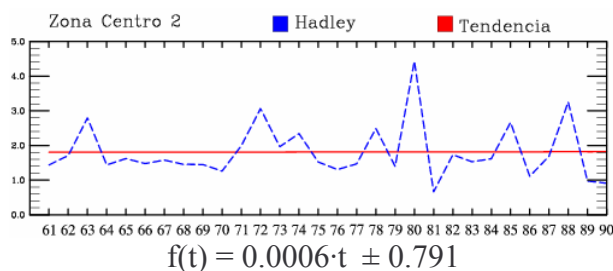
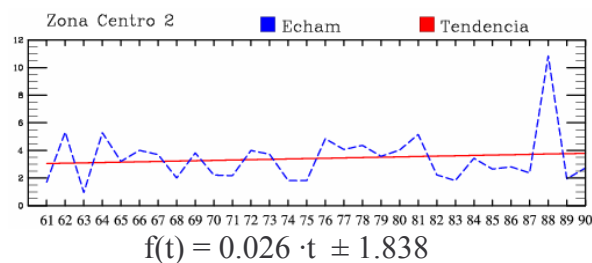
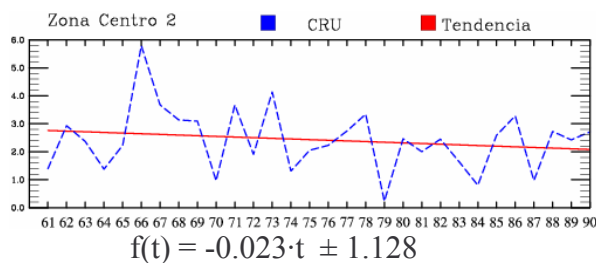


Figura 6.28 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Norte 3 y Centro 1 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante octubre de 1961 a 1990.

OCTUBRE (ZONA CENTRO 2)



OCTUBRE (ZONA CENTRO 3)

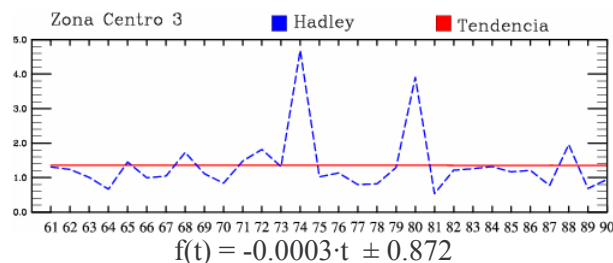
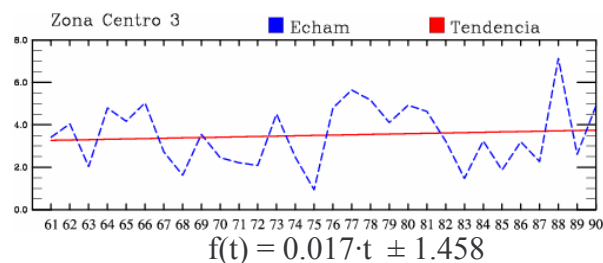
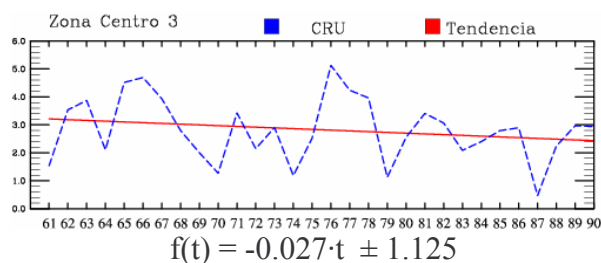
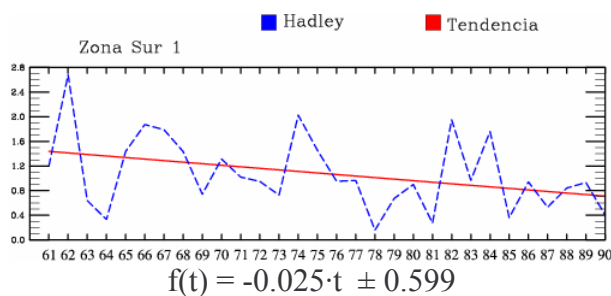
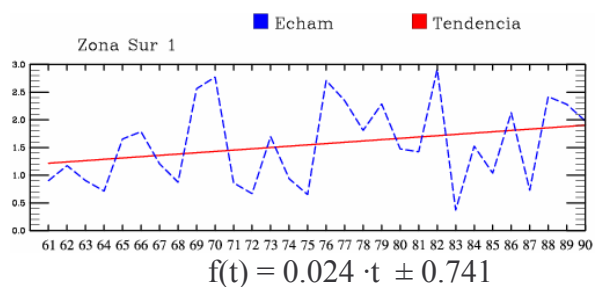
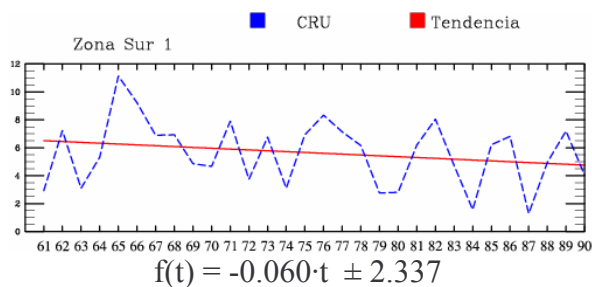


Figura 6.29 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Centro 2 y Centro 3 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante octubre de 1961 a 1990.

OCTUBRE (ZONA SUR 1)



OCTUBRE (ZONA SUR 2)

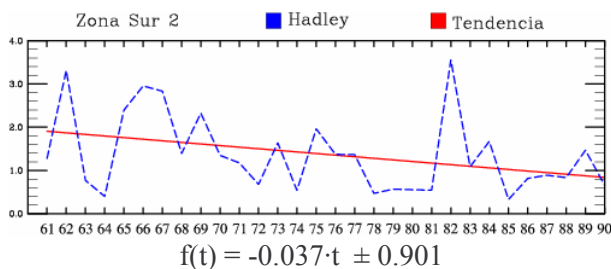
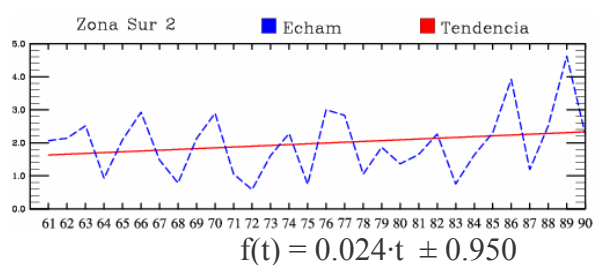
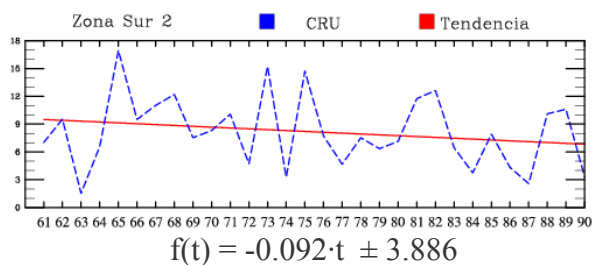


Figura 6.30 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en las regiones geográficas Sur 1 y Sur 2 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante octubre de 1961 a 1990.

OCTUBRE (ZONA SUR 3)

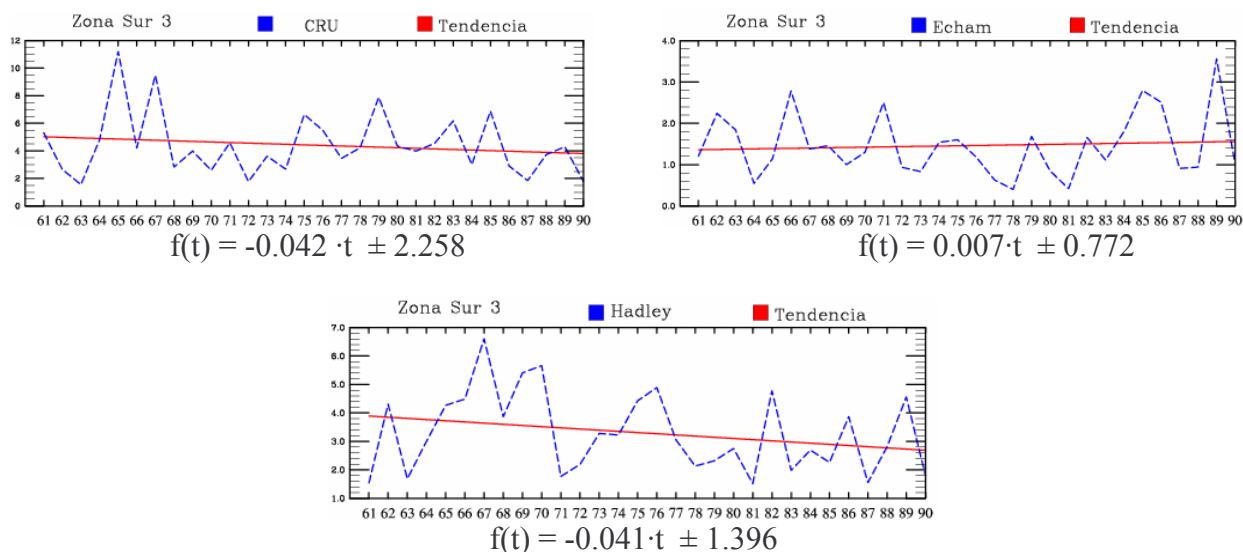


Figura 6.31 – Tendencias lineales de precipitación (mm/día) en la región geográfica Sur 3 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante octubre de 1961 a 1990.

En la figura 6.32 se presenta los mapas con la tendencia de precipitación para el mes de octubre para la base de datos observados CRU, el promedio de quince modelos del IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC).

En el mes de octubre la base de datos CRU muestra una tendencia positiva para toda la parte norte de la República Mexicana, y tendencias negativas desde el centro hasta la Península de Yucatán, siendo mas intensas dichas tendencias en el sureste de México.

El promedio de los modelo IPCC contrario a las tendencias de CRU muestra tendencias positivas para la mayor parte del país, principalmente en el centro donde estas tendencias son mayores. Mientras que únicamente en el noroeste y la zona costera de la Península de Yucatán tienen tendencias negativas para este mes de octubre.

El modelo ECHAM simuló tendencias negativas en la mayor parte de México, y es en las costas de Nayarit, Sinaloa y Oaxaca donde las tendencias son mayores, sin embargo en el sureste, en los estados de Tabasco y Campeche las tendencias se marcan positivas de acuerdo al modelo. Y en el centro del país los cambios en la precipitación no son significativos. Por lo tanto se puede concluir que el modelo ECHAM para el mes de octubre solo coincide con las tendencias de CRU en la costa sur del Océano Pacífico y la Península de Yucatán.

El modelo HADLEY de forma similar al IPCC muestra en la mayoría del país tendencias positivas, principalmente en el centro, sur y sureste, y es que en las costas de Oaxaca se observa una franja con tendencias positivas máximas. Mientras que en la zona costera de la Península de Yucatán y el noroeste de México se llegan apreciar tendencias negativa para este mes. Este modelo no presenta similitudes significativas con CRU, excepto para la Península de Yucatán donde coinciden con tendencias negativas.

OCTUBRE

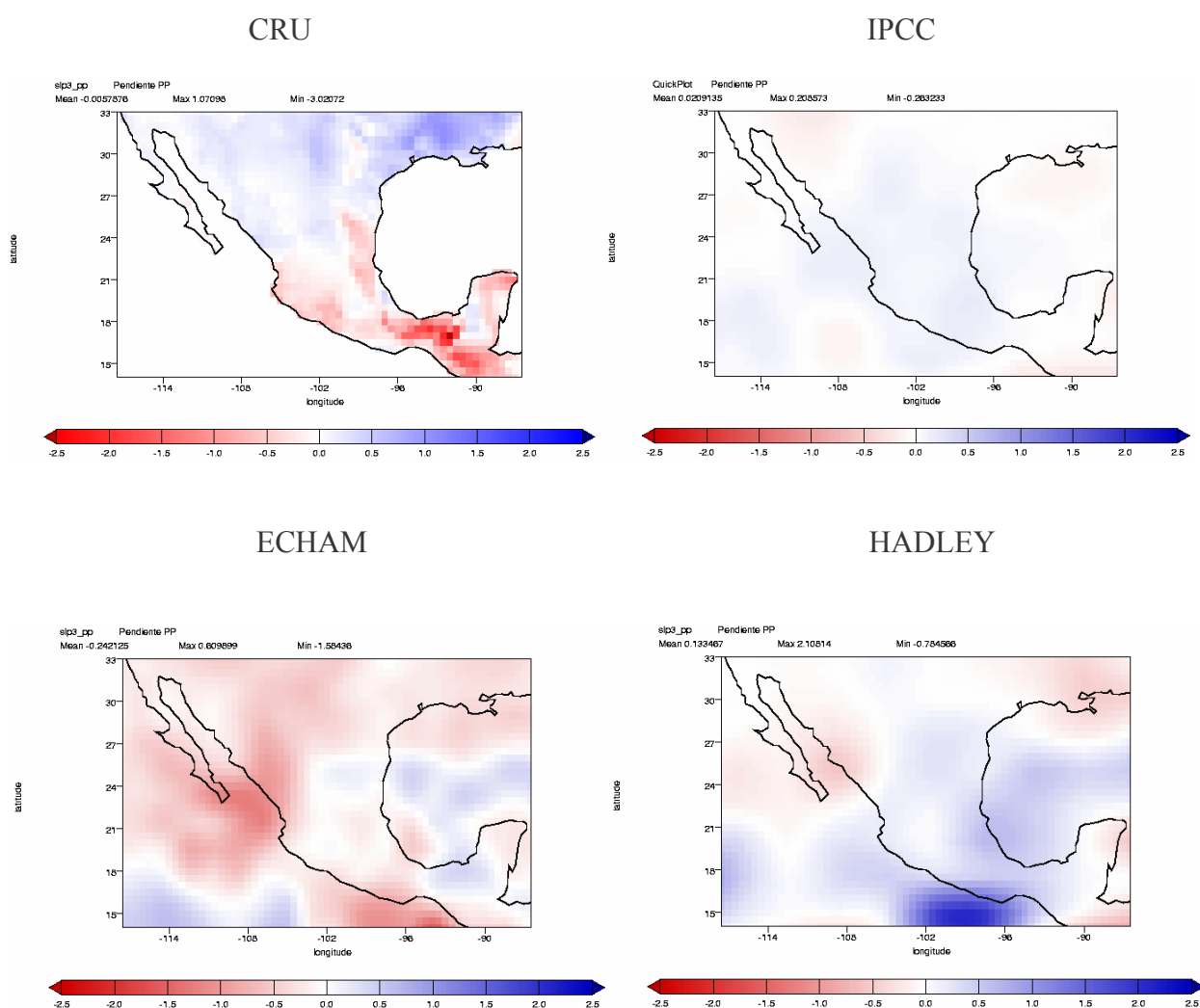


Figura 6.32 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para dos modelos (ECHAM y HADLEY), el promedio de quince modelos del IPCC, y la base de datos observados CRU, para el período 1961-1990.

6.3.2 Temperatura

En las siguientes figuras 33-35 se muestra la climatología de la temperatura (°C) de quince modelos del IPCC y la base de datos observados CRU, para el período correspondiente a 1961-1990, para nueve regiones geográficas en las que se dividió la República Mexicana.

Los meses en que las diferencias entre las simulaciones de los modelos y la climatología de CRU son mayores comprenden de enero hasta mayo, así como noviembre y diciembre, en las tres zonas del norte. La mayoría de los modelos de los se encuentran por debajo de la climatología de CRU excepto los modelos CGC31, ECHOG, MRICG y MIROM en los meses de mayo-agosto principalmente. La zona norte 3 es la región en la que los modelos presentan mayores diferencias con los datos observados de CRU, por lo que es la zona peor simulada.

Los máximos de temperatura de la zona centro se ubican entre los meses de mayo y junio. Los modelos en la zona centro 1 subestiman la temperatura para esta zona con respecto a la que presenta CRU, y similar a la zona norte las mayores diferencias se observan en los meses de mayo-agosto. En la zona centro 2 los modelos muestran una climatología que se encuentra por debajo de CRU, sin embargo las menores diferencias entre CRU y los modelos se tienen en los meses de junio-septiembre, contrario a la zona centro 1 que durante estos meses tiene las máximas diferencias.

El máximo de temperatura en la región centro 3 se tiene en el mes de junio. Para la zona antes mencionada (centro 3) casi todos los modelos simulan una climatología que está por arriba de CRU, excepto durante los meses de noviembre hasta febrero, en que las simulaciones son menores a los datos observados.

Para la región sur el máximo de temperatura se observa en el mes de mayo y el mínimo en enero. En la zona sur 1 los modelos sobreestiman la climatología de temperatura de CRU, principalmente de mayo hasta septiembre, meses en que las diferencias son máximas. Los modelos en la zona sur 2 presentan en general una temperatura superior a CRU, teniendo una diferencia más significativa de abril hasta septiembre. La zona sur 3 es la mejor simulada por los modelos ya que presentan una climatología de temperatura similar a la de CRU y con diferencias menores que con las zonas sur 1 y 2.

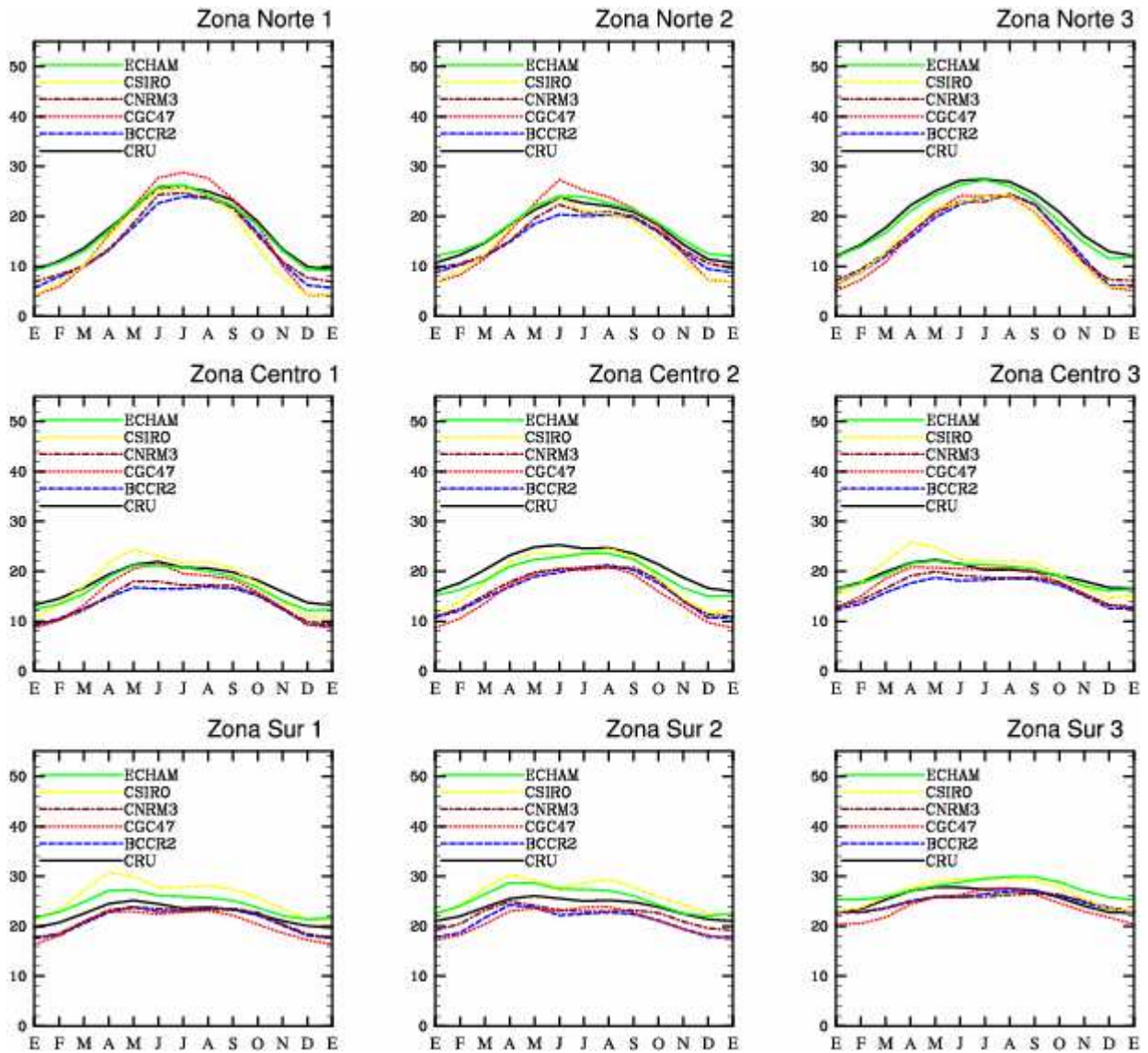


Figura 6.33 – Promedio climatológico mensual de la temperatura (°C) para cinco modelos del IPCC (ECHAM, CSIRO, CNRM3, CGC47, BCCR2) y la base de datos observados CRU, para el período de 1961-1990.

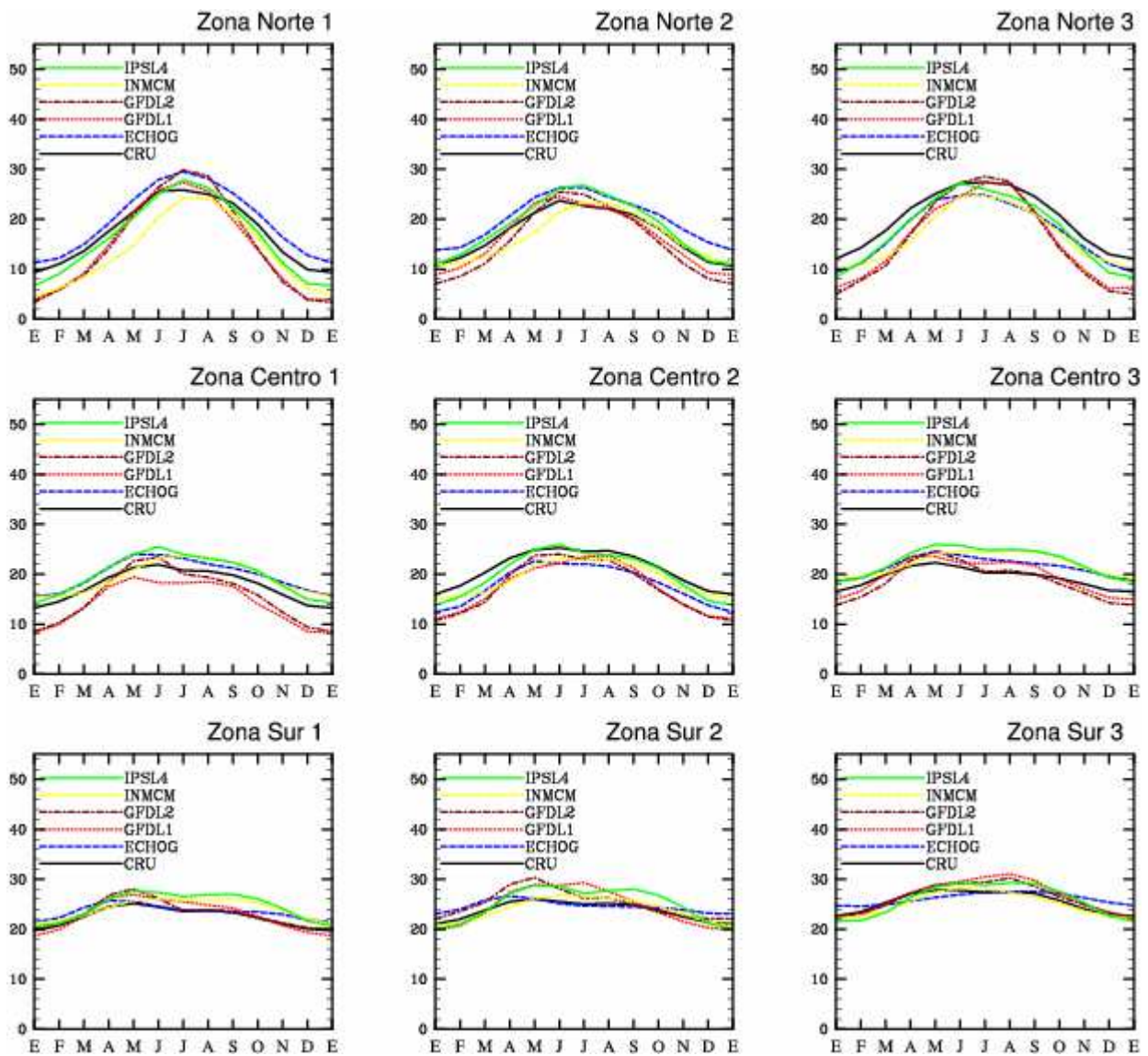


Figura 6.34 – Promedio climatológico mensual de la temperatura (°C) para cinco modelos del IPCC (IPSL4, INMCM, GFDL2, GFDL1, ECHOG) y la base de datos observados CRU, para el periodo de 1961-1990.

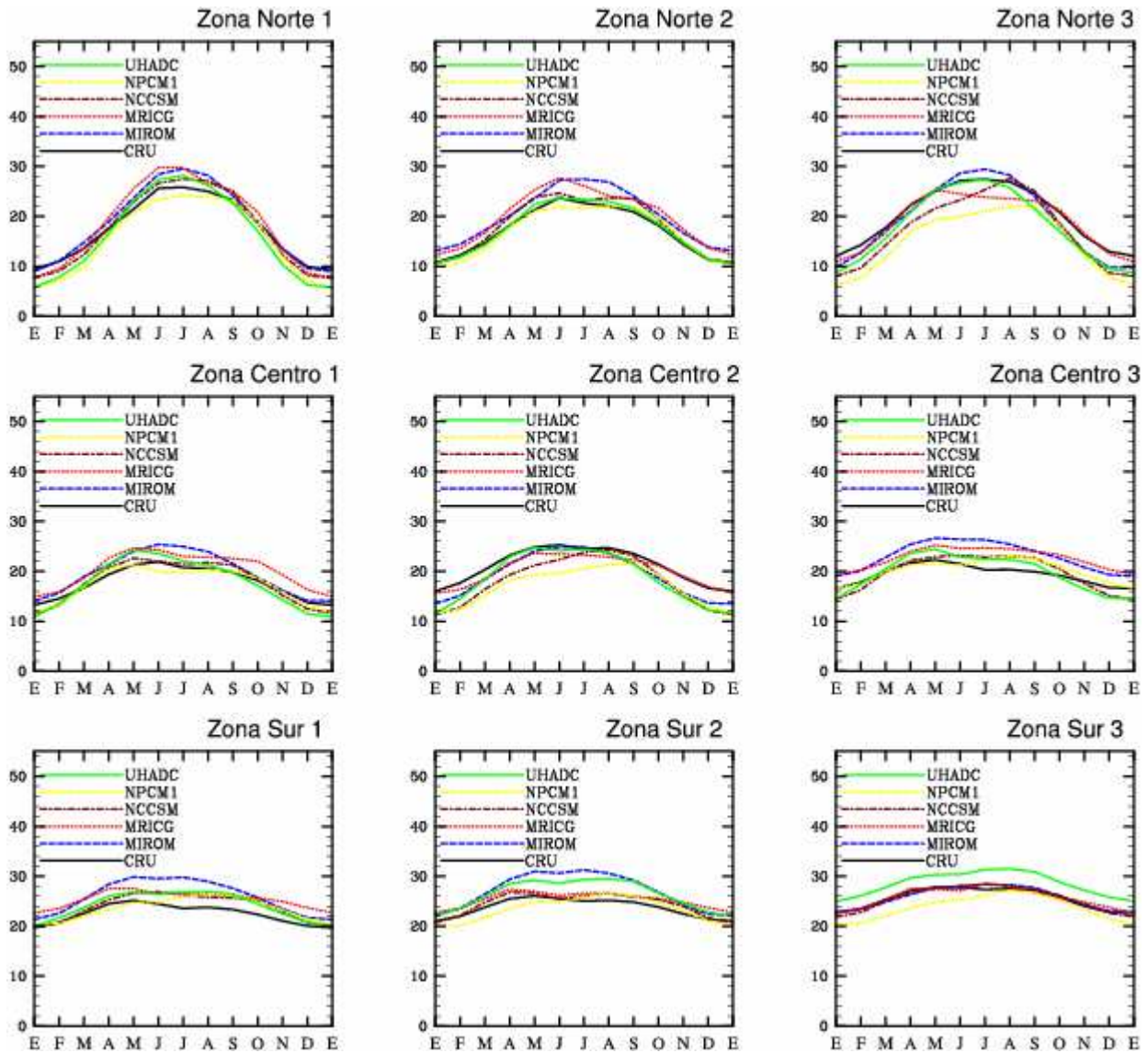


Figura 6.35 – Promedio climatológico mensual de la temperatura (°C) para cinco modelos del IPCC (UHADC, NPCM1, NCCSM, MRICG, MIROM) y la base de datos observados CRU, para el período de 1961-1990.

En las figuras 36-38 se presenta la tendencia de temperatura (°C) de quince modelos del IPCC y la base de datos observados CRU, para nueve zonas geográficas, en el período de 1961-1990.

Las tendencias de temperatura de los modelos para la zona norte 1 se encuentran por arriba de las tendencias de CRU, estas tendencias son mayores en los meses de julio a septiembre, por lo tanto los modelos muestran tendencias positivas para la zona norte 1. En la zona norte 2 las tendencias de los modelos son superiores a CRU principalmente de julio a septiembre, mientras que en los meses de diciembre hasta marzo se encuentran las menores diferencias. Los modelos presentan tendencias generalmente positivas y superiores a CRU en la zona norte 3, y las diferencias mayores entre CRU y los modelos se presentaron en el mes de abril. De forma general las tendencias de temperatura en la zona norte son positivas y superiores a CRU.

Las tendencias de temperatura de la zona centro 1 son de manera general positivas y por tanto superiores a la serie de datos observados de CRU, esta característica se presenta en casi todos los meses excepto en noviembre y diciembre. En la zona centro 2 la base de datos CRU tiene en los meses de abril y diciembre un pico de tendencia negativa, sin embargo los modelos solo llegan a simular la tendencia negativa del mes de diciembre aunque sobreestimándola al igual que la tendencia del resto de los meses, y las diferencias en la tendencia de temperatura entre los modelos y CRU son más significativas se observan en el mes de abril. En la zona centro 3 las tendencias de temperatura de los modelos son superiores a CRU en la mayoría de los meses principalmente en marzo y abril, y únicamente en el mes de diciembre los modelos tienen una tendencia inferior a CRU.

En la zona sur 1 los modelos sobreestiman la tendencia de temperatura en marzo y abril, y muestran una tendencia negativa y por debajo de CRU en noviembre y diciembre, sin embargo contrario a lo que presentan los modelos la tendencia de los datos observados CRU tiene una tendencia negativa entre marzo y abril, así como una tendencia máxima positiva en noviembre.

Las tendencias de los modelos en la zona sur 2 son principalmente positivas y superiores a las tendencias de CRU de enero hasta septiembre, mientras que en los meses restantes (octubre, noviembre y diciembre) las tendencias de los modelos son negativas e inferiores a CRU. En la zona sur 3 las tendencias de CRU son en su mayoría positivas, los modelos de manera similar presentan tendencias positivas y superiores a los datos observados en casi todos los meses desde enero hasta octubre, mientras que en noviembre y diciembre las tendencias de los modelos se encuentran por debajo de las tendencias de CRU.

De forma general las tendencias de temperatura de los modelos son superiores a las tendencias de CRU en casi todos los meses, y solo muestran una tendencia inferior a CRU en los meses de noviembre y diciembre.

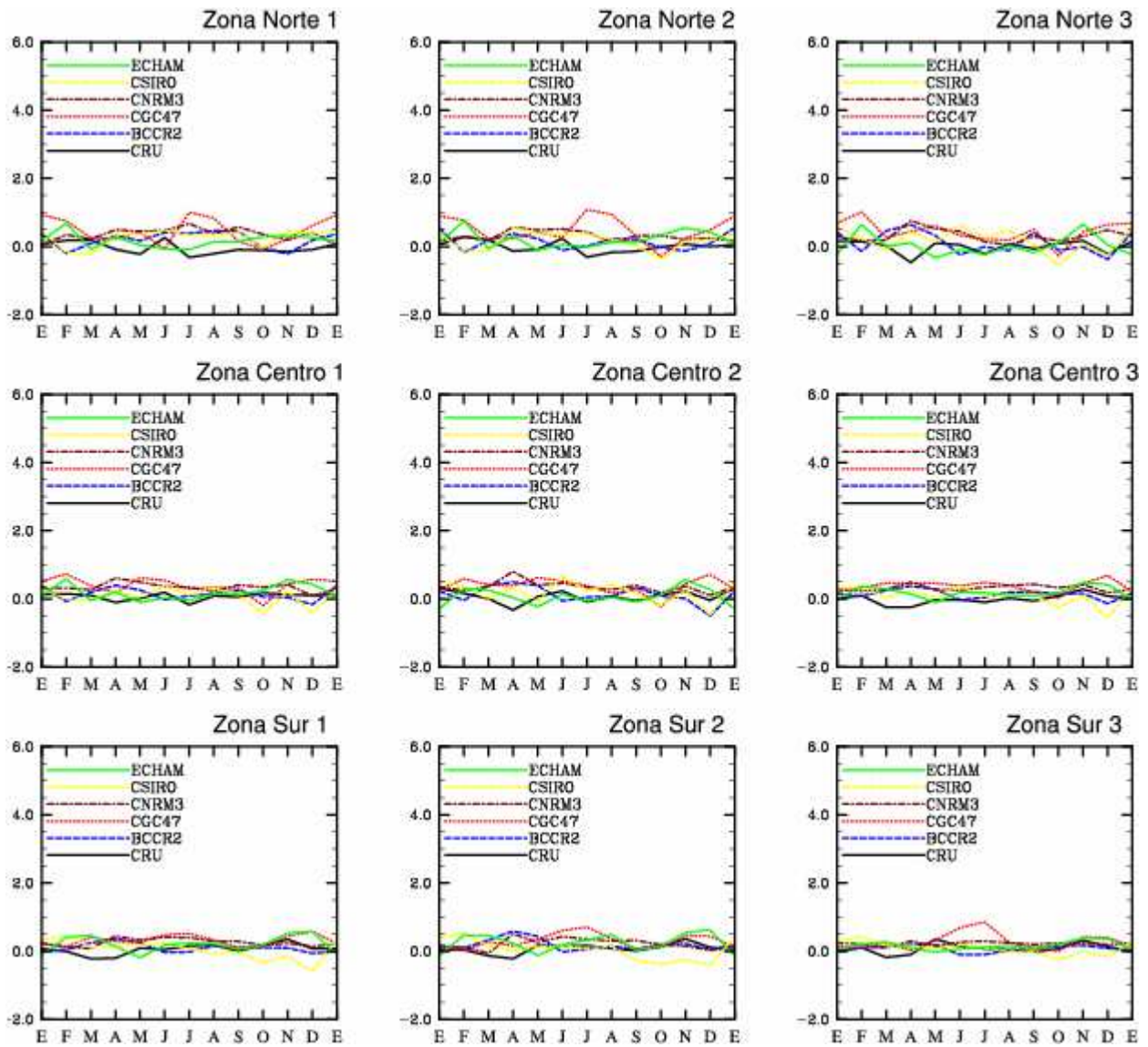


Figura 6.36 – Tendencia mensual de la temperatura ($^{\circ}\text{C}/\text{década}$) para cinco modelos del IPCC (ECHAM, CSIRO, CNRM3, CGC47, BCCR2) y la base de datos observados CRU, para el periodo de 1961-1990.

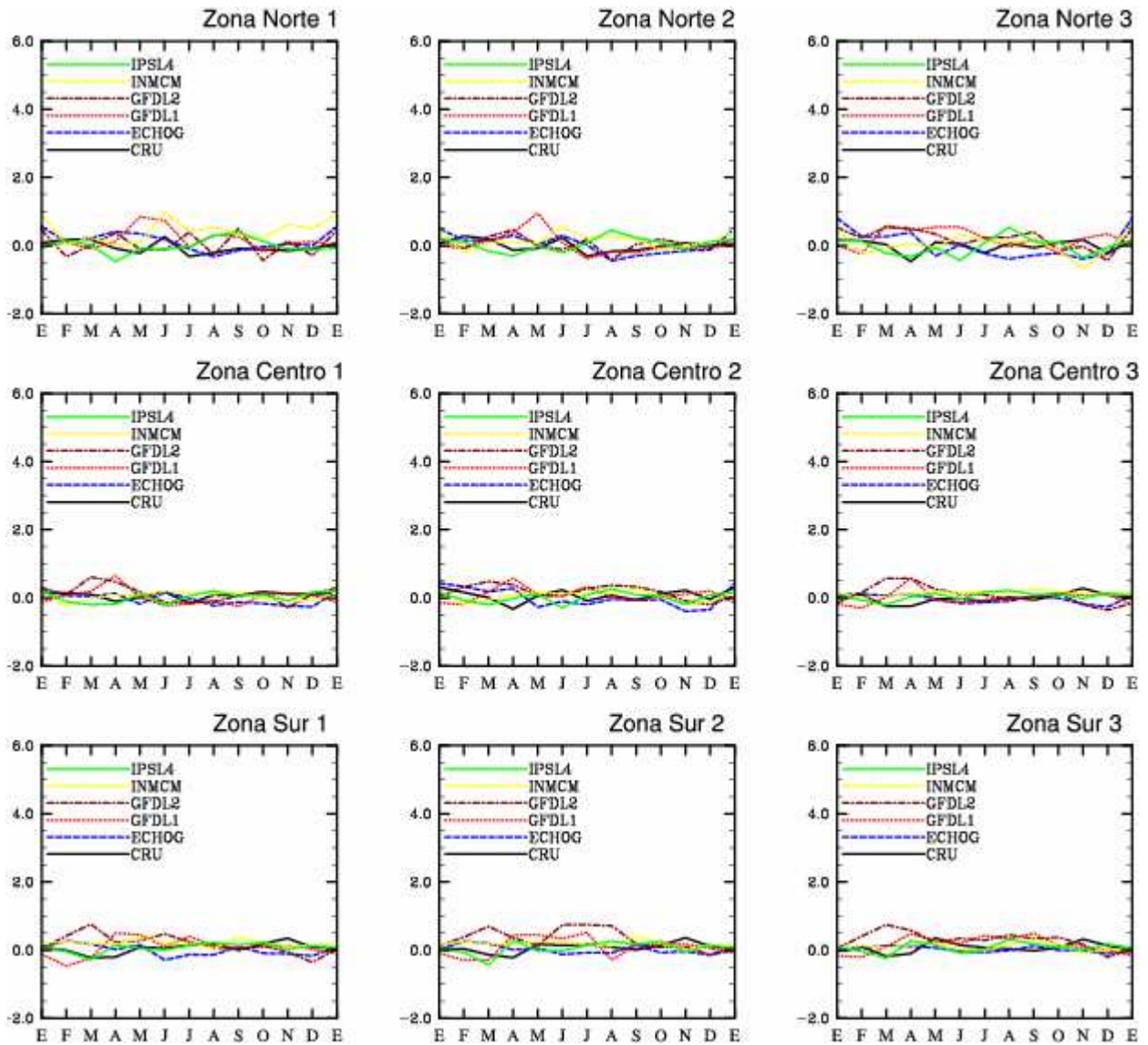


Figura 6.37 – Tendencia mensual de la temperatura (°C/década) para cinco modelos del IPCC (IPSL4, INMCM, GFDL2, GFDL1, ECHOG) y la base de datos observados CRU, para el período de 1961-1990.

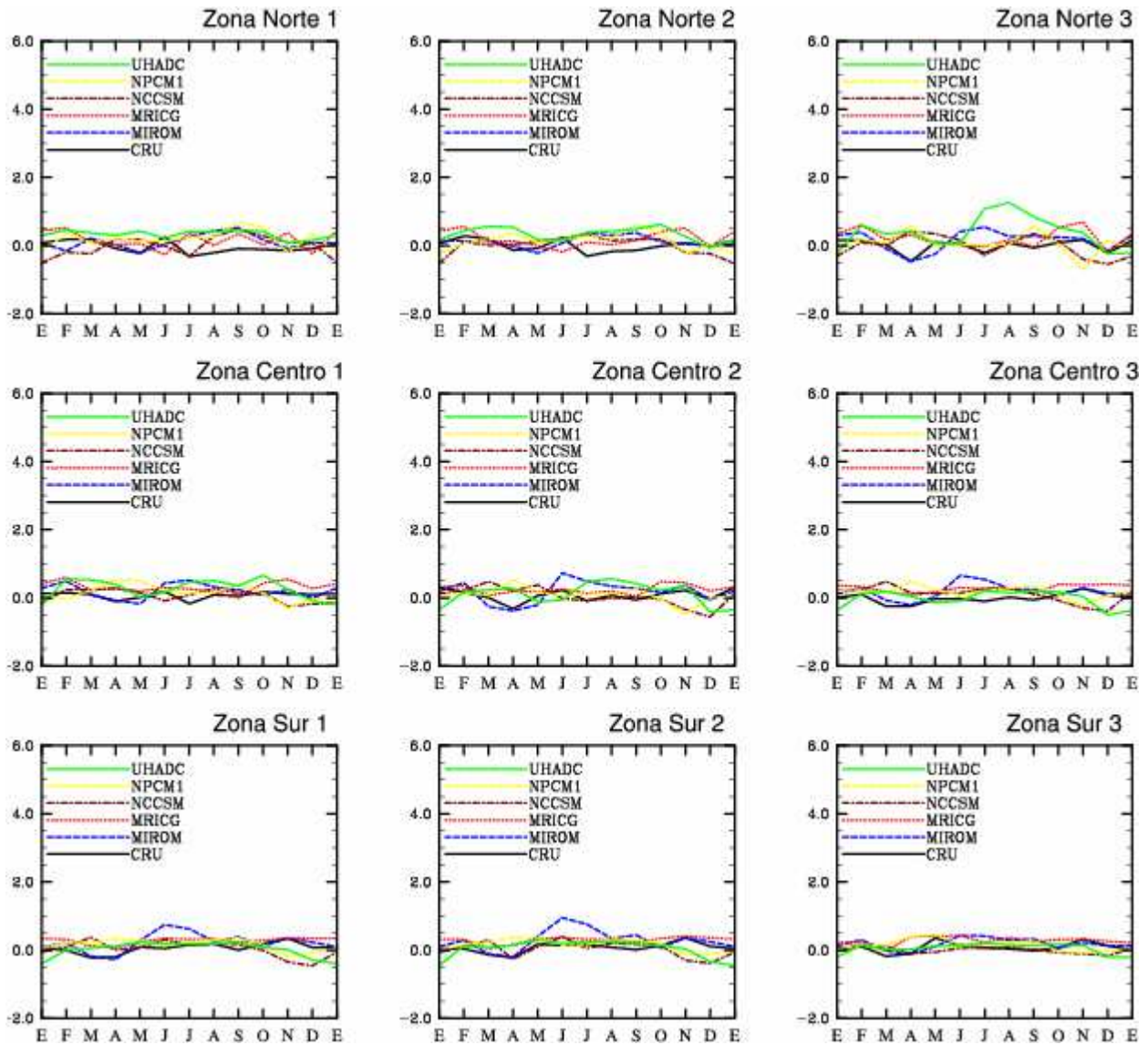


Figura 6.38 – Tendencia mensual de la temperatura ($^{\circ}\text{C}/\text{década}$) para cinco modelos del IPCC (UHADC, NPCM1, NCCSM, MRICG, MIROM) y la base de datos observados CRU, para el período de 1961-1990.

En la figura 6.39 se presenta las tendencias de temperatura (°C) de la base de datos observados CRU, el promedio de quince modelos del IPCC, y los modelos ECHAM y UHADC (UHADC) que también son parte del IPCC y que se eligieron a partir de un estudio de validación con base estadísticas, para nueve zonas geográficas, y para el período de estudios de 1961-1990.

En la zona norte las tendencias de temperatura de los modelos ECHAM y UHADC, así como el promedio de los modelos IPCC están por arriba de las tendencias de CRU, es decir, muestran tendencias positivas respecto a CRU para la zona norte. En el mes de febrero en las zonas norte 1 y 2 el IPCC tiene una tendencia menor a CRU, y el modelo ECHAM en el mismo mes presenta una tendencia máxima pero en las tres zonas del norte. El modelo UHADC tiene las máximas tendencias positivas en los meses de febrero y marzo, así como de julio hasta octubre, y es por tanto en estos meses en que se observan las mayores diferencias con CRU para la zona norte.

De forma similar que en la zona norte, en la región centro los modelos también presentan tendencias positivas y superiores a las de CRU. El modelo ECHAM tiene las tendencias de temperatura mayores en los meses de noviembre y diciembre y por tanto las diferencias más significativas con CRU. El modelo UHADC presenta la máxima tendencia positiva respecto a CRU en febrero, marzo, y de julio hasta octubre en la zona centro 1, en la zona centro 2 es en julio-septiembre, y en la zona centro 3 durante marzo y abril, este modelo muestra una característica particular al tener una tendencias negativa y menor a CRU en todo la región centro en el mes de diciembre.

Las simulaciones hechas por los modelos para la zona sur, muestran que la tendencia de la temperatura de manera general es positiva. El modelo ECHAM presenta dos máximos en las tres zonas de la región sur en los meses de febrero-marzo y noviembre-diciembre, siendo más notorios estos máximos en las zonas sur 1 y 2, y teniendo por lo tanto en estos meses las mayores diferencias en la tendencia con CRU y el IPCC. El modelo UHADC contrario a ECHAM no muestra máximos significativos para esta región, pero si una tendencia negativa, menor a CRU y con una diferencia importante en los meses de diciembre y enero, permaneciendo constante dicha tendencia en las tres zonas del sur.

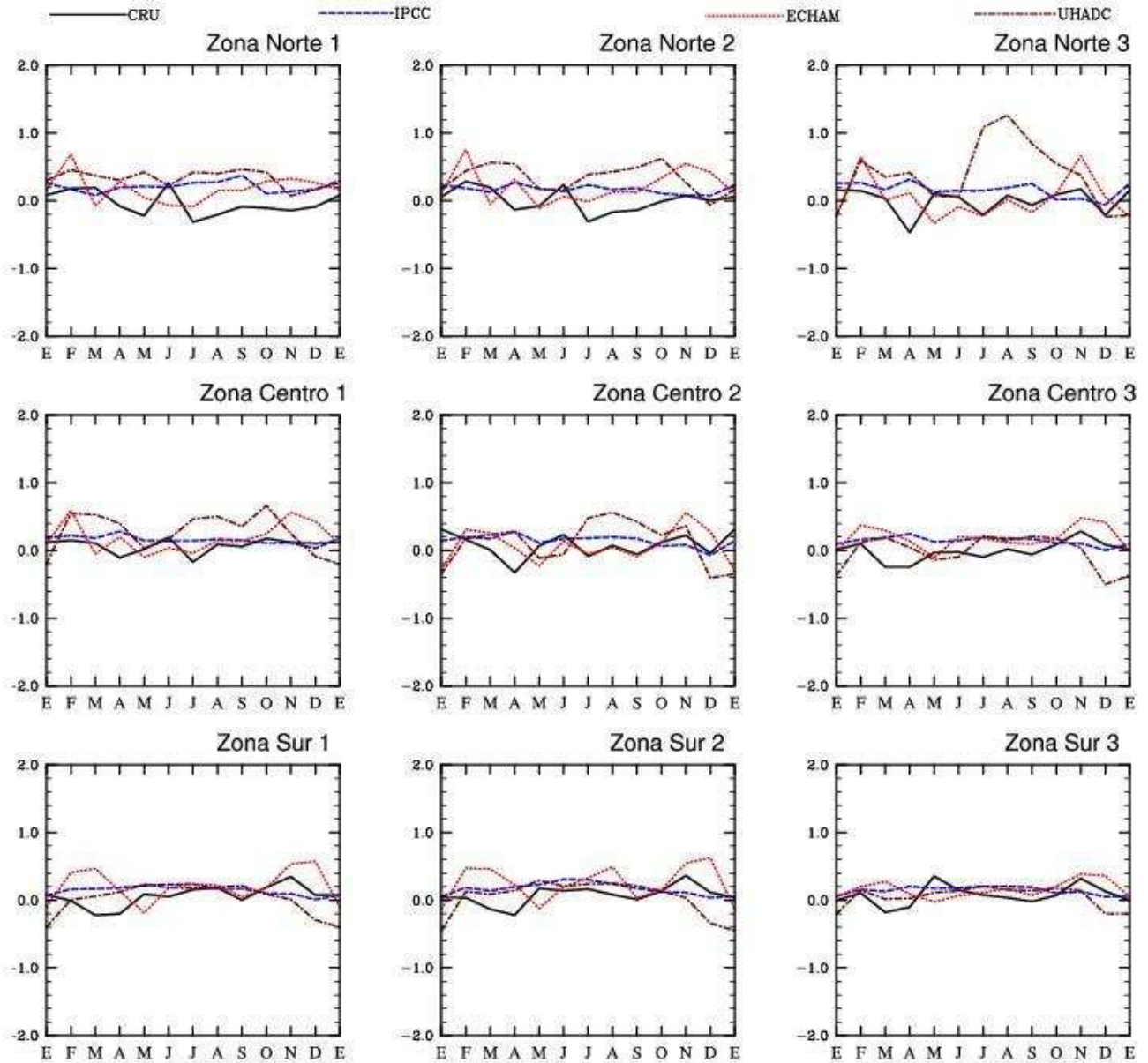


Figura 6.39 – Tendencia mensual de la temperatura ($^{\circ}\text{C}/\text{década}$) para dos modelos (ECHAM y UHADC), el promedio de quince modelos del IPCC y la base de datos observados CRU, para el periodo de 1961-1990.

En las siguientes figuras 6.40-6.44 se presenta las tendencias lineales de temperatura (°C) para la base de datos observados CRU y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC) del IPCC, para el mes de abril, en el período de referencia 1961-1990 para nueve zonas geográficas.

La tendencia de temperatura de los datos observados de CRU para la región norte en el mes de enero es de incremento en las tres zonas. Los valores máximos en la zona norte 1 se observan en 1965, 1969 y 1986 y el mínimo en 1964. Para la zona norte 2 los máximos fueron en 1969 y 1974, y los mínimos en 1964 y 85, y la zona norte 3 tiene un máximo en 1971 y un mínimo en 1985 al igual que en la zona norte 2.

El modelo ECHAM presenta para la región norte tendencias que indican un aumento de la temperatura en las tres zonas con un máximo en la temperatura en 1989 aunque la zona norte 3 tiene otro máximo en 1986, y los mínimos difieren en cada zona ya que la zona norte 1 tiene dos mínimos uno en 1977 y otro en 1979 en este ultimo año la zona norte 2 presenta un mínimo, y la zona norte 3 muestra un mínimo en 1970.

El modelo UHADC simula para las tres zonas de la región norte una tendencia de disminución de la temperatura así como un máximo de la misma en 1971, sin embargo los mínimos de temperatura se observan en diferentes años para cada zona, teniendo la zona norte 1 un mínimo en 1975, la norte 2 en 1987, y la norte 3 en 1988.

En el mes de enero la región centro presenta en las tres zonas una tendencia positiva o de aumento de la temperatura de acuerdo a los datos observados de CRU, los máximos de temperatura se observan en la zona centro 1 en 1982, y en las zonas centro 2 y 3 en 1989, y los mínimos de temperatura en la zona centro 1 y 2 se muestran en 1969, aunque la zona centro 1 tiene dos mínimos más en 1981 y 1985, y por ultimo la zona centro 3 que también tiene un mínimo en 1981.

Para la zona centro el modelo ECHAM muestra tendencias de aumento en la temperatura, con un máximo de la misma en las zonas centro 1 y 3 en 1988, y en la zona centro 2 y nuevamente la centro 3 en 1986, así como un mínimo en las tres zonas del centro en 1987, aunque las zonas centro 1 y 2 tienen otro mínimo en 1970 y la centro 3 en 1973.

El modelo UHADC simuló para las zonas centro 2 y 3 una tenue tendencia de aumento en la temperatura, y para la zona centro 1 la tendencia no tiene cambios significativos, con un máximo de temperatura en la zona centro 1 en 1968, en la centro 2 en 1971 y en la zona centro 3 en 1990, mientras que si coinciden las tres zonas en dos mínimos de temperatura en 1963 y 1987.

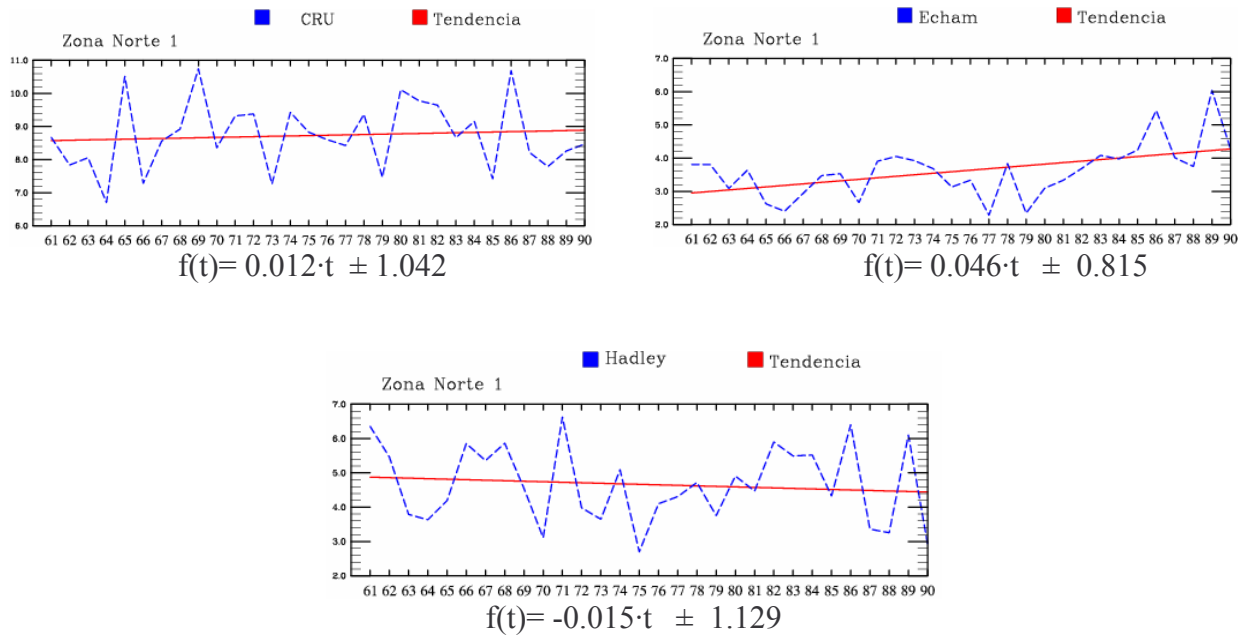
La base de datos observados CRU muestra para las zonas sur 1 una tendencia de incremento en la temperatura, y en las zonas sur 2 y 3 no hay una tendencias marcada durante el período de estudio. Los máximos en la región sur se presentaron en 1974 aunque la zona sur 3 tiene otro máximo importante en 1972, y el mínimo de temperatura se presentó en las tres zonas en 1981, sin embargo la zona sur 1 tiene otros mínimos significativos en 1966 y 1986.

El modelo ECHAM simuló para la región sur una tendencia de incremento en la temperatura, con un máximo en las zonas sur 1 y 2 en 1985, y en 1988 para las zonas 3 y 2 está última con un segundo máximo. El mínimo de temperatura para el período de estudio se muestra en 1973 en las tres zonas de la región sur.

La tendencia de temperatura simulada por el modelo HADLEY para la región sur es diferente en cada zona, en la sur 1 se observa una tendencia con un ligero incremento, en la sur 2 en decremento, y la sur 3 no tiene una tendencia. Sin embargo las tres zonas coinciden en los máximos de temperatura de 1974 y 1990, y en el mínimo de temperatura de 1976 solo las zonas sur 2 y 3 concuerdan, ya que la zona sur 1 tiene su mínimo en 1972.

Las tendencias de temperatura para la zona norte son representadas adecuadamente por el modelo ECHAM, ya que las tendencias del modelo HADLEY no coinciden con las de CRU, pero de manera general los dos modelos para las zonas centro y sur tienen tendencias que coinciden con CRU.

ENERO (ZONA NORTE 1)



ENERO (ZONA NORTE 2)

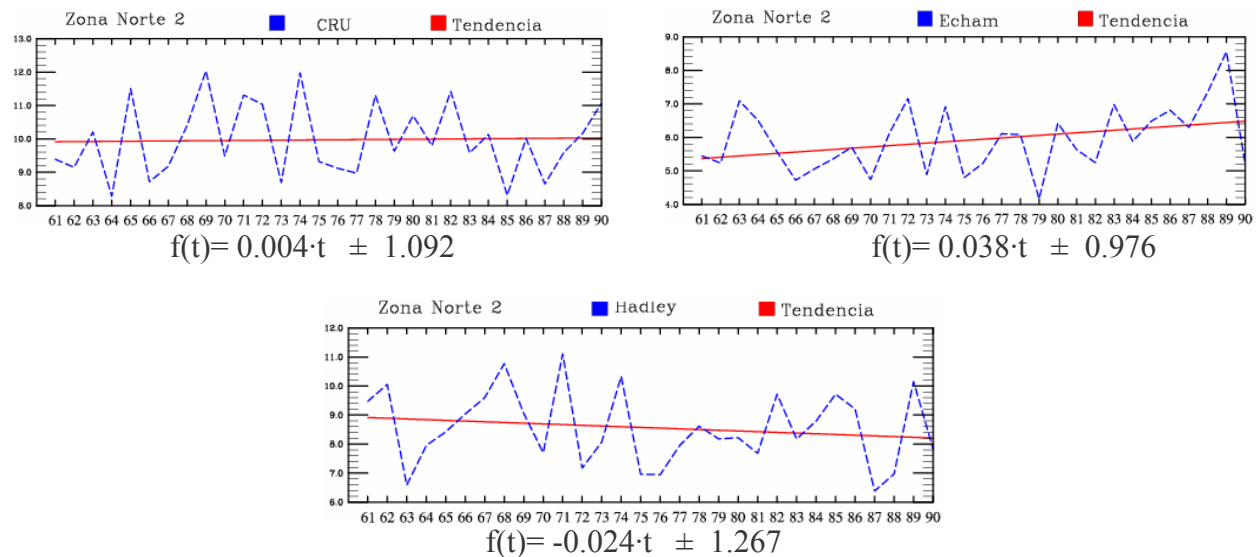
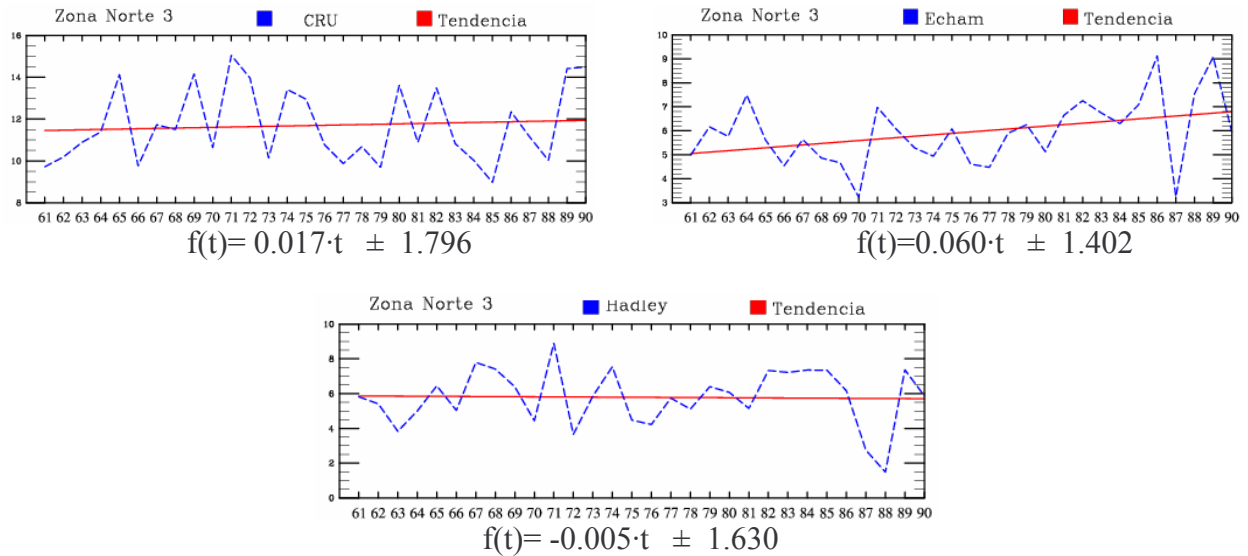


Figura 6.40 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en las regiones geográficas Norte 1 y Norte 2 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante enero, en el periodo de 1961 a 1990.

ENERO (ZONA NORTE 3)



ENERO (ZONA CENTRO 1)

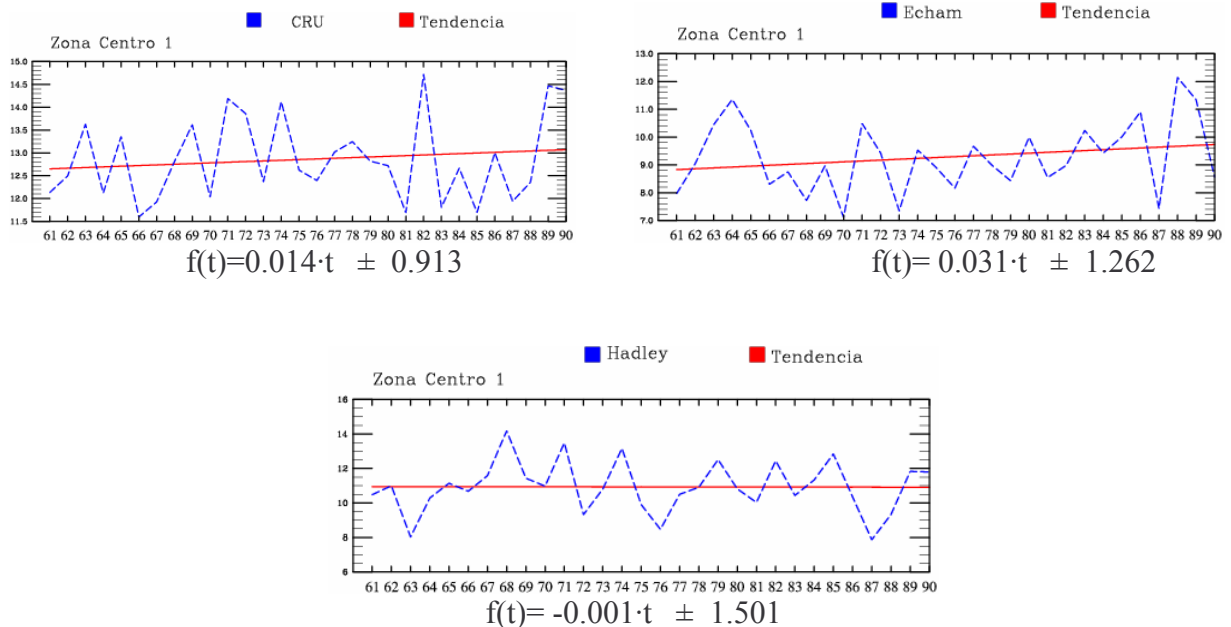
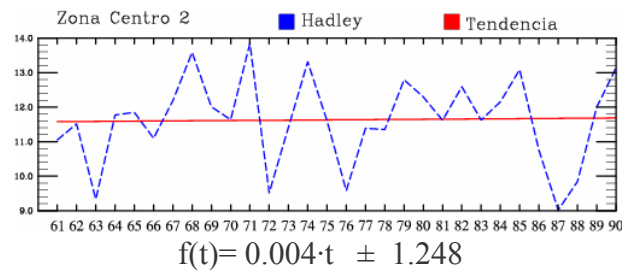
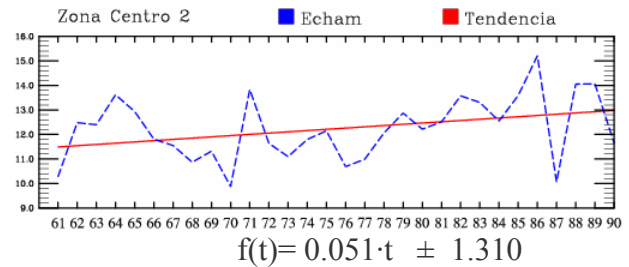
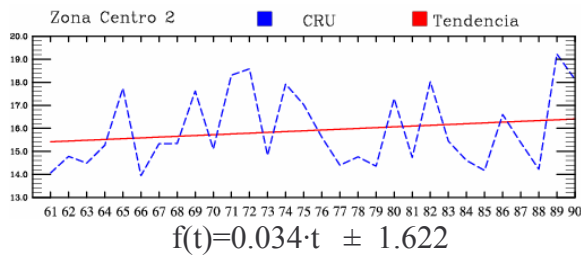


Figura 6.41 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en las regiones geográficas Norte 3 y Centro 1 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante enero, en el periodo de 1961 a 1990.

ENERO (ZONA CENTRO 2)



ENERO (ZONA CENTRO 3)

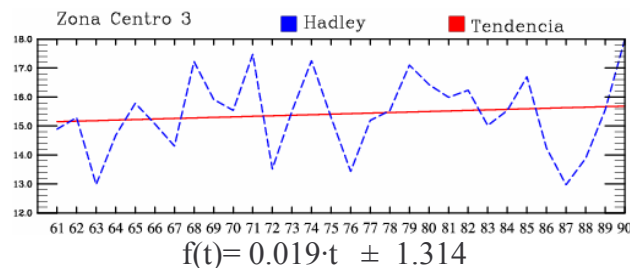
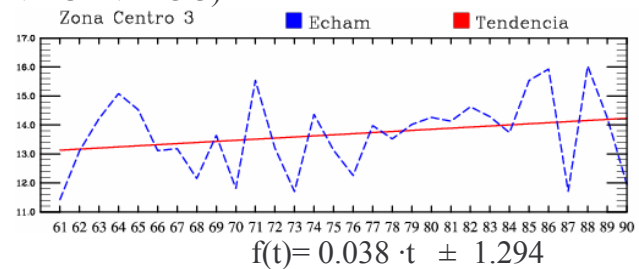
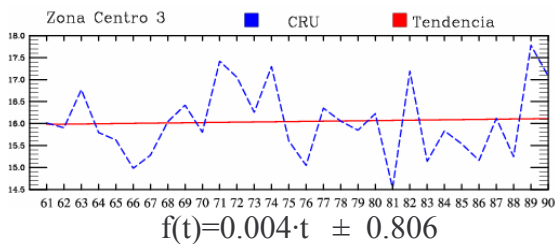
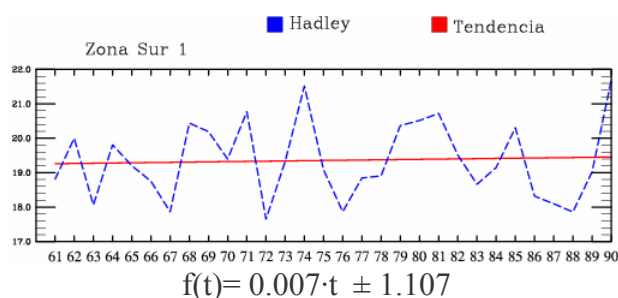
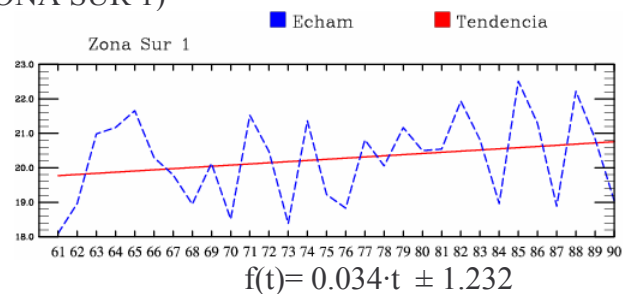
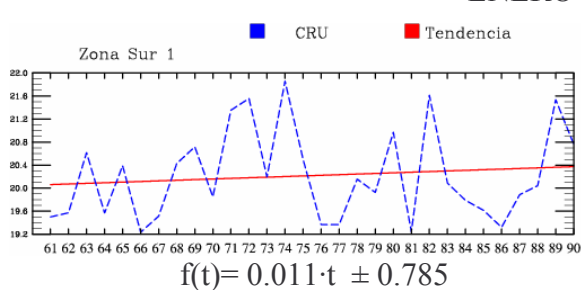


Figura 6.42 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en las regiones geográficas Centro 2 y Centro 3 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante enero, en el periodo de 1961 a 1990.

ENERO (ZONA SUR 1)



ENERO (ZONA SUR 2)

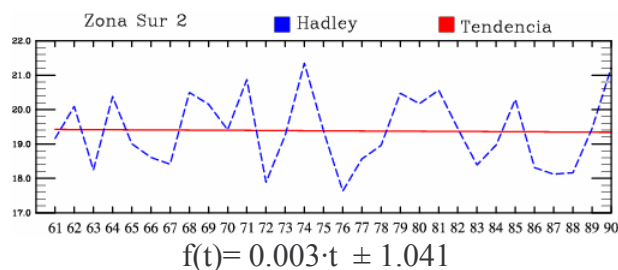
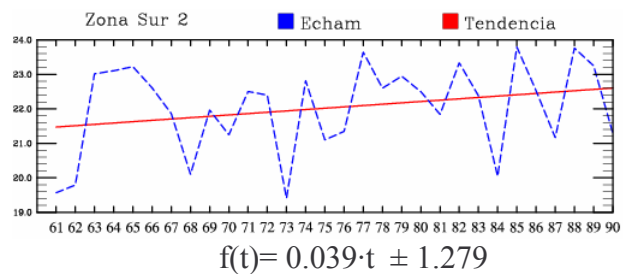
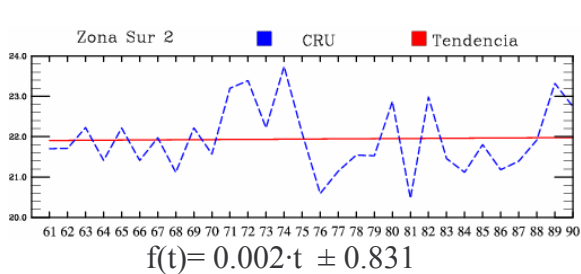


Figura 6.43 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en las regiones geográficas Sur 1 y Sur 2 para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante enero, en el periodo de 1961 a 1990.

ENERO (ZONA SUR 3)

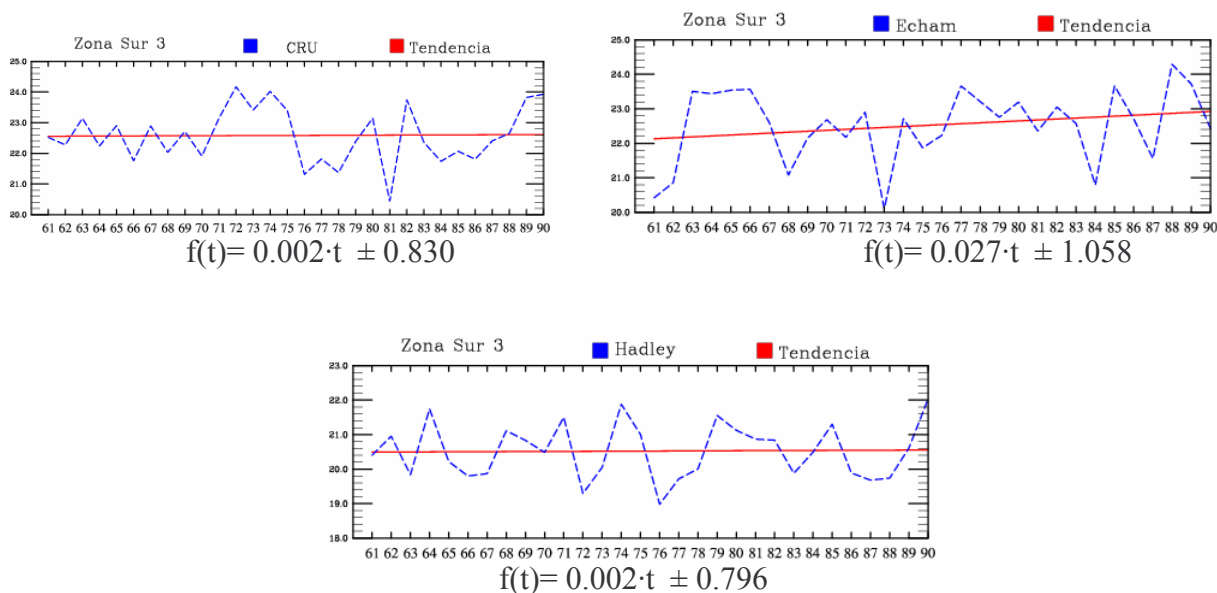


Figura 6.44 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la región geográfica Sur 3, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante enero, en el periodo de 1961 a 1990.

En la figura 6.45 se muestran los mapas con las tendencias de temperatura (°C) de la base de datos observados CRU, el promedio de quince modelos del IPCC, representado como IPCC, y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC) que se eligieron de una validación hecha con bases estadísticas para el período de 1961-1990.

La base de datos observados CRU para el mes de enero muestra una tendencia positiva de temperatura superior a 0.4 °C en el noreste de México, mientras que en el Altiplano la tendencia de temperatura es menor a 0.4 °C, al igual que en el noroeste del país, y en la región sur la tendencia oscila entre 0 y 0.2 °C, así como una línea de tendencia negativa en la costa sur, suroeste de la Península de Yucatán, y centro de la República Mexicana.

El IPCC presenta para el mes de enero tendencias mayores a 0.2 °C en toda la parte norte de México, mientras que en la zona costera del Golfo de México y la Península de Yucatán las tendencias aunque continúan siendo positivas se encuentran alrededor de los 0.1°C, al igual que en la costa sur y centro del país.

El modelo ECHAM por su parte simuló tendencias de temperatura negativas para la vertiente oriental de la República Mexicana, el Istmo de Tehuantepec y suroeste de la Península de

Yucatán, aunque las tendencias menores se observan en el noreste del país, mientras que en la vertiente occidental y el norte de la Península de Yucatán las tendencias son de aumento en la temperatura.

Para este mes de enero el modelo HADLEY simuló tendencias positivas de temperatura para el noroeste de la República Mexicana, y tendencias negativas en el noreste, centro, sur, sureste y en la Península de Yucatán, y solo en el oeste del Altiplano Mexicano no existe una tendencia de temperatura.

ENERO

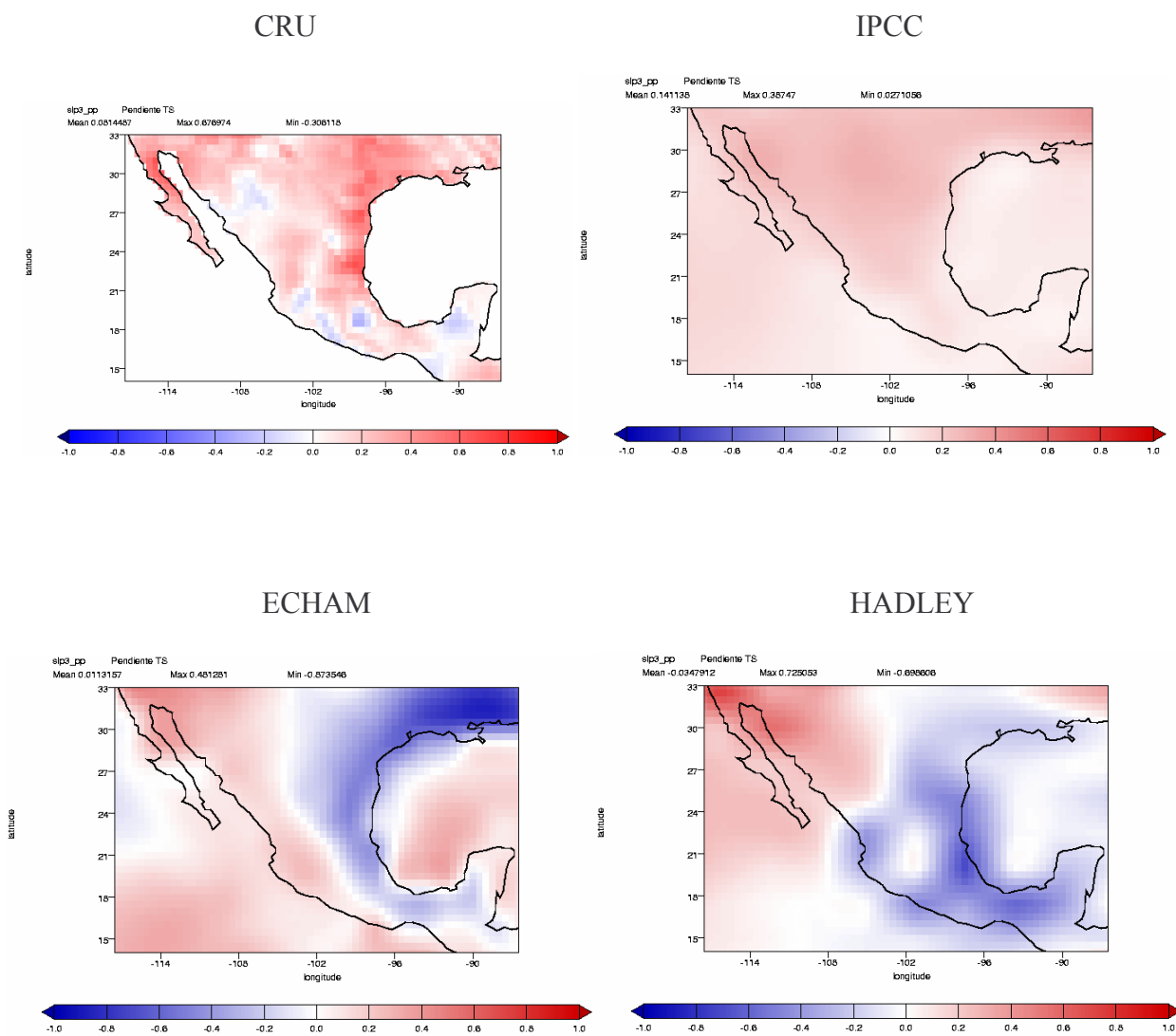


Figura 6.45 – Tendencia lineal de la temperatura ($^{\circ}\text{C}/\text{década}$) para dos modelos (ECHAM y HADLEY), el promedio de quince modelos del IPCC, y la base de datos observados CRU, para el período 1961-1990.

En las siguientes figuras 6.46-6.50 se muestra la tendencia lineal de la temperatura para la base de datos observados CRU y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC) del IPCC, para el mes de abril, en el período 1961-1990, para nueve zonas geográficas.

En abril los datos observados de CRU indican que para la zona norte 1 no se tiene una tendencia, sin embargo en la zona norte 2 y 3 se observa una tendencia de disminución de la temperatura. Las zonas norte 1 y 2 coinciden con un máximo en 1989, aunque la zona norte 2 tiene otros máximos en 1986 y 1963, en este último año la zona norte 3 también tiene un máximo. Los mínimos de temperatura para el período de estudio se presentaron en diferente año en cada zona, en la norte 1 en 1983, la norte 2 en 1973 y la norte 3 en 1987.

Las tendencias simuladas por el modelo ECHAM para la región norte indican un aumento en la temperatura, y aunque los máximos no coincidan en el mismo año en cada zona, ya que la zona norte 1 presenta un máximo en 1961, la norte 2 en 1990 al igual que la norte 3, aunque esta tiene otro máximo en 1984, y el mínimo de la zona norte 1 se observa en 1968, en 1969 en la norte 2 y 1973 y 1987 en la zona norte 3.

El modelo HADLEY muestra en las tres zonas del norte una tendencia de incremento en la temperatura, con dos máximos la zona norte 1 en 1973 y 1989, coincidiendo con la zona norte 2 que también tiene un máximo en 1973, y la norte 3 en 1980. Los mínimos de temperatura en las zonas norte 1 y 2 se observan en 1969, aunque la zona norte 1 presenta otro mínimo de temperatura importante en 1983, mientras que el mínimo de la zona norte 3 se muestra en 1964.

En la zona centro se observa una tendencia que indica una disminución de la temperatura en este mes de acuerdo a la base de datos observados CRU, y con un máximo en las tres zonas en 1963, aunque la zona centro 3 presenta otro máximo en 1964, respecto al mínimo de temperatura las zonas centro 1 y 3 son las que coinciden en tener un mínimo en 1977, mientras que la zona centro 2 tiene un mínimo en 1987.

Para la región centro el modelo ECHAM simuló tendencia que muestran un aumento de la temperatura, y los máximos en cada zona se observan en 1967 en las zonas norte 1 y 2, pero esta última tiene otro máximo en 1981 que coincide con el máximo de la zona norte 3. Los mínimos de temperatura en las zonas centro 1 y 2 muestran en 1965, pero cada zona tiene otro mínimo la centro 1 en 1969 y 1973, la norte en 1972 y 1987, y la zona norte 3 en 1980.

La simulación del modelo HADLEY para la zona centro indican una tendencia de aumento en la temperatura, con un máximo de la misma en la zona centro 1 en 1975, en la centro 2 en 1980 y la centro 3 en 1974, mientras que en el mínimo se observa en el mismo año 1964 en las tres zonas.

La base de datos observados de CRU muestran una tendencia que indica una disminución de la temperatura para esta región. El máximo valor se presentó en la zona sur 1 en 1982 y 1984 y en las zonas sur 2 y 3 en 1970, mientras que la menor temperatura se observa en 1987 en las tres zonas del sur.

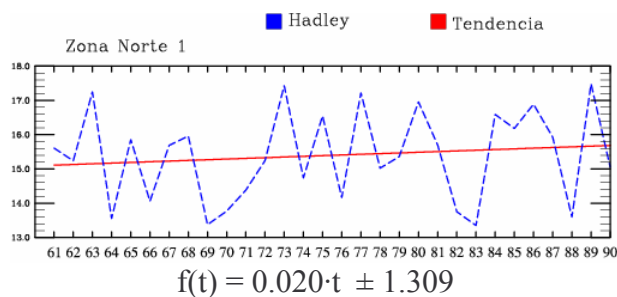
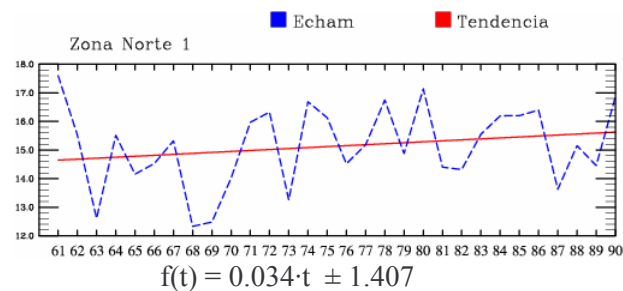
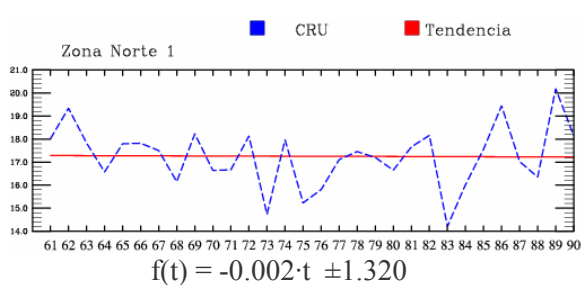
Las simulaciones hechas por el modelo ECHAM indican para la zona sur un incremento de la temperatura, así como un máximo en 1963 en las zonas sur 1 y 2, y en 1974 y 1989 para la zona

sur 3, mientras que el mínimo de temperatura de las zonas sur 1 y 2 se observa en 1980, sin embargo la zonas sur 2 presenta otro mínimo en 1971, año en que también la zona sur 3 tiene un mínimo, como en 1965.

El modelo HADLEY presenta tendencias positivas para la región sur, que indican un aumento en la temperatura en esta zona, con máximos y mínimos que se observan en las tres zonas en los mismos años, el máximo se presentó de acuerdo al modelo en 1974, y los mínimos en 1962 y 1986.

Los modelos de manera general no simulan adecuadamente las tendencias de temperatura para este mes, ya que sus tendencias no coinciden en ninguna zona con las tendencias de temperatura de los datos observados de CRU.

ABRIL (ZONA NORTE 1)



ABRIL (ZONA NORTE 2)

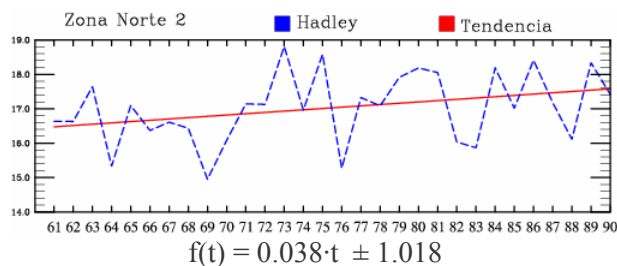
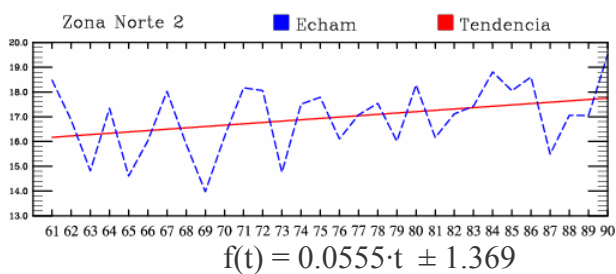
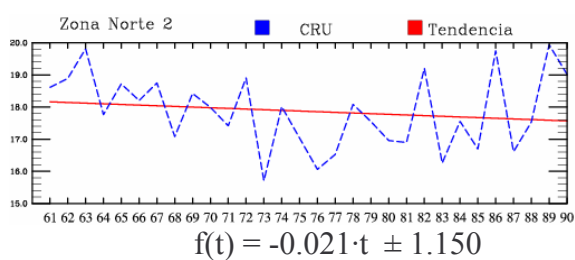
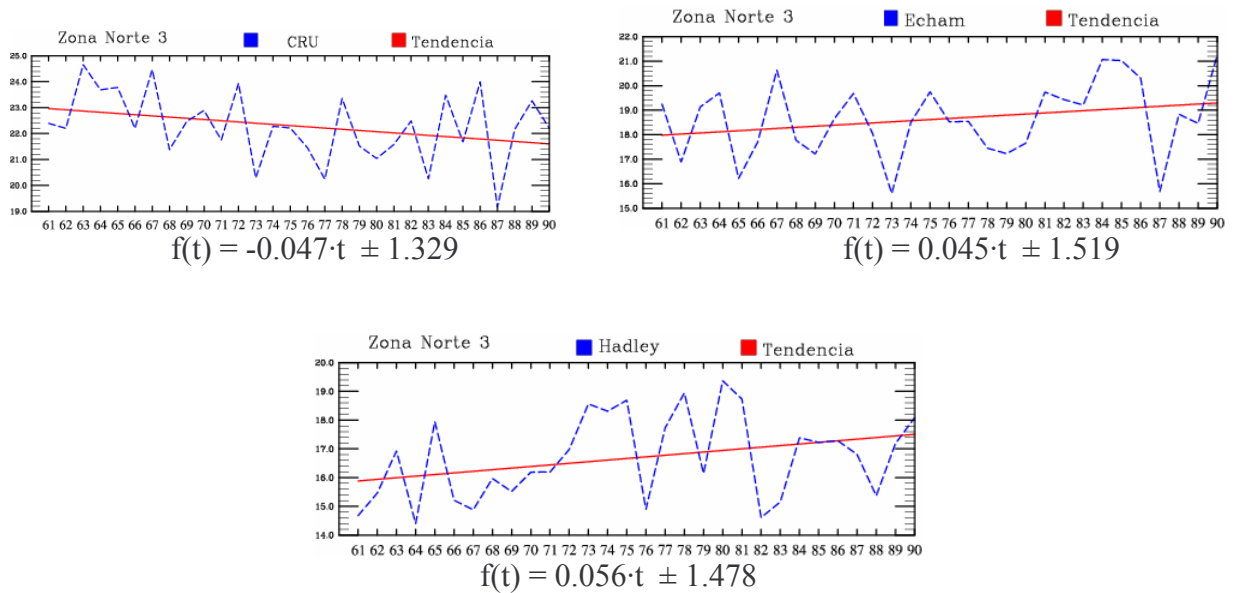


Figura 6.46 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la regiones geográficas Norte 1 y Norte 2, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante abril, en el periodo de 1961 a 1990.

ABRIL (ZONA NORTE 3)



ABRIL (ZONA CENTRO 1)

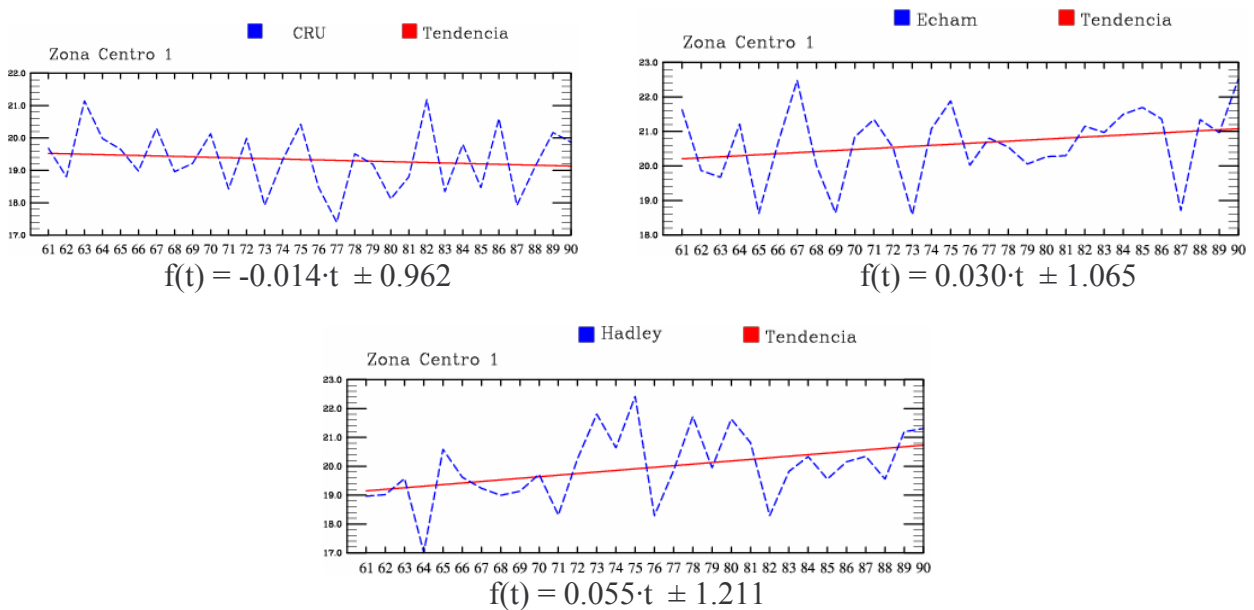
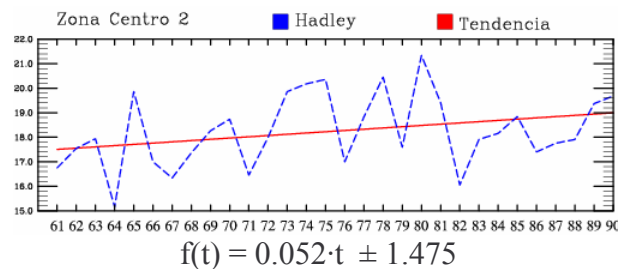
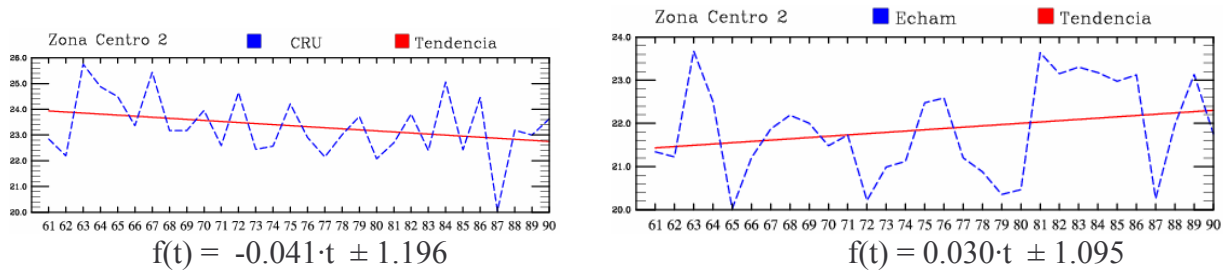


Figura 6.47 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la regiones geográficas Norte 3 y Centro 1, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante abril, en el periodo de 1961 a 1990.

ABRIL (ZONA CENTRO 2)



ABRIL (ZONA CENTRO 3)

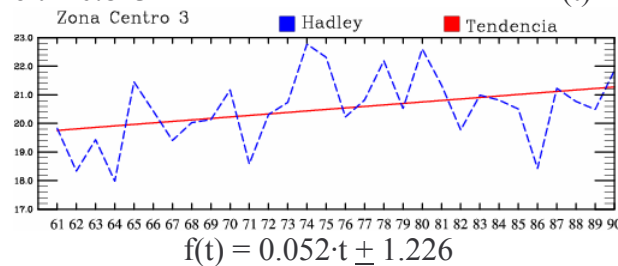
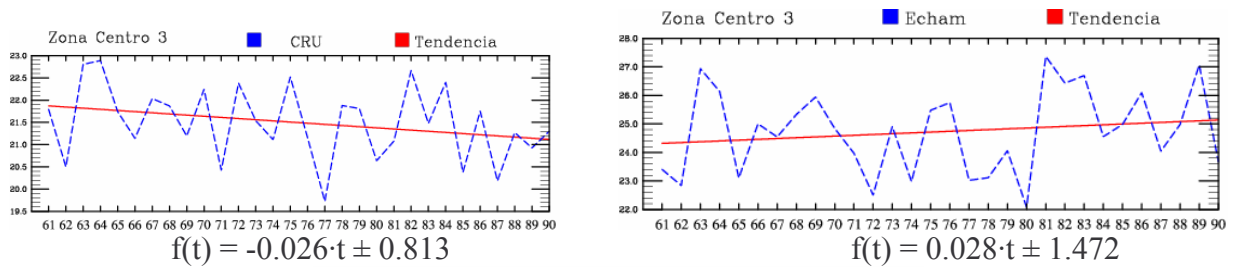
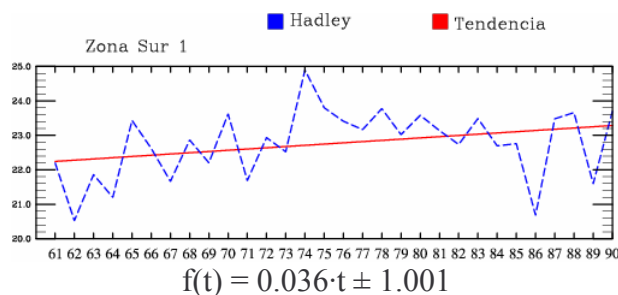
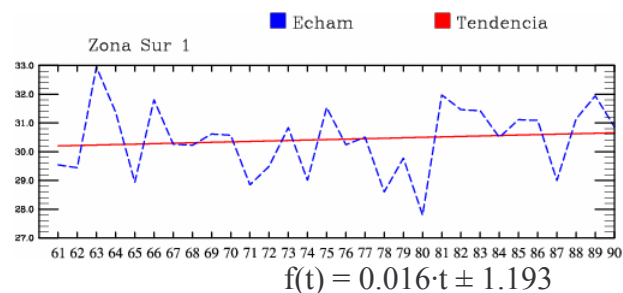
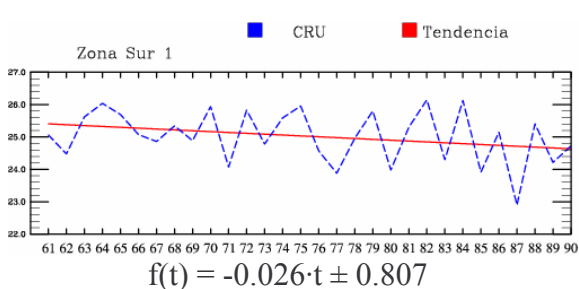


Figura 6.48 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la regiones geográficas Centro 2 y Centro 3, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante abril, en el periodo de 1961 a 1990.

ABRIL (ZONA SUR 1)



ABRIL (ZONA SUR 2)

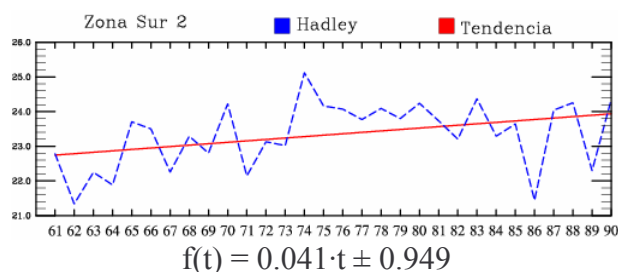
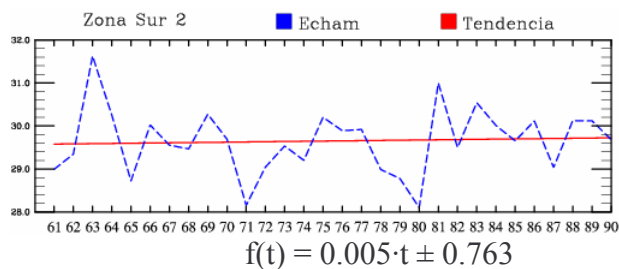
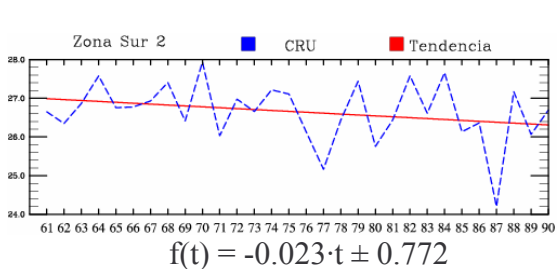


Figura 6.49 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la regiones geográficas Sur 1 y Sur 2, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante abril, en el periodo de 1961 a 1990.

ABRIL (ZONA SUR 3)

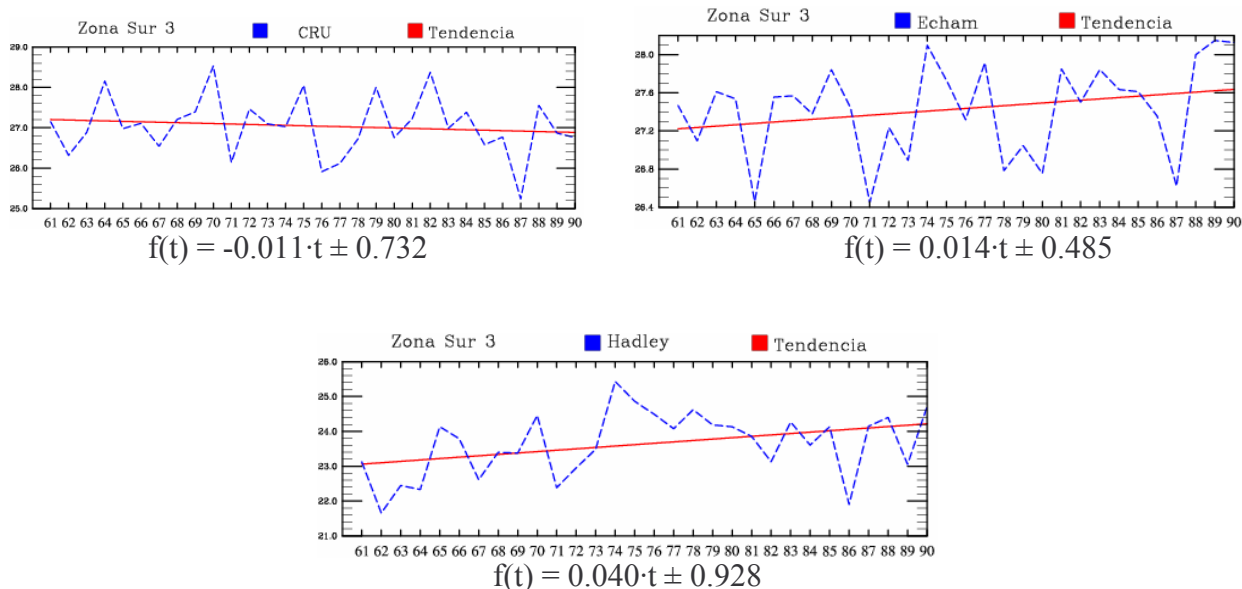


Figura 6.50 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la región geográfica Sur 3, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante abril, en el periodo de 1961 a 1990.

En la figura 6.51 se presentan los mapas con las tendencias de temperatura (°C) para la base de datos observados CRU, el promedio de quince modelo del IPCC, así como dos modelos ECHAM y HADLEY (UHADC) que también son parte del IPCC, para el mes de abril, en el periodo de 1961-1990.

Para este mes en el mapa de la serie de datos observados de CRU se observan tendencias negativas en la vertiente oriental, la Península de Yucatán, la planicie central y en el sur de la República Mexicana, con excepción de la parte noroeste y la costa de la vertiente occidental donde las tendencias se muestran positivas, es decir indican un incremento en la temperatura.

El IPCC por su parte como promedio de las simulaciones de quince modelos muestra una tendencia positiva para toda la República Mexicana, teniendo valores mayores en el altiplano, centro y sur de la Península de Yucatán.

El modelo ECHAM presenta tendencias de aumento en la temperatura para el norte de la República Mexicana, así como en toda la parte occidental del país y en el sureste, siendo más

intensa en el noroeste y sureste, mientras que en la vertiente oriental y la Península de Yucatán no se aprecia una tendencia de temperatura marcada hacia uno de los dos signos.

Mientras que el modelo HADLEY simuló tendencias positivas en el norte y altiplano Mexicano, siendo éstas más intensas en el noreste y en el estado de Sinaloa. Este modelo en el centro, sur, surest y para la Península de Yucatán no simuló una tendencia de temperatura significativa que indique un aumento o disminución de la misma.

ABRIL

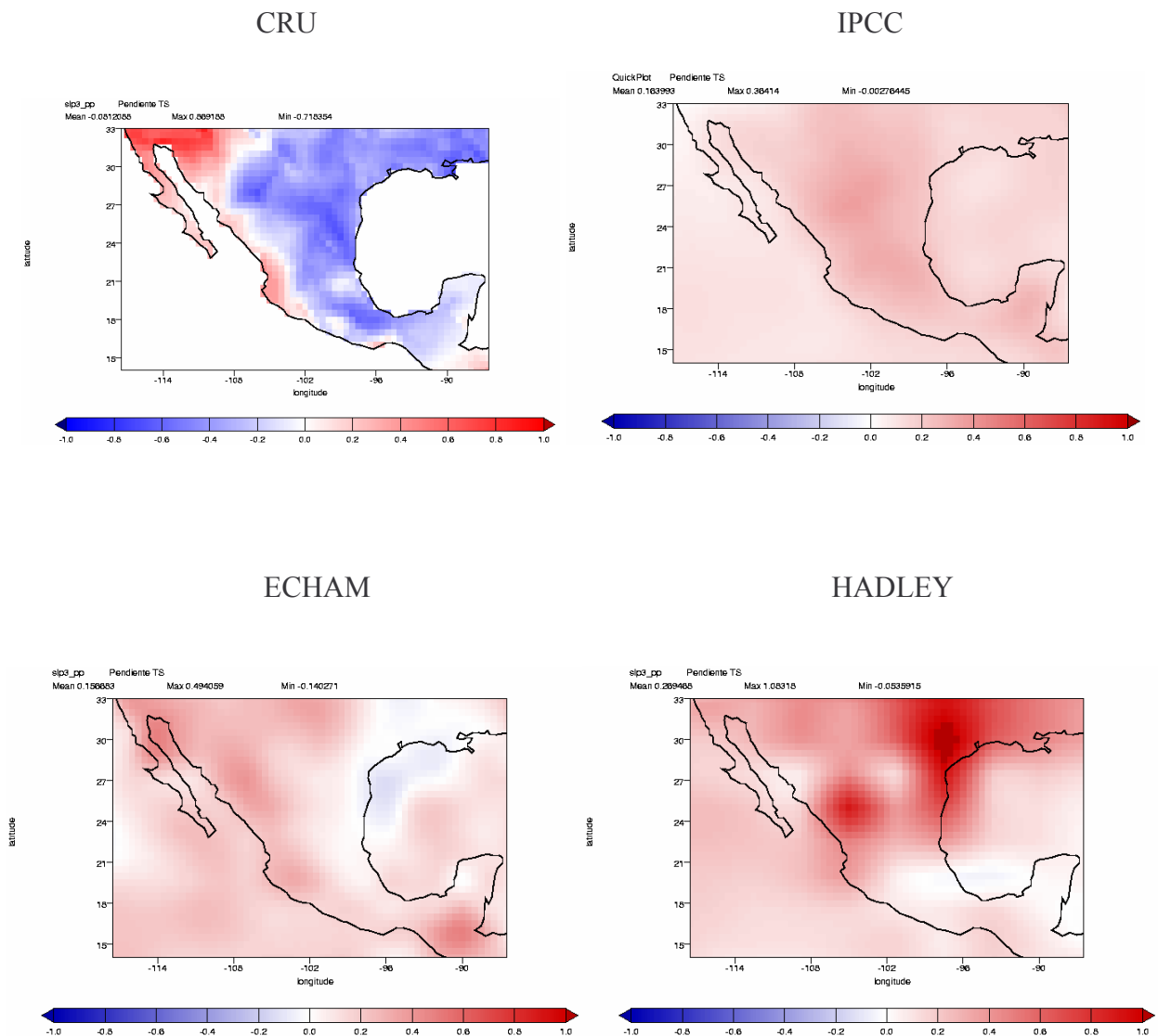


Figura 6.51 – Tendencia lineal de la temperatura ($^{\circ}\text{C}/\text{década}$) para dos modelos (ECHAM y HADLEY), el promedio de quince modelos del IPCC, y la base de datos observados CRU, para el período 1961-1990.

En las siguientes figuras 6.52-6.56 se presenta la tendencia lineal de la temperatura, para la serie de datos CRU y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el mes de octubre, en nueve zonas geográficas y en el período de referencia 1961-1990.

Las tendencias de temperatura de la base de datos de CRU en la región norte en el mes de julio indican un decremento de la temperatura, con un máximo en 1980 en las tres zonas del norte, y un mínimo en la zona norte 1 en 1986, en la norte 2 en 1984 y la norte 3 en 1976.

El modelo ECHAM simuló para la zona norte tendencias positivas, es decir, un incremento de la temperatura. Las zonas norte 1 y 2 tienen un máximo de temperatura en 1987 y la zona norte 3 en 1963, con un mínimo en las zonas norte 2 y 3 en 1961 y la norte 1 en 1971.

El modelo HADLEY muestra para las zonas norte 1 y 2 una tendencia positiva, mientras que para la zona norte 3 no existe una tendencias al no presentar cambios y mantenerse constante. Las zonas norte 1 y 2 coinciden tener un máximo de temperatura en el mismo año 1980, mientras que la zona norte 3 presenta un máximo en 1971. El año con la temperatura menor en la zona norte 1 es 1982, en la norte 2 es 1978, y en la zona norte 3 es 1964 y 1984.

Las tendencias de temperatura de la base de datos CRU para la zona norte señalan un decremento de la temperatura. El año de 1980 las tres zonas lo presentan como un año de temperatura máxima, aunque la zona centro 1 tiene otro año con temperatura máxima que es 1962. El mínimo de temperatura de 1976 se observa en el mismo año en las tres zonas, sin embargo la zona centro 3 tiene otros mínimos en 1971 y 1974.

Para este mes el modelo ECHAM simuló una tendencia positiva para toda la zona centro, así como un pico de temperatura máxima en 1987 en la zona centro 1, en 1963 para la zona centro 2 y 1969 en la zona centro 3. El año en que la temperatura fue mínima en la zona centro 1 es 1980, en la zona centro 2 1961, y en la centro 3 1971.

El modelo HADLEY señala para toda la zona centro una tendencia positiva, con un año de temperatura máxima en 1971 en las zonas centro 1 y 2, y en la zona centro 3 en 1988. Mientras que los años en que la temperatura fue mínima en el período de estudio para la zona centro 1 es 1972, en la centro 2 es 1979 y en la centro 3 en 1978.

En la región sur la tendencia de los datos observados de CRU indican un incremento en la temperatura, y el año con la temperatura máxima en la zona sur 1 es 1983, en la zona sur 2 es 1969, y para la sur 3 es 1980. La temperatura mínima en las zonas sur 1 y 2 se presentó en el mismo año que es 1974, mientras que en la zona sur 3 se observa en 1984.

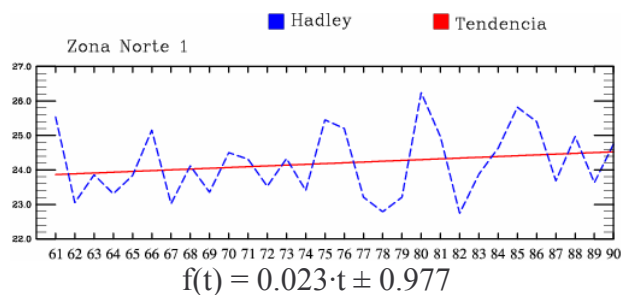
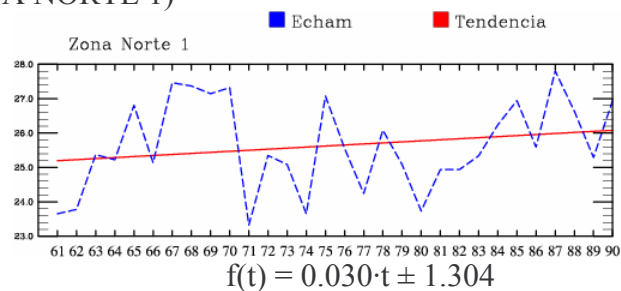
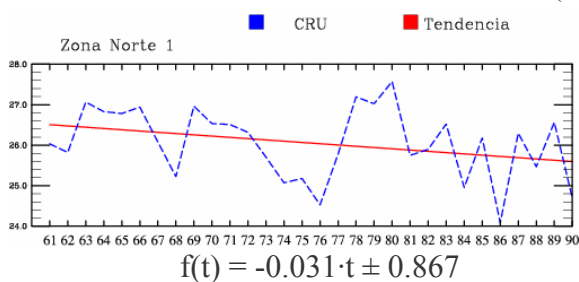
El modelo ECHAM muestra para las zonas del sur una tendencia que señala un incremento en la temperatura, y el año de 1987 para las tres zonas del sur como el año con la temperatura más alta

del periodo de estudio, sin embargo la zona sur 3 tiene otro máximo de temperatura en 1969, mientras que el año con la menor temperatura para toda la zona sur de acuerdo al modelo fue 1971.

Para la zona sur el modelo HADLEY simuló una tendencia que indica un incremento en la temperatura a lo largo del período de estudio, así como 1980 como el año con la temperatura más calida en las zonas sur 1 y 2, no obstante la zona sur 3 muestra que 1980-81 y 1988 son años con temperatura más alta. Y el año en que la temperatura fue mínima para las zonas sur 2 y 3 es 1967, y en la zona sur 1 fue 1961.

Las tendencias de temperatura que simularon los modelos para la zona norte y centro de manera general no coinciden con las tendencias de la base de datos observados CRU, y únicamente muestran similitud los modelos ECHAM y HADLEY con las tendencias de CRU en las zonas del sur, para el mes de julio.

JULIO (ZONA NORTE 1)



JULIO (ZONA NORTE 2)

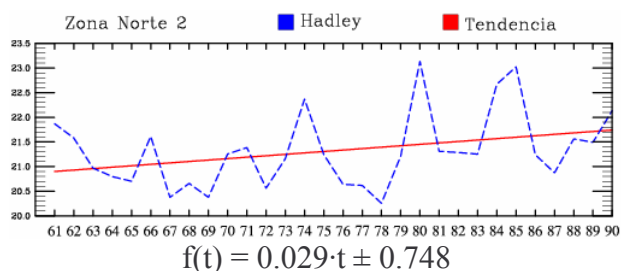
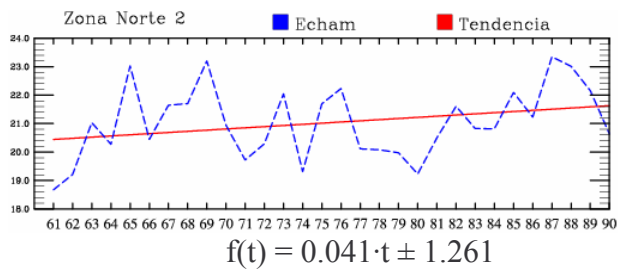
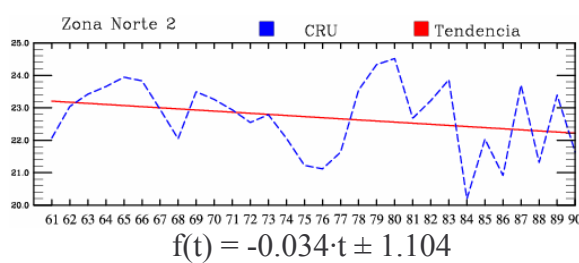
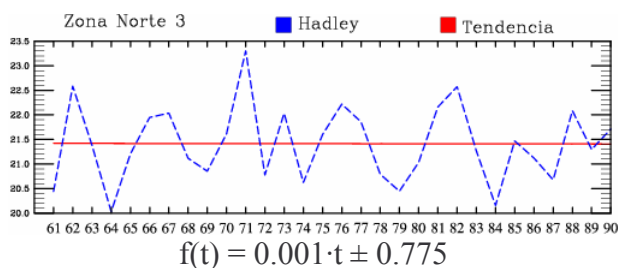
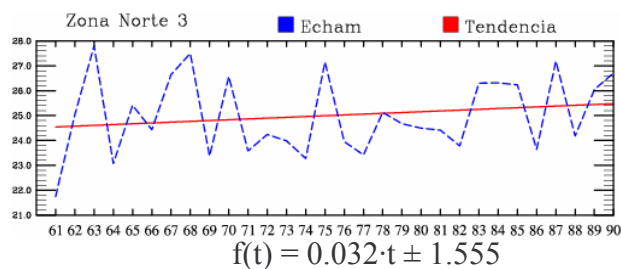
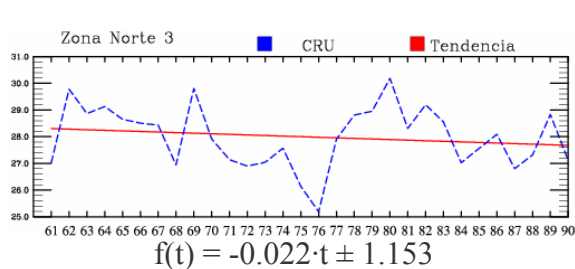


Figura 6.52 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la regiones geográficas Norte 1 y Norte 2, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante julio, en el periodo de 1961 a 1990.

JULIO (ZONA NORTE 3)



JULIO (ZONA CENTRO 1)

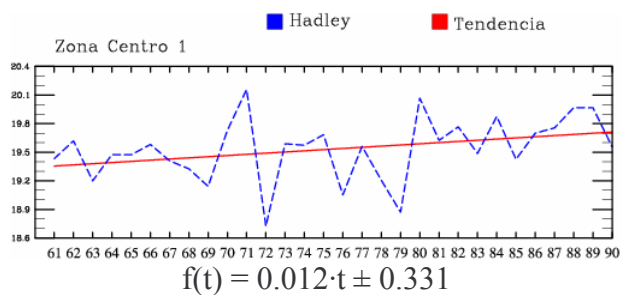
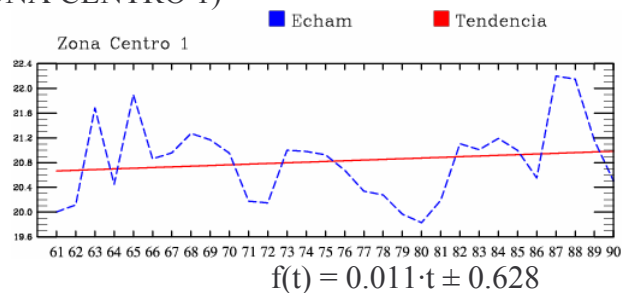
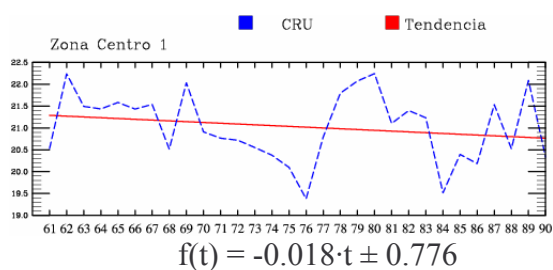
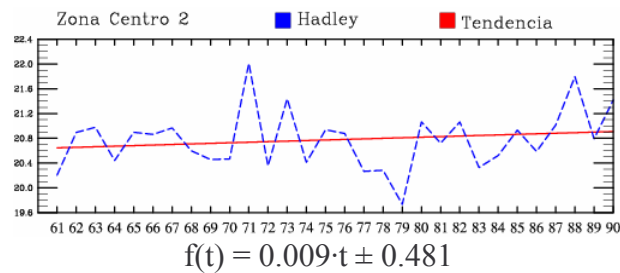
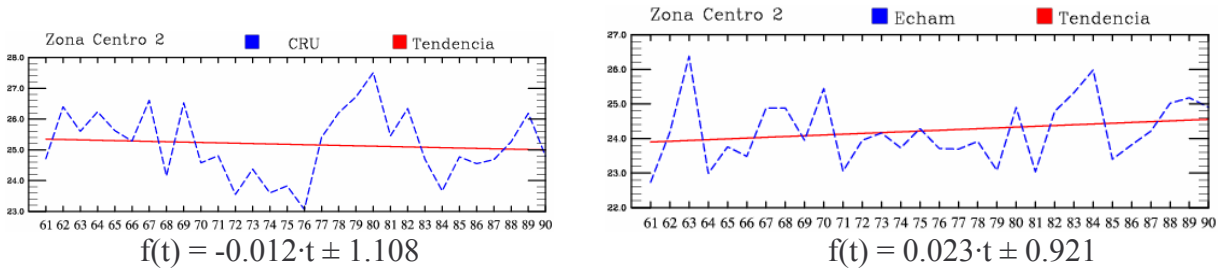


Figura 6.53 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la regiones geográficas Norte 3 y Centro 1, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante julio, en el periodo de 1961 a 1990.

JULIO (ZONA CENTRO 2)



JULIO (ZONA CENTRO 3)

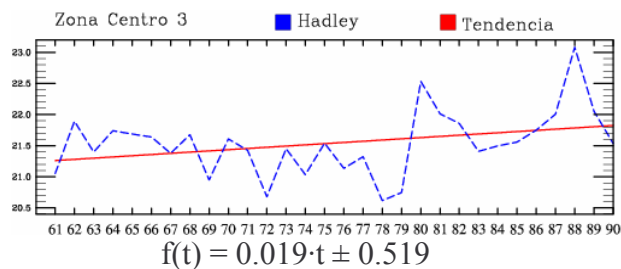
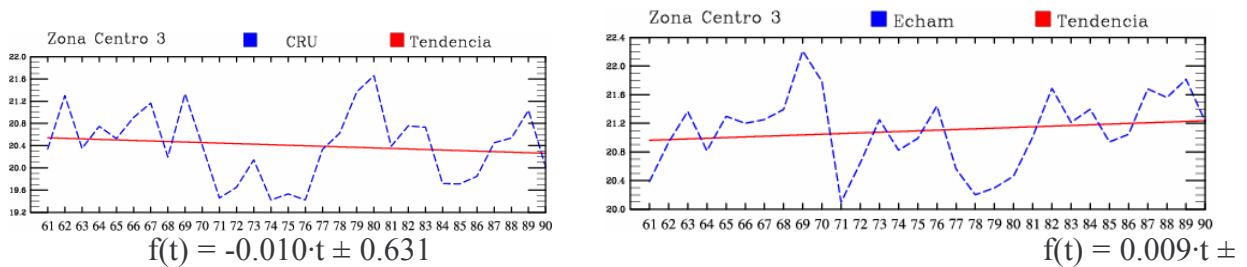
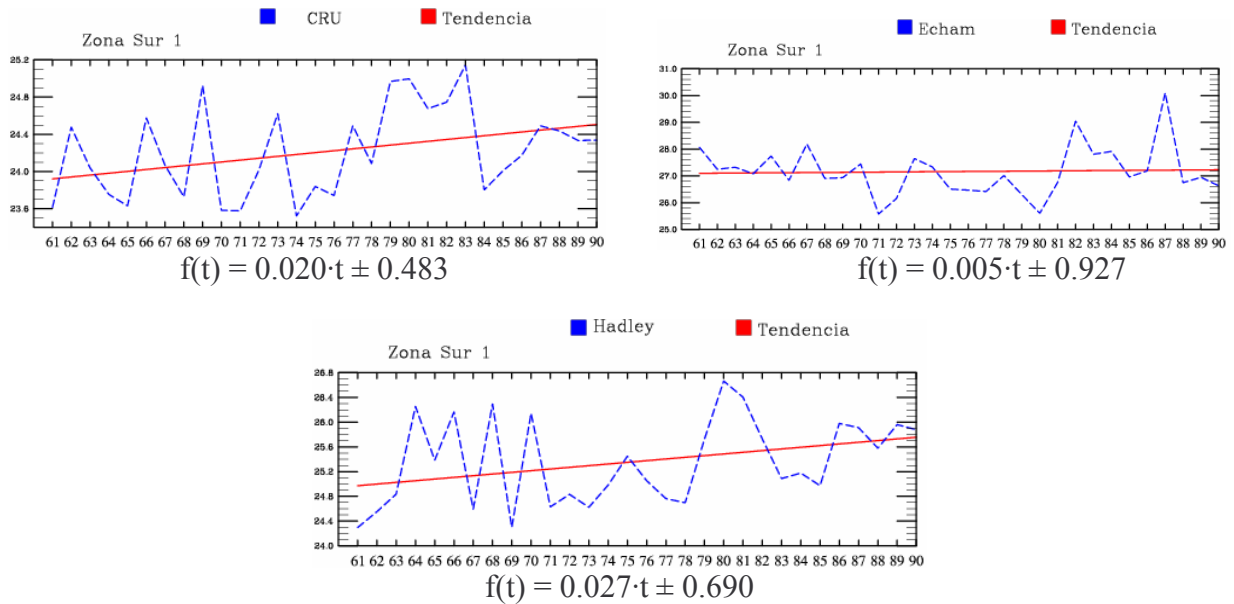


Figura 6.54 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la regiones geográficas Centro 2 y Centro 3, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante julio, en el periodo de 1961 a 1990.

JULIO (ZONA SUR 1)



JULIO (ZONA SUR 2)

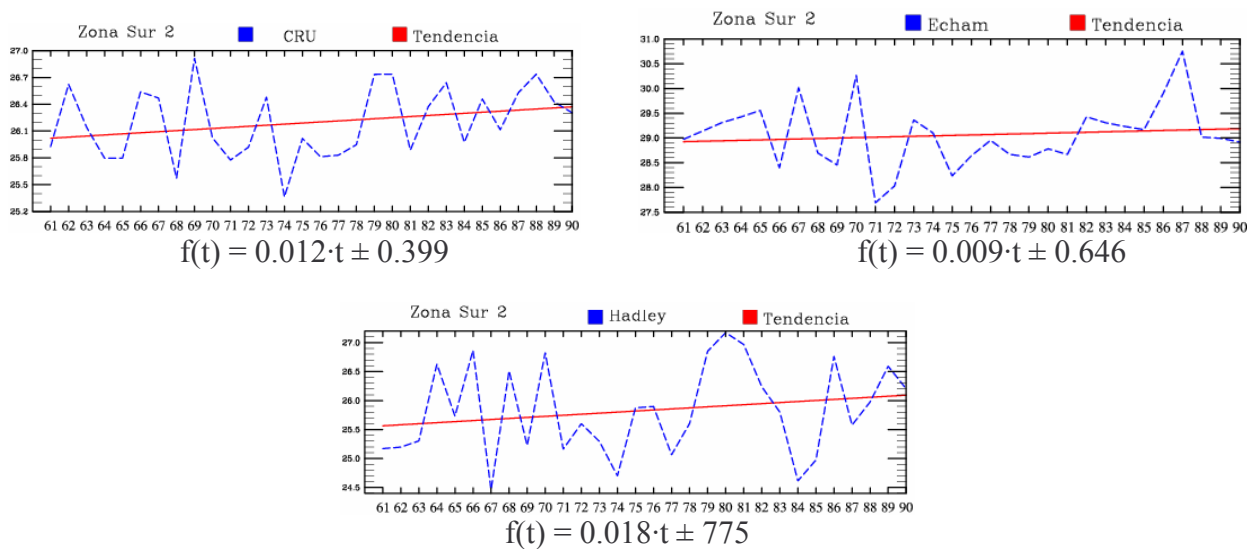


Figura 6.55 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la regiones geográficas Sur 1 y Sur 2, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante julio, en el periodo de 1961 a 1990.

JULIO (ZONA SUR 3)

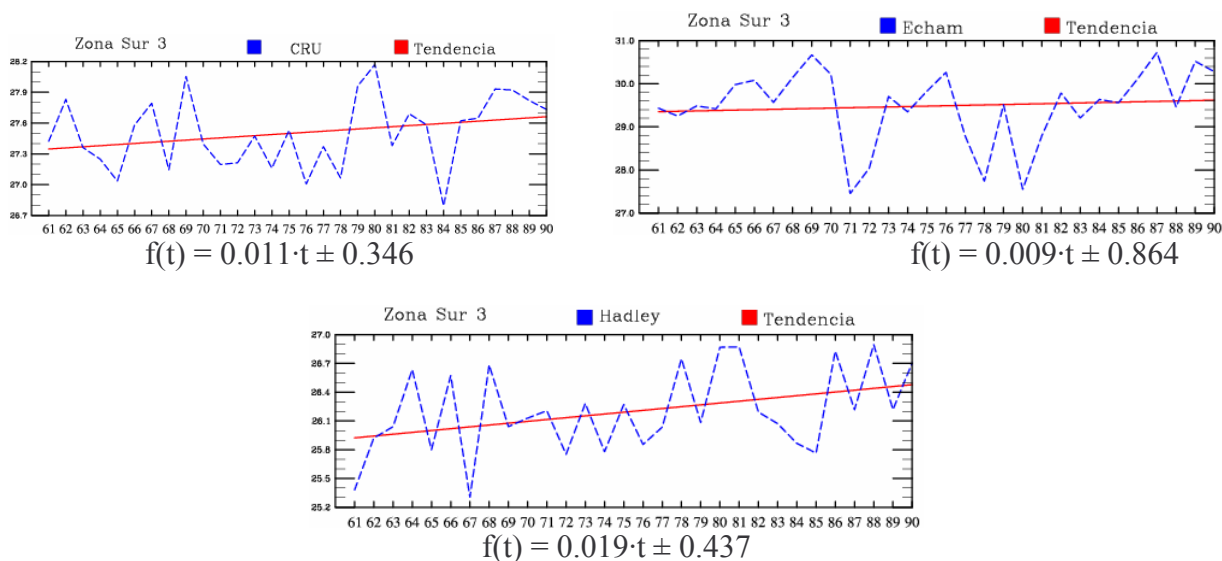


Figura 6.56 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la región geográfica Sur 3, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante julio, en el periodo de 1961 a 1990.

En la figura 6.57 se presentan los mapas con las tendencias de temperatura de la base de datos observados CRU, el promedio de quince modelos del IPCC representado como tal, y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC) que también son parte del IPCC, para el mes de julio, para el periodo de referencia de 1961-1990.

Para este mes la base de datos CRU indica tendencias negativas para la mayor parte del país, desde el norte hasta el centro de la República Mexicana, con tendencias mayores en el noroeste, mientras que en el sur y en el Istmo de Tehuantepec se observan tendencias que señalan un aumento de la temperatura al igual que en la Península de Yucatán con excepción de una pequeña región en el suroeste de la misma que tiene tendencias negativas.

Las simulaciones del promedio de los modelos, es decir, el IPCC presenta tendencias que muestran un aumento de la temperatura en todo México, con valores de tendencia mayores en el noroeste, sureste y la Península de Yucatán.

El modelo ECHAM simuló tendencias negativas en el norte, principalmente en el noreste Mexicano, y tendencias positivas en el centro, sur, sureste, así como en el sur de la Península de Yucatán aunque estas tendencias positivas son mayores en el sureste del país.

El modelo HADLEY por su parte muestra tendencias similares al IPCC, ya que tiene tendencias positivas en toda la República Mexicana, siendo estas más intensas en el norte del país, principalmente en el noreste donde alcanzan valores superiores a 1°C.

Los modelos ECHAM y HADLEY así como el promedio de los modelos coinciden con las tendencias positivas que tiene la base de datos observados CRU en el sur, sureste y la Península de Yucatán, sin embargo el modelo ECHAM simula mejor las tendencias con respecto a CRU al mostrar tendencias negativas en el norte y altiplano tal como CRU.

JULIO

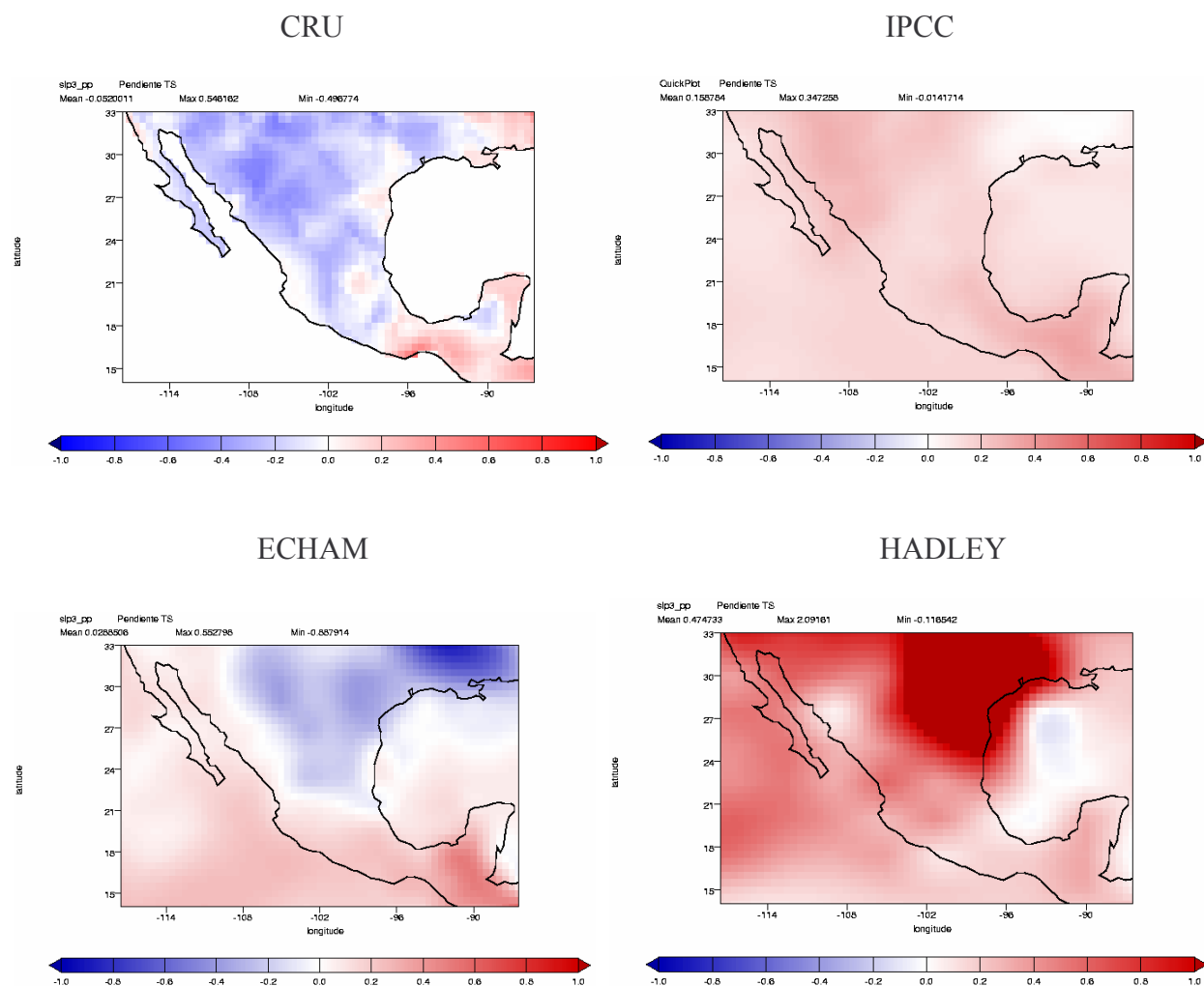


Figura 6.57 – Tendencia lineal de la temperatura ($^{\circ}\text{C}/\text{década}$) para dos modelos (ECHAM y HADLEY), el promedio de quince modelos del IPCC, y la base de datos observados CRU, para el periodo 1961-1990.

En las figuras 6.59-6.62 se muestran las gráficas con las tendencias lineales de temperatura para la base de datos observados CRU y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC) del IPCC que se eligieron a partir de una validación estadística, para el mes de octubre en el periodo 1961-1990.

Los datos observados de CRU tiene en las zonas norte 1 y 2 una tendencia que muestra un decremento en la temperatura y la zona norte 3 un tendencia que muestra un ligero incremento en la temperatura. El año que presentó la temperatura más cálida en el período de estudio en la zona norte 1 es 1987, y en las zonas norte 2 y 3 es 1962 aunque la zona norte 2 tiene otro máximo de considerar en 1972. Sin embargo el año con la menor temperatura es 1976 para las tres zonas del norte.

El modelo ECHAM muestra para la región norte tendencias que señalan una disminución de la temperatura, siendo más significativa ésta disminución en las zonas norte 2 y 3. Para la zona norte 1 1989 fue el año con la mayor temperatura, en la zona norte 2 es 1970 y en la norte 3 es 1963. Y el año más frío de acuerdo al modelo en la zona norte 1 es 1969, en la norte 2 1983 y para la zona norte 3 se observan dos mínimos que son 1980 y 1983.

El modelo HADLEY por su parte simuló tendencias positivas, es decir, un aumento de la temperatura para las zonas del norte, con mayor intensidad para las zonas norte 1 y 2. Las zonas norte 1 y 2 presentan en 1989 un máximo de temperatura, indicando este año como el más cálido del período de estudio, y 1970 en la zona norte 3. Mientras que es señalado 1971 como el año con la menor temperatura en toda la región norte.

En la región centro CRU tiene tendencias en general al incremento de la temperatura, con un pico de temperatura máxima para las zonas centro 1 y 2 en 1962 y en la zona centro 3 en 1969, así como 1976 como el año con la menor temperatura en las zonas centro 1 y 2, y 1974 para la zona centro 3.

El modelo ECHAM simuló en general una tendencia negativa, que indica una disminución de la temperatura para la zona centro. El año con la máxima temperatura de acuerdo a la simulación hecha por el modelo fue 1963 para las tres zonas centro, aunque a zona centro 3 presenta otros máximos importantes en 1970 y 1973. Mientras que el año con el mínimo de temperatura en la zona centro 1 es 1980 y en las zonas centro 2 y 3 es 1966.

Para la zona centro el modelo HADLEY, muestra una tendencia positiva en las zonas centro 1 y 3, y negativa para la zona centro 2. Este modelo considera 1989 como el año más cálido en la zona centro 1, y 1983 para las zonas centro 2 y 3, y se observa que 1971 es el año que tiene la menor temperatura en las zonas centro 1 y 2 según el modelo, y 1974 para la zona centro 3.

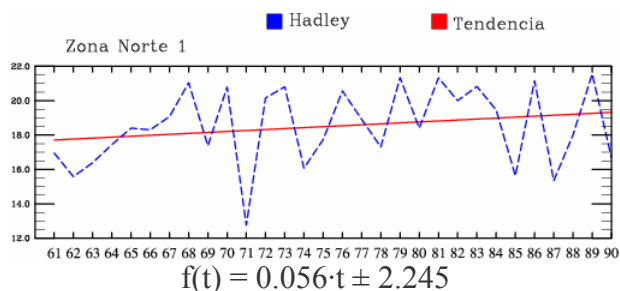
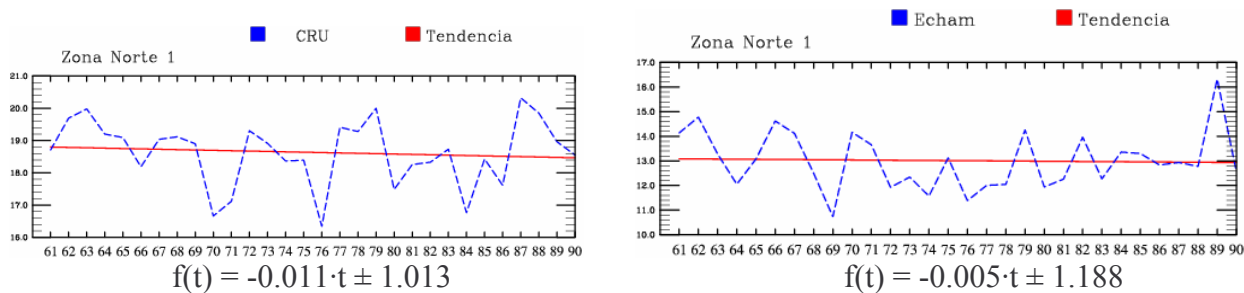
La base de datos observados de CRU en la zona sur tiene una tendencia que indica un aumento de la temperatura, observándose que 1984 fue el año con la mayor temperatura en las zonas sur 1 y 2, y 1962 en la zona sur 3. El año con el mínimo de temperatura fue 1963 en las zonas sur 1 y 2, y 1974 en la zona sur 3.

En las tres zonas del sur el modelo ECHAM muestra un decremento en la temperatura, con un pico máximo de la misma en 1964 en las tres zonas, mientras que la menor temperatura se observa en 1977 en las zonas sur 1 y 2, y en 1983 en la zona sur 3.

El modelo HADLEY por su parte simuló una tendencia positiva para las zonas sur 1 y 2, y de disminución de la temperatura para la zona sur 3. Las tres zonas del sur presentan a 1972 como el año con la mayor temperatura, y 1971 como el año con la menor temperatura en las zonas sur 1 y 2, y 1978 para la zona sur 3.

El modelo ECHAM es el que mejor simuló las tendencias de la zona norte para el mes de octubre coincidiendo con la tendencia de CRU en las zonas norte 1 y 2, mientras que el modelo HADLEY solo lo hizo en la zona norte 3, sin embargo en la zona centro los dos modelos fueron muy malos en simular las tendencias de CRU, y únicamente el modelo HADLEY concordó con CRU en la zona centro 1. Y para la zona sur el modelo HADLEY fue el mejor en realizar las simulaciones de la tendencia al coincidir con CRU para las zonas sur 1 y 2.

OCTUBRE (ZONA NORTE 1)



OCTUBRE (ZONA NORTE 2)

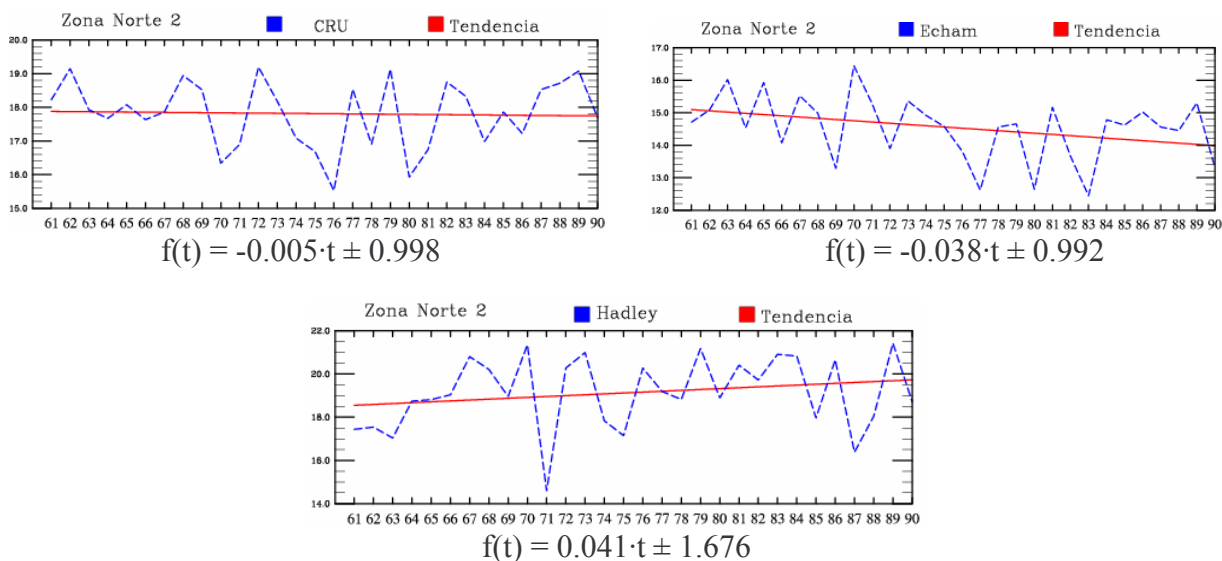
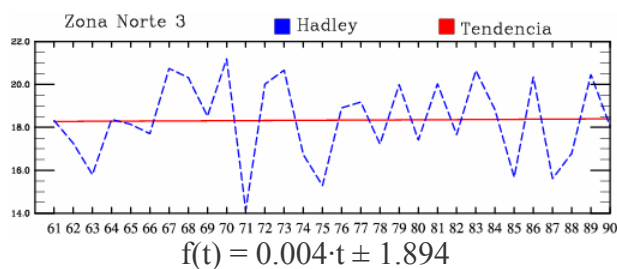
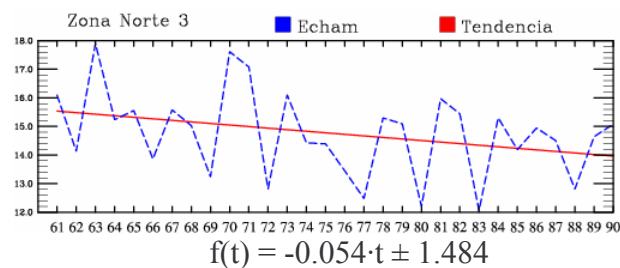
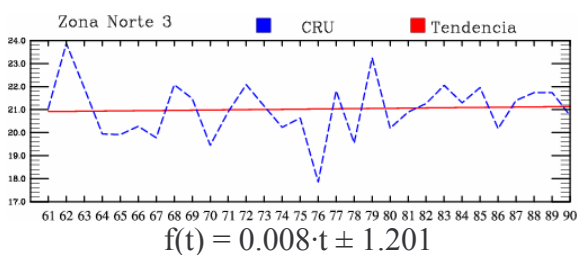


Figura 6.58 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en las regiones geográficas Norte 1 y Norte 2, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante julio, en el periodo de 1961 a 1990.

OCTUBRE (ZONA NORTE 3)



OCTUBRE (ZONA CENTRO 1)

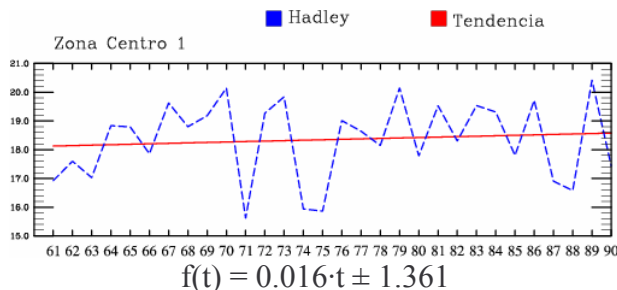
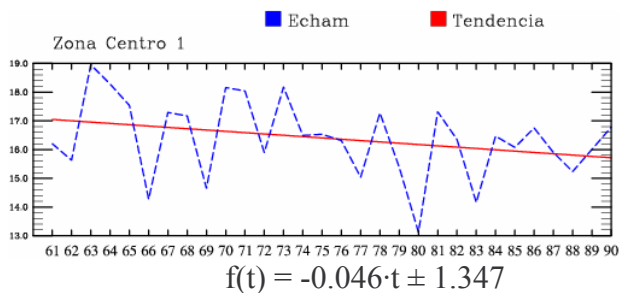
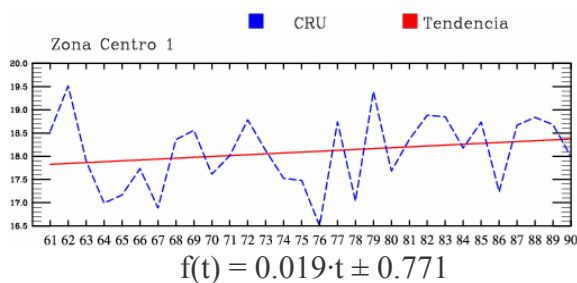
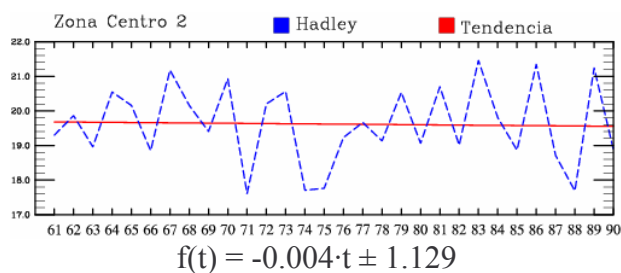
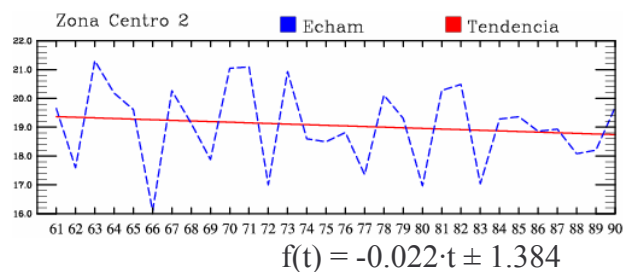
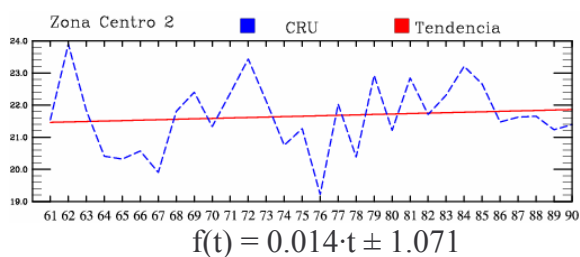


Figura 6.59 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la regiones geográficas Norte 3 y Centro 1, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante octubre, en el periodo de 1961 a 1990.

OCTUBRE (ZONA CENTRO 2)



OCTUBRE (ZONA CENTRO 3)

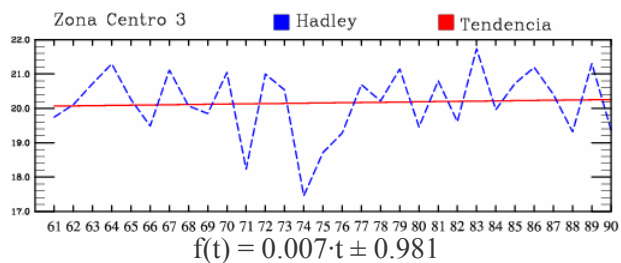
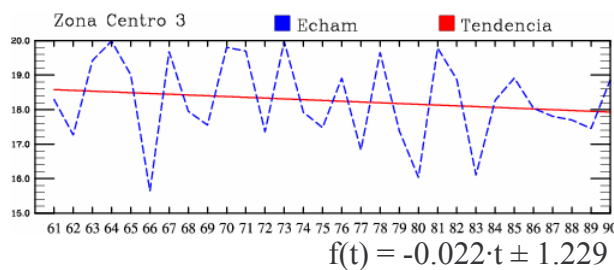
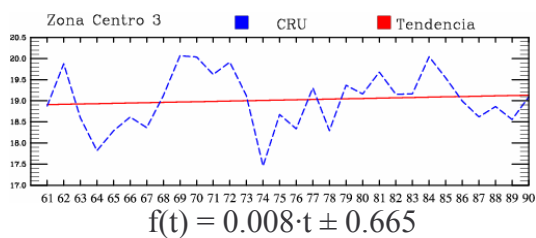
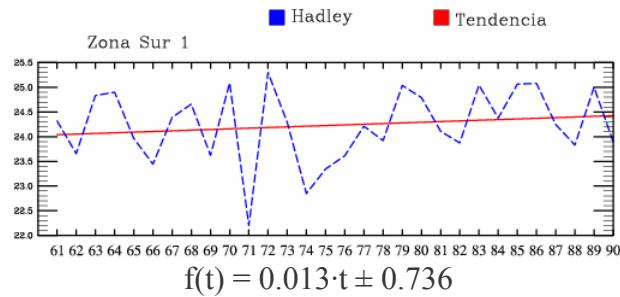
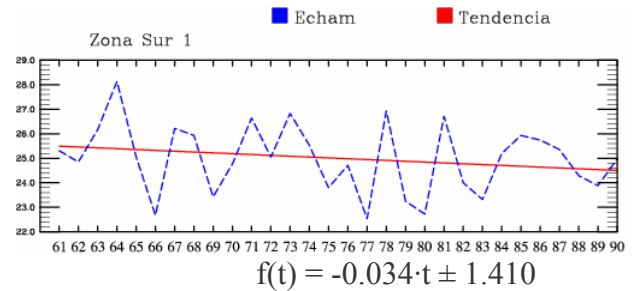
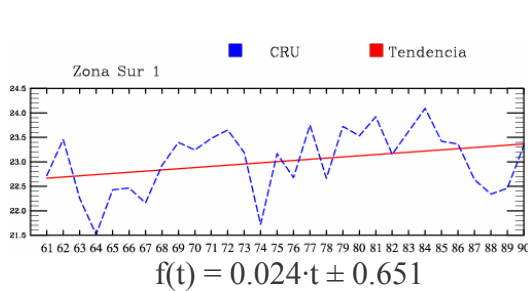


Figura 6.60 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la regiones geográficas Centro 2 y Centro 3, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante octubre, en el periodo de 1961 a 1990.

OCTUBRE (ZONA SUR 1)



OCTUBRE (ZONA SUR 2)

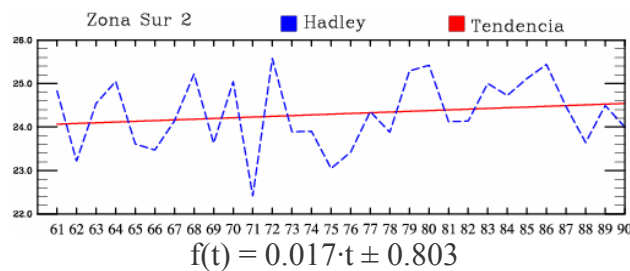
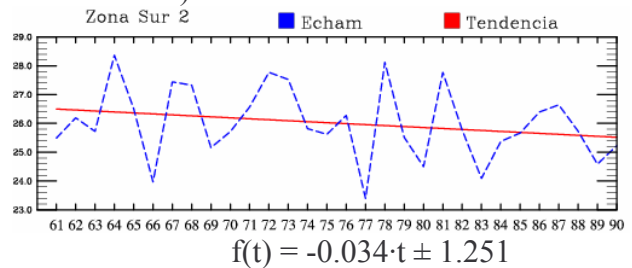
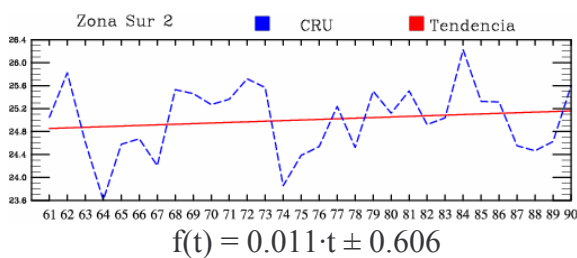


Figura 6.61 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la regiones geográficas Sur 1 y Sur 2, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante octubre, en el periodo de 1961 a 1990.

OCTUBRE (ZONA SUR 3)

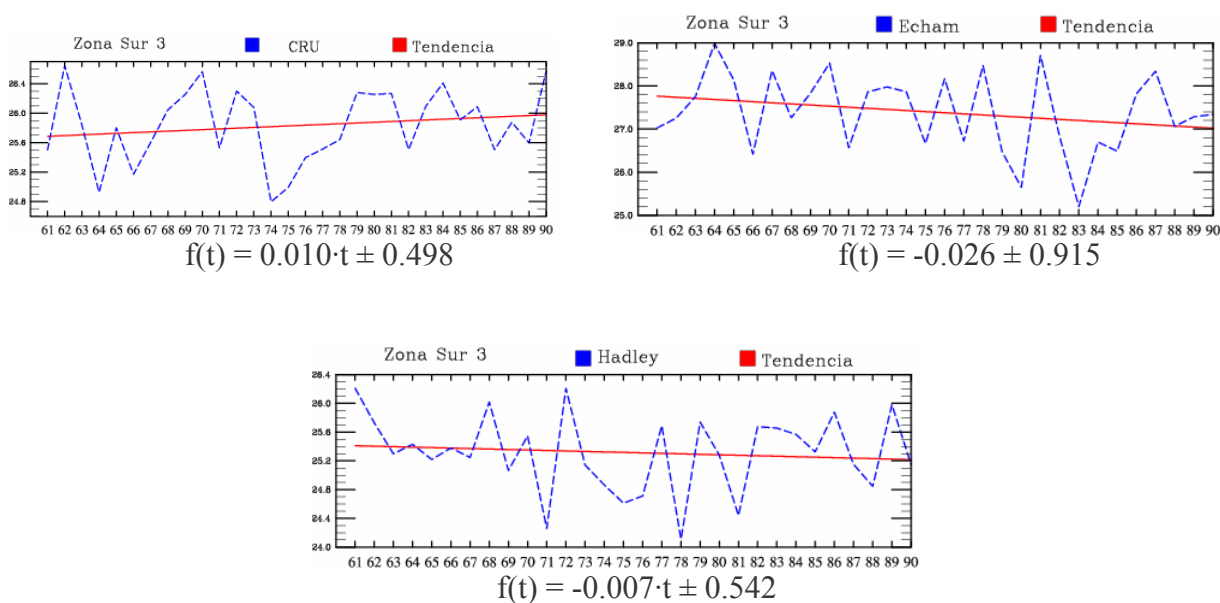


Figura 6.62 – Tendencias lineales de temperatura (°C) en la región geográfica Sur 3, para la base de datos CRU y los modelos ECHAM y Hadley durante octubre, en el periodo de 1961 a 1990.

En la figura 6.63 se presentan los mapas con las tendencias de temperatura de la base de datos observados CRU, el promedio de quince modelo representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC) que también son parte del IPCC, para el período 1961-1990.

Para este mes se observa una tendencia negativa en una pequeña área del centro y en el suroeste de la Península de Yucatán, aunque las tendencias negativas más importantes se encuentran en el noroeste de la República Mexicana, y para el resto del país se tienen tendencias que señalan un aumento de la temperatura.

El IPCC como promedio de los modelos muestra una ligera tendencia positiva para la mayor parte de México, siendo más intensa en el noroeste, lo cual es contrario a lo que señala CRU, y solo presenta tenues tendencias negativas en el noreste del país.

El modelo ECHAM por su parte simuló tendencias que indican un aumento de la temperatura para toda la República Mexicana, aunque estas tendencias son mayores en el noroeste. Dicho modelo muestra en el noreste una pequeña zona con tendencias que señalan una disminución de la temperatura, y para el estado de Tamaulipas no se aprecia una tendencia de temperatura significativa.

El modelo HADLEY presenta de manera casi similar al modelo ECHAM tendencias positivas, es decir, que señalan un incremento en la temperatura, observándose que dichas tendencias son mayores en el norte de México, principalmente en los estados de Nayarit, Sinaloa, Durango y sur de Sonora y Chihuahua, ya que en centro, sur, sureste y la Península de Yucatán las tendencias se encuentran alrededor de los 0.2 °C.

OCTUBRE

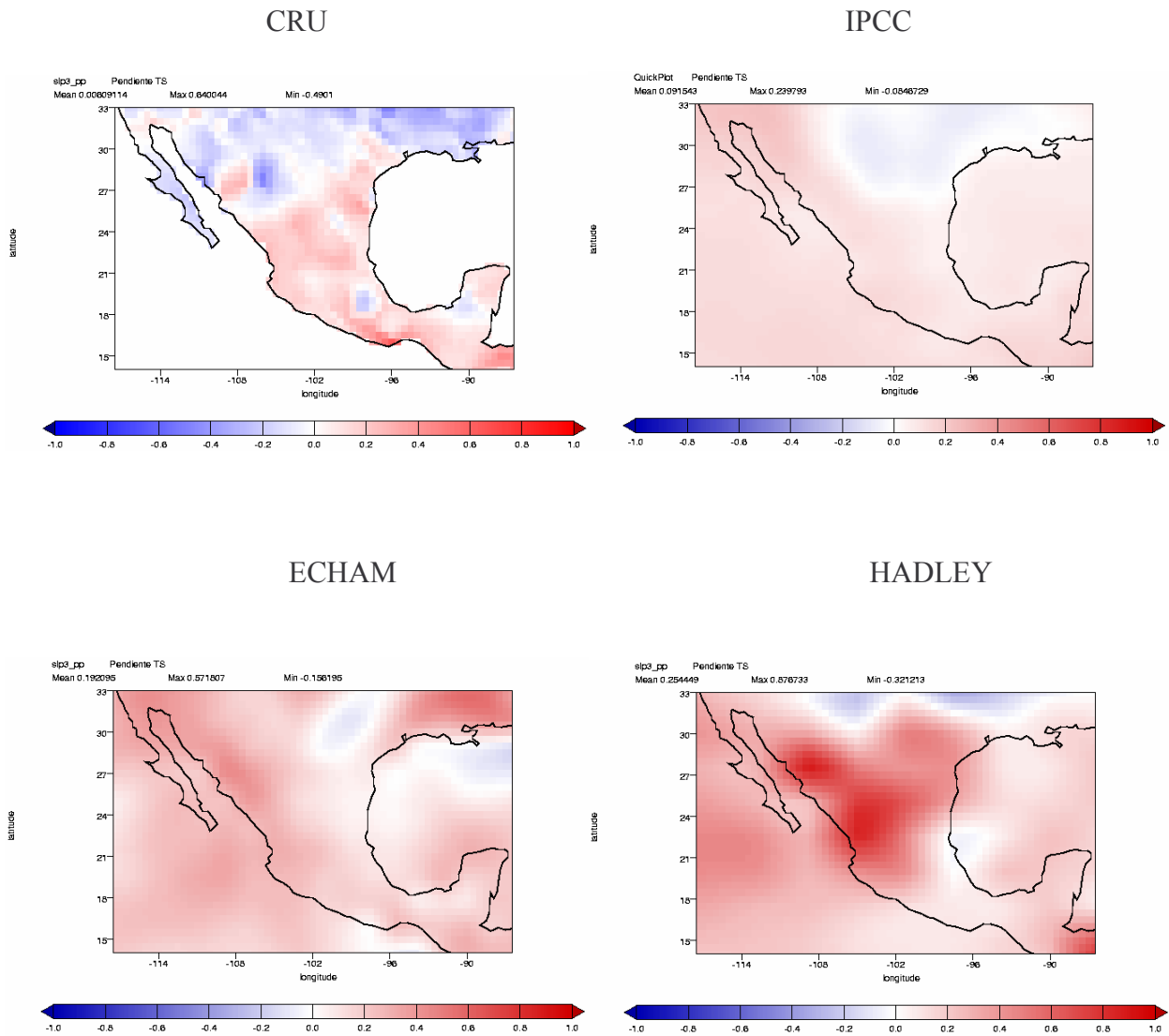


Figura 6.63 – Tendencia lineal de la temperatura (°C/década) para dos modelos (ECHAM y HADLEY), el promedio de quince modelos del IPCC, y la base de datos observados CRU, para el período 1961-1990.

6.4 *Proyección de tendencias climáticas (2010-2098)*

6.4.1 Precipitación 2010-2039

En la figura 6.64 se muestra la climatología de precipitación (mm/día) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y UHADC (HADLEY), para el período 2010-1039 en nueve zonas geográficas.

En la zona norte las simulaciones de los modelos muestran el máximo de precipitación en el mes de agosto. En la climatología de precipitación se observa en la zona norte que el modelo ECHAM tiene los valores más altos de precipitación en las zonas norte 1 y 2, y con la mayor diferencia respecto al IPCC y el modelo UHADC en los meses de julio, agosto y septiembre, mientras que la menor precipitación se espera en los meses de abril y mayo. El modelo UHADC tiene de manera general un comportamiento similar al IPCC, aunque este modelo es el que presenta los menores valores de precipitación respecto a ECHAM e IPCC, sobre todo en los meses de enero a marzo y de octubre hasta diciembre, en toda la región norte. Por lo tanto los valores de precipitación del IPCC se ubican en medio de los modelos ECHAM y UHADC en las zonas norte 1 y 2, ya que en la zona norte 3 el promedio de los modelos tiene los valores mayores, y el modelo ECHAM los menores, en ésta zona se muestran dos picos de máxima precipitación en los meses de junio y septiembre.

En la región centro se tienen dos máximos de precipitación en los meses de junio y septiembre para las zonas centro 2 y 3, ya que en la zona centro 3 el máximo se observa en julio y agosto. En las zonas centro 1 y 2 el IPCC a diferencia de la zona norte es el que presenta los valores más altos de precipitación, y en la zona centro 3 su climatología se ubica entre los modelos ECHAM y UHADC. El modelo UHADC presenta la menor precipitación para la zona centro 1 y 3, ya que en la zona centro 2 simula una precipitación similar al IPCC de mayo hasta octubre, sin embargo continua manteniendo valores inferiores en los meses de enero-marzo y en noviembre y diciembre. El modelo ECHAM tiene un comportamiento particular ya que en la zona centro 1 tiene valores que se ubican entre el IPCC y el modelo UHADC, mientras que en la zona centro 2 su climatología esta por debajo del promedio de los modelos y UHADC, y en la zona centro 3 la climatología de este modelo tiene valores mayores al IPCC y UHADC. Sin embargo tanto los modelos como el promedio de los mismos siguen una trayectoria similar en toda la región centro.

En la región sur los meses en que se observa serán los de mayor precipitación son junio y septiembre, y llegan a simular adecuadamente la sequía intraestival. En la zona sur las diferencias entre los valores climatológicos de los modelos ECHAM y UHADC y el IPCC son menores en casi todos los meses, excepto entre julio-septiembre en las zonas sur 1 y 2 principalmente, ya que en la zona sur 3 los máximos de precipitación se observan en junio como

en las zonas anteriores, sin embargo el segundo máximo de presenta en octubre y es en este mes en que se tienen las mayores diferencias. El modelo ECHAM tiene de manera general los mayores valores de precipitación, y el modelo UHADC muestra los valores menores en la mayoría de los meses, menos en junio. El modelo UHADC como en las zonas del norte y centro en la zona sur se mantiene por debajo de ECHAM y el IPCC durante la temporada climática de invierno.

De forma general se logra apreciar una disminución de la precipitación en las zonas del centro y sur, así como un aumento de la misma en el norte, de acuerdo a las simulaciones hechas por los modelos ECHAM y UHADC y por el promedio de quince modelos, para el escenario futuro correspondiente al período 2010-2039.

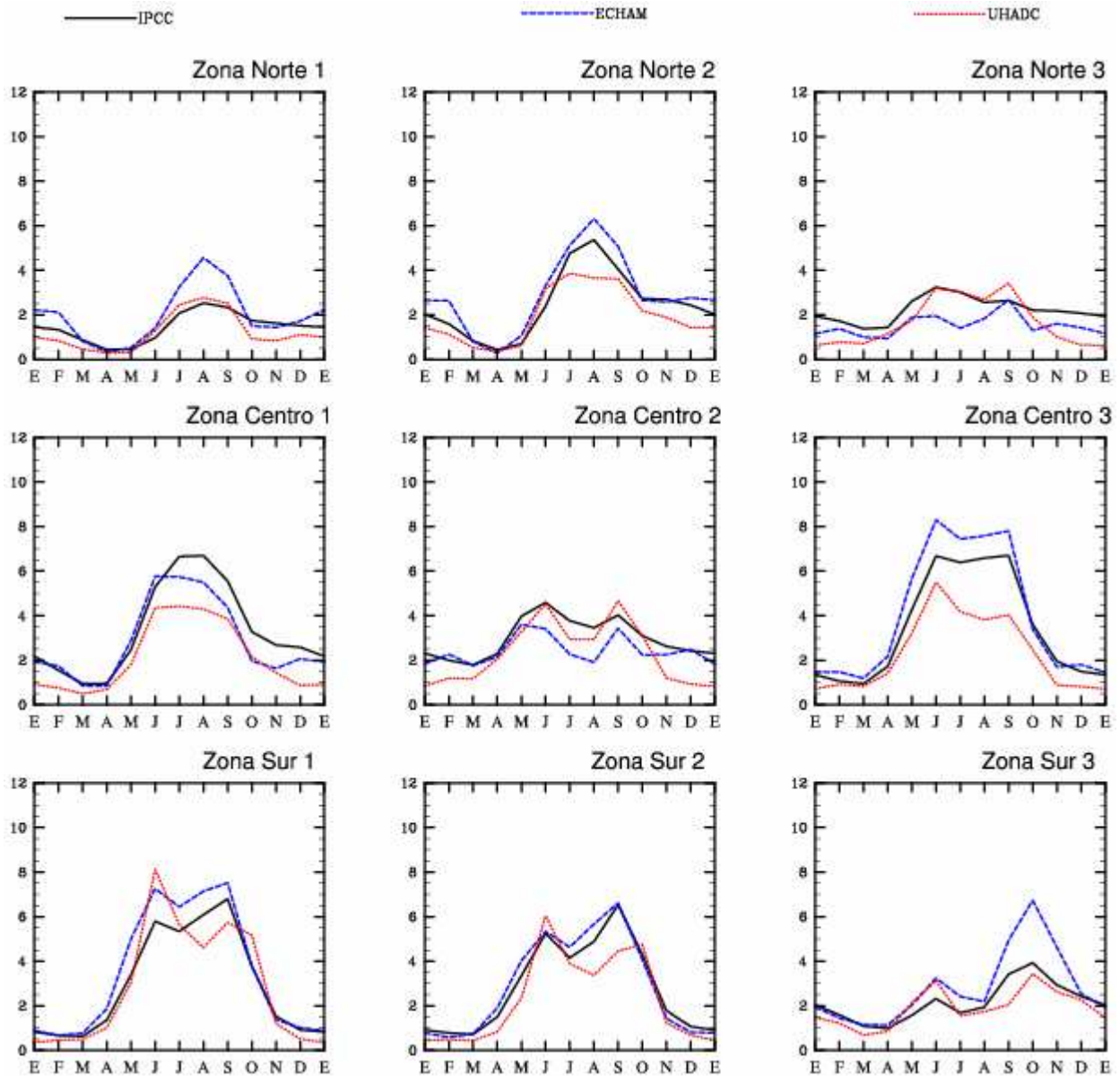


Figura 6.64 – Promedio climatológico mensual de la precipitación (mm/día) para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el escenario 2010-2039.

En la figura 6.65 se presentan las tendencias de precipitación (mm/decada) para el promedio de los modelos el IPCC y los modelos ECHAM y UHADC (HADLEY), en el período 2010-2039, para nueve zonas geográficas.

En la zona norte el promedio de los modelos de manera general no presenta una tendencia marcada, ya que se mantiene alrededor de cero, principalmente en las zonas norte 1 y 3. El modelo ECHAM tiene por su parte tendencias positivas para la mayoría de los meses siendo más significativa en abril-mayo y de agosto hasta noviembre en la zona norte 1. El modelo UHADC simula tendencias mayormente negativas aunque muestra en los meses de julio y diciembre la tendencia es máxima y positiva para la zona norte 1. En la zona norte 2 el modelo ECHAM muestra una tendencia positiva para los meses de enero, marzo-mayo y julio-octubre y negativa en el resto de los meses. Sin embargo la máxima tendencia positiva se observa en mayo y septiembre y la negativa en febrero y diciembre. En la zona norte 2 el modelo UHADC tiene tendencias positivas en julio, septiembre y diciembre y negativas en abril, agosto y noviembre, el modelo no muestra una tendencia más inclinada hacia una dirección únicamente presenta picos de tendencia máxima y mínima significativos en los meses que se mencionaron anteriormente.

Las tendencias del modelo ECHAM en la zona norte 3 son positivas para los meses de enero, mayo y de julio hasta octubre, y negativas en febrero, junio y noviembre-diciembre, sin embargo no se puede definir una dirección general de la tendencia para esta zona. El modelo UHADC por su parte tiene una tendencia positiva para los meses mayo y junio y negativa para el resto de los meses con un pico mínimo en agosto así como en octubre y noviembre, por lo que este modelo tiene una tendencia negativa para la zona norte 3.

Las tendencias para la zona centro del IPCC son principalmente negativas, y de manera similar para modelo UHADC, sin embargo este muestra picos de tendencia positiva en los meses de septiembre en la zona centro 1 y mayo en la centro 2 y 3. Y los mínimos de precipitación se observan en noviembre en la zona centro 1, abril y octubre en la centro 2 y noviembre-diciembre en la centro 3. El modelo ECHAM también presenta en la mayoría de los meses una tendencia negativa sobre todo en febrero, junio y noviembre en las tres zonas del centro. Mientras que las tendencias positivas se observan en enero y julio en la zona centro 1, en mayo, julio y agosto en la centro 2 y agosto, octubre y diciembre en la zona centro 3.

En la zona sur las tendencias en general de los modelo ECHAM y UHADC así como también del promedio de los modelo el IPCC son negativas en toda la región sur. Sin embargo el modelo UHADC muestra un comportamiento singular al tener un pico de máxima precipitación en mayo en las tres zonas del sur, y un pico de mínima precipitación en octubre en las zonas sur 1 y 2, y en septiembre para la zona sur 3. El modelo ECHAM señala en las zonas sur 1 y 2 un máximo de precipitación para el mes de octubre, y en la zona sur 3 en junio, mientras que el mínimo de precipitación se observa en junio para las zonas sur 1 y 2 y en noviembre en la zona sur 3.

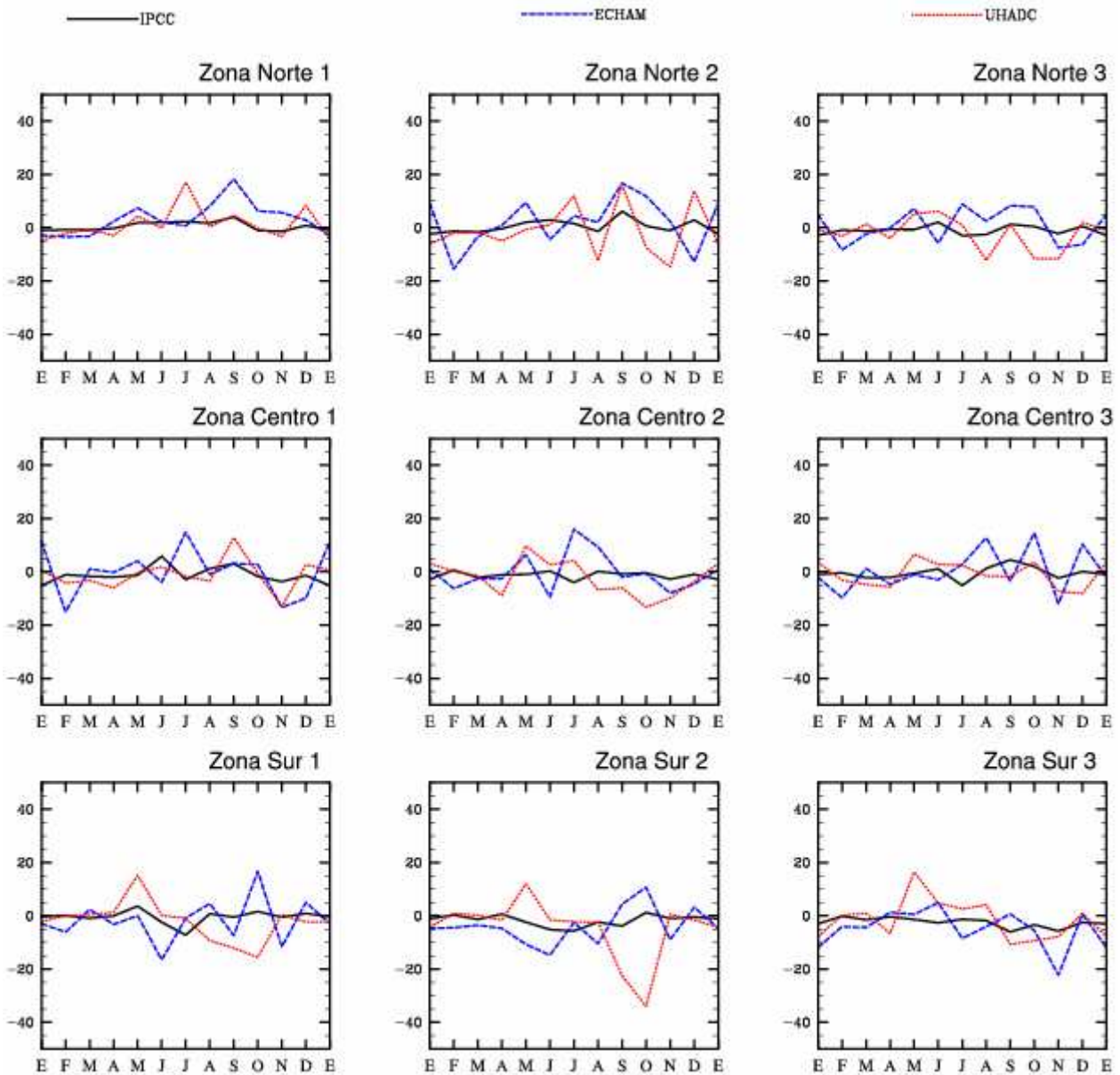


Figura 6.65 – Tendencia mensual de precipitación (mm/década) para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2010-2039.

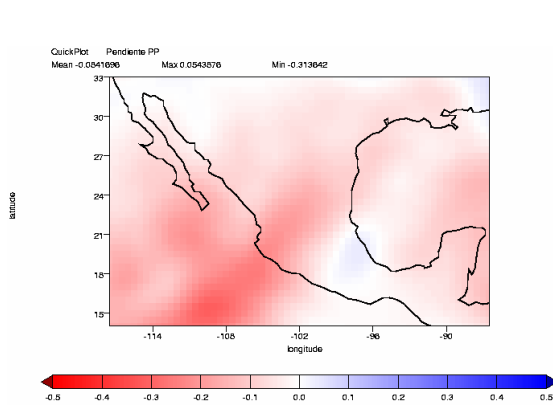
ENERO

En la figura 6.66 se presentan los mapas con las tendencias de precipitación del IPCC y los modelo ECHAM y HADLEY (UHADC) para el mes de enero, en el período 2010-2039.

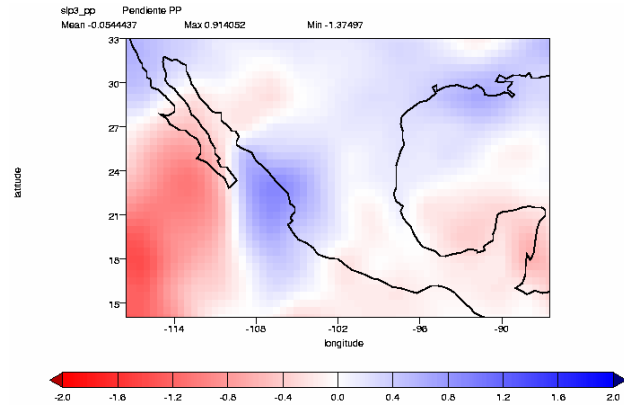
En el mapa con las tendencias de precipitación de enero del promedio de quince modelos se observan tendencias negativas, es decir, una disminución de la precipitación en toda la República Mexicana, siendo más intenso dicho decremento en el altiplano central y costas de Jalisco y Colima. La simulación del modelo ECHAM muestra tendencias positivas en el noreste y costas de Nayarit y Sinaloa, y para el resto del país se aprecia una tendencia que indica una menor precipitación principalmente en la Península de Yucatán y sur de Sonora, para el mes de enero.

El las tendencias del modelo HADLEY se observa que en el noreste y en las costas de Jalisco se espera un incremento en la precipitación, siendo mayores las tendencias positivas en el noreste de México, y en el noroeste y la Península de Yucatán se observan tendencias negativas que señalan un decremento en la precipitación en éste mes y para éste escenario futuro.

IPCC



ECHAM



HADLEY

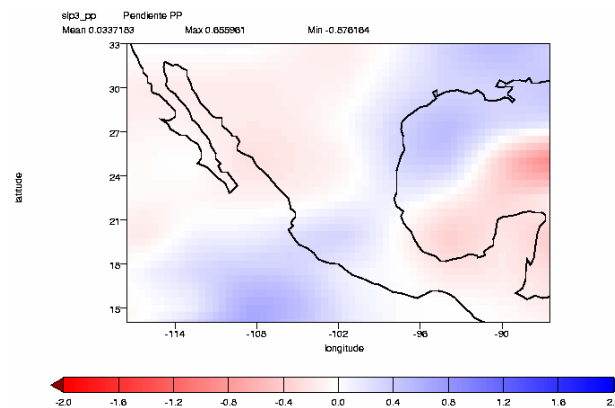


Figura 6.66 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY para el período 2010-2039.

ABRIL

En la figura 6.67 se presentan los mapas con la tendencia de precipitación para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el mes de abril y el período 2010-2039 como un escenario futuro de precipitación.

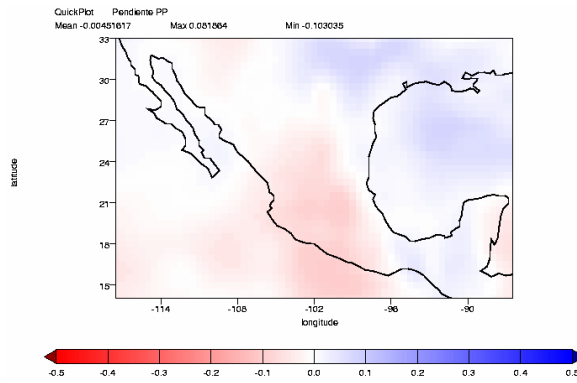
El promedio de la simulaciones hechas por quince modelos y representado como IPCC muestra para el mes de abril una tendencia negativa en el centro, altiplano y costas de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca, mientras que en el noreste y el Istmo de Tehuantepec, así como los estados de Chiapas y Tabasco se observa tenue tendencia positiva, y para el resto de la República Mexicana no se llega apreciar una tendencia marcada para una dirección ya sea positiva o negativa.

El modelo ECHAM presenta tendencias que indican una disminución en la precipitación las costas de Michoacán, Guerrero y Oaxaca, en el centro de la zona costera del estado de Veracruz, y en el sureste del país. Sin embargo en el norte de la Península de Yucatán y norte de México, principalmente en el noreste se observa una tendencia positiva, es decir un aumento de la precipitación para ésta zona. Y en la región del altiplano, centro, Istmo de Tehuantepec y sur de la Península de Yucatán no existe una tendencia de precipitación.

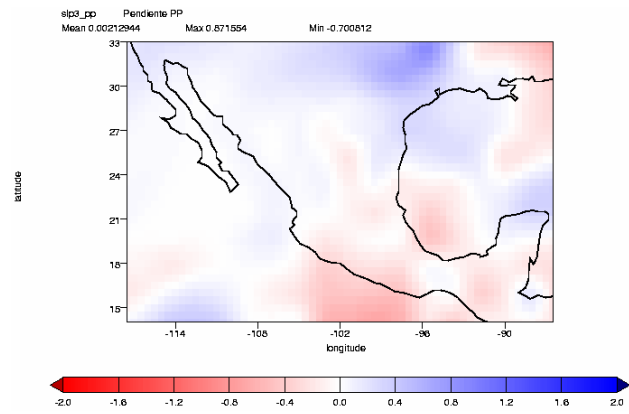
El modelo HADLEY muestra tendencias negativas en el centro y altiplano Mexicano, sin embargo en el noroeste, y la Península de Yucatán se observa una ligera tendencia negativa. Mientras que en el noreste, sur y sureste de México no se presenta una tendencia marcada hacia uno de los dos signos positivo o negativo.

ABRIL

IPCC



ECHAM



HADLEY

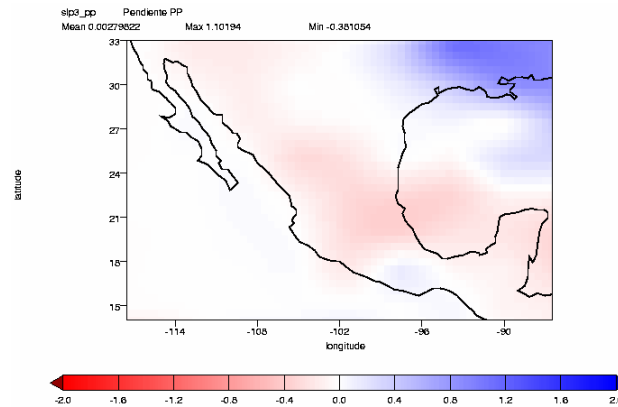


Figura 6.67 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2010-2039.

JULIO

En la figura 6.68 se presentan los mapas con la tendencia de precipitación para el IPCC, y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC) que también son parte del IPCC, para el mes de julio y para el período 2010-2039.

Para el mes de julio las tendencias de precipitación del IPCC son para el noreste, altiplano, centro, sur y sureste negativas, por lo que en estas zonas se espera una disminución de la precipitación, principalmente en el sur y sureste donde las tendencias son mayores de acuerdo a las simulaciones del promedio de los modelos, y en la Península de Yucatán aunque las tendencias no son tan marcadas si se aprecia un ligero decremento en la precipitación. En el noroeste por el contrario las tendencias son positivas, especialmente en la zona costera de Sinaloa.

Las tendencias del modelo ECHAM son en su mayoría positivas para este mes, en las costas de Nayarit y Sinaloa, así como también en las costas del Golfo de México y el altiplano Mexicano. En el Istmo de Tehuantepec, la Península de Yucatán, el sureste y en menor valor el noroeste, las tendencias de precipitación son negativas, sin embargo las tendencias mayores se ubican en el Istmo de Tehuantepec.

El modelo HADLEY tiene para el noroeste de la República Mexicana una tendencia positiva, sobre todo para el sur de estado de Sonora, que es donde se observan las mayores tendencias, y en menor medida en la zona costera del Golfo de México. En el noreste por el contrario las tendencias son ligeramente negativas, al igual que en el sur del estado de Chiapas.

JULIO

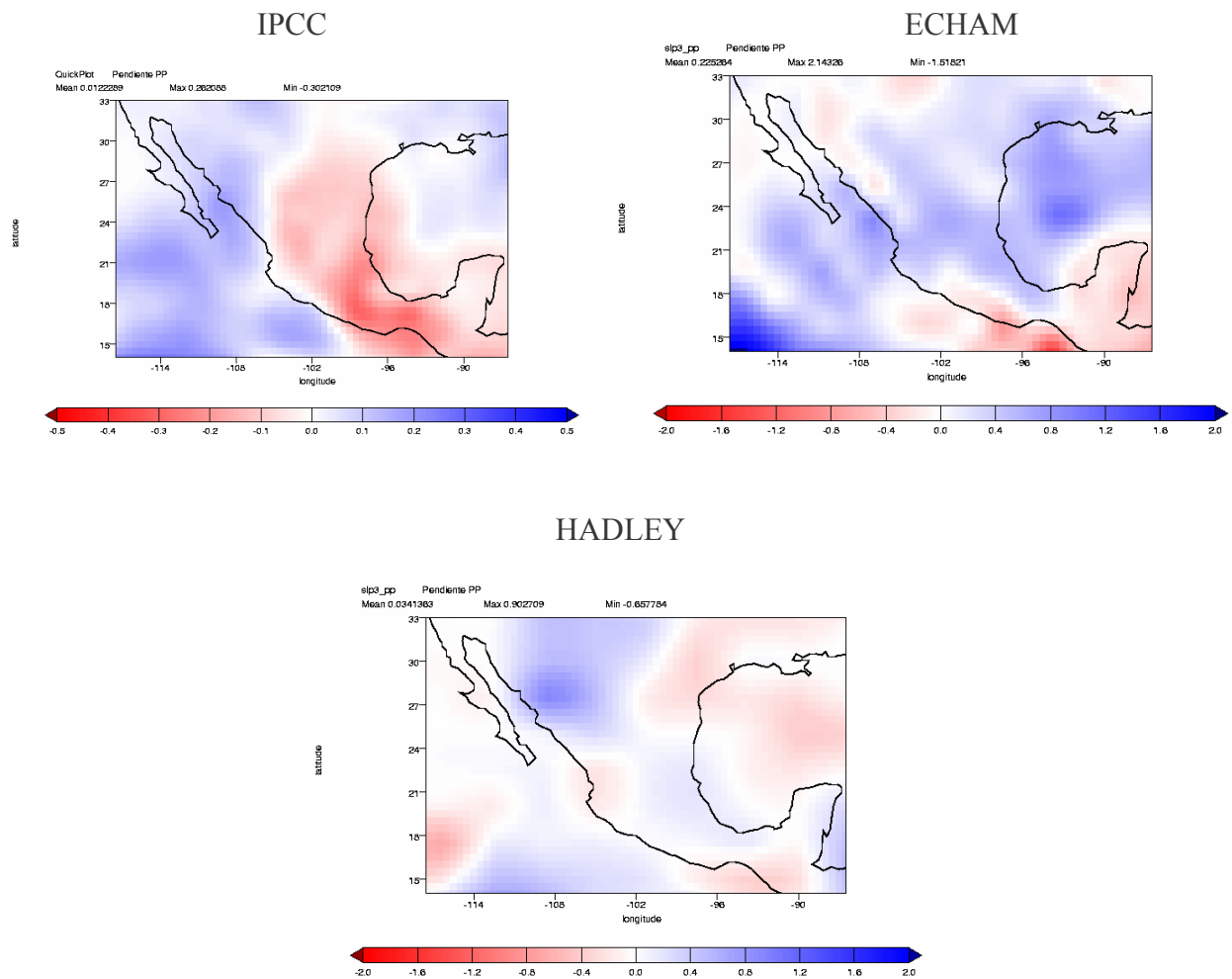


Figura 6.68 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2010-2039.

OCTUBRE

La figura 6.69 muestra los mapas con la tendencia de precipitación para el mes de octubre del IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el período 2010-2039.

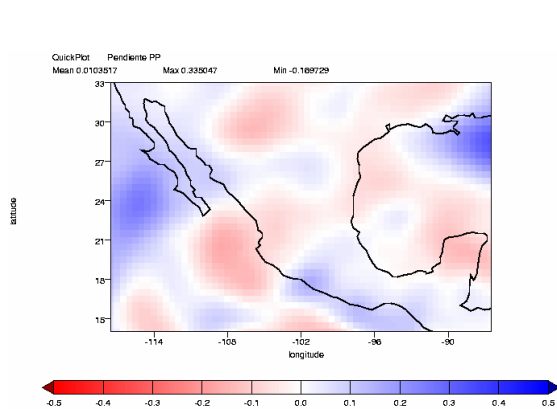
En el mes de octubre las tendencias de precipitación del IPCC para la República Mexicana señalan una disminución de la precipitación en la Península de Yucatán, en centro del estado de Chihuahua donde las tendencias son mayores, y en las costas de Nayarit y Tamaulipas. Y en la zona costera del noroeste, y de los estados de Guerrero y Oaxaca y el Golfo de Tehuantepec las tendencias son positivas, mientras que en el resto del país no existe una tendencia marcada positiva y negativa, ya que se mantiene alrededor de cero.

El modelo ECHAM en las costas de Oaxaca, Guerrero y Michoacán muestra una marcada tendencia positiva, y en menor cantidad en la zona costera del Golfo de México, norte y sureste de la República Mexicana, mientras que el norte de la Península de Yucatán tiene una tenue tendencia negativa. En el centro y altiplano Mexicano no existe una tendencia de precipitación.

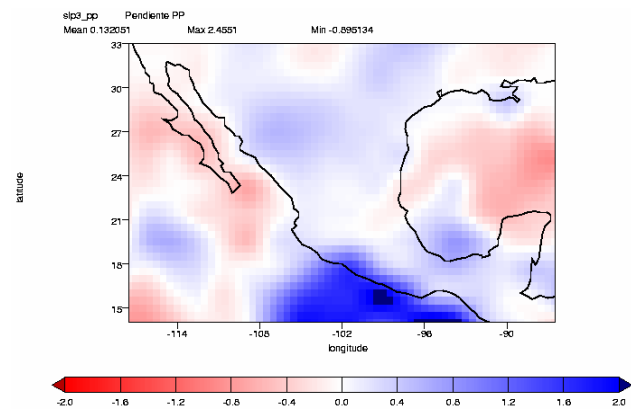
El modelo HADLEY por su parte simula tendencias negativas importantes en el sureste, área en que se observan las mayores tendencias negativas, así como también en toda la zona costera del Golfo de México y Golfo de Tehuantepec, la Península de Yucatán y frente a las costas de Jalisco y norte de Sinaloa. En el occidente de los estados de Guerrero y Oaxaca las tendencias son positivas, y en el noroeste no hay una tendencia marcada para uno de los dos signos.

OCTUBRE

IPCC



ECHAM



HADLEY

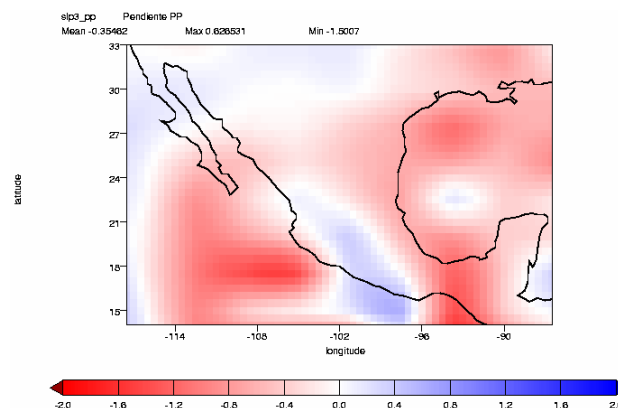


Figura 6.69 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2010-2039.

6.4.2 Precipitación 2040-2069

En la figura 6.70 se muestra el promedio climatológico mensual de la precipitación para el escenarios futuro correspondiente a 2040-2069, de os modelos ECHAM y UHADC (HADLEY), y del promedio de quince modelos representado como IPCC.

En la zona norte se observa que los modelos presentan la máxima precipitación en el mes de junio en la zona norte 3, y en agosto para las zonas 1 y 2, y el mínimo de precipitación en abril y mayo.

El modelo ECHAM tiene una climatología con valores superiores al modelo UHADC y al IPCC en las zonas norte 1 y 2 principalmente en los meses de julio-septiembre, y en la zona norte 3 la climatología del modelo es la que muestra los menores valores de precipitación.

El modelo UHADC en los meses de enero-marzo y en noviembre-diciembre presenta una climatología por debajo del IPCC y del modelo ECHAM, aunque en general al climatología de este modelo es similar a la del IPCC en las zonas norte 1 y 2, ya que en la zona norte 3 el promedio de los modelos es la que presenta los valores más altos de precipitación para todos los meses.

Para la región centro los máximos de precipitación se esperan en la zona centro 1 en agosto, y en la centro 2 y 3 en junio y otro en septiembre. En las zonas norte 1 y 3 el modelo UHADC es el que presenta la menor climatología de precipitación, y en las tres zonas del centro en los meses de enero-marzo y noviembre-diciembre continúa mostrando las menores cantidades de precipitación.

El modelo ECHAM simula para la zona centro 3 los valores más altos de precipitación y para la zona centro 2 los más bajos en los meses de mayo hasta octubre. Por su parte el IPCC tiene en la zona centro 1 y 2 una climatología superior a los modelos ECHAM y UHADC, principalmente en la temporada climática de verano, época en la que se observan las mayores diferencias entre los modelo.

En la región sur se observan tres máximos de precipitación en junio, septiembre y octubre, sin embargo el más importante es el del mes de septiembre en las zonas sur 1 y 2, y octubre en la zona sur 3, por ser el mes en el que se presenta la mayor precipitación.

De manera general el modelo ECHAM es el que tiene los mayores valores de precipitación en las tres zonas del sur, y las mayores diferencias con respecto al modelo UHADC y el IPCC se observan desde junio hasta septiembre en las zonas sur 1 y 2 y septiembre a diciembre en la zona sur 3.

El modelo UHADC contrario al modelo ECHAM muestra la menor climatología de precipitación, y de forma similar a las regiones del norte y centro, en la región sur la precipitación de los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre es mínima.

El IPCC para la zona sur mantiene una climatología similar a los modelo ECHAM y HADLEY para los meses de enero hasta abril y de septiembre a diciembre. Los modelos y el IPCC si llegan a simular la sequía intraestival que es una característica de la región sur en los meses de julio-agosto.

Para este período climatológico futuro comparado con la climatología de referencia del período 1961-1990 se observa una clara disminución de la precipitación principalmente en las zonas del centro y sur.

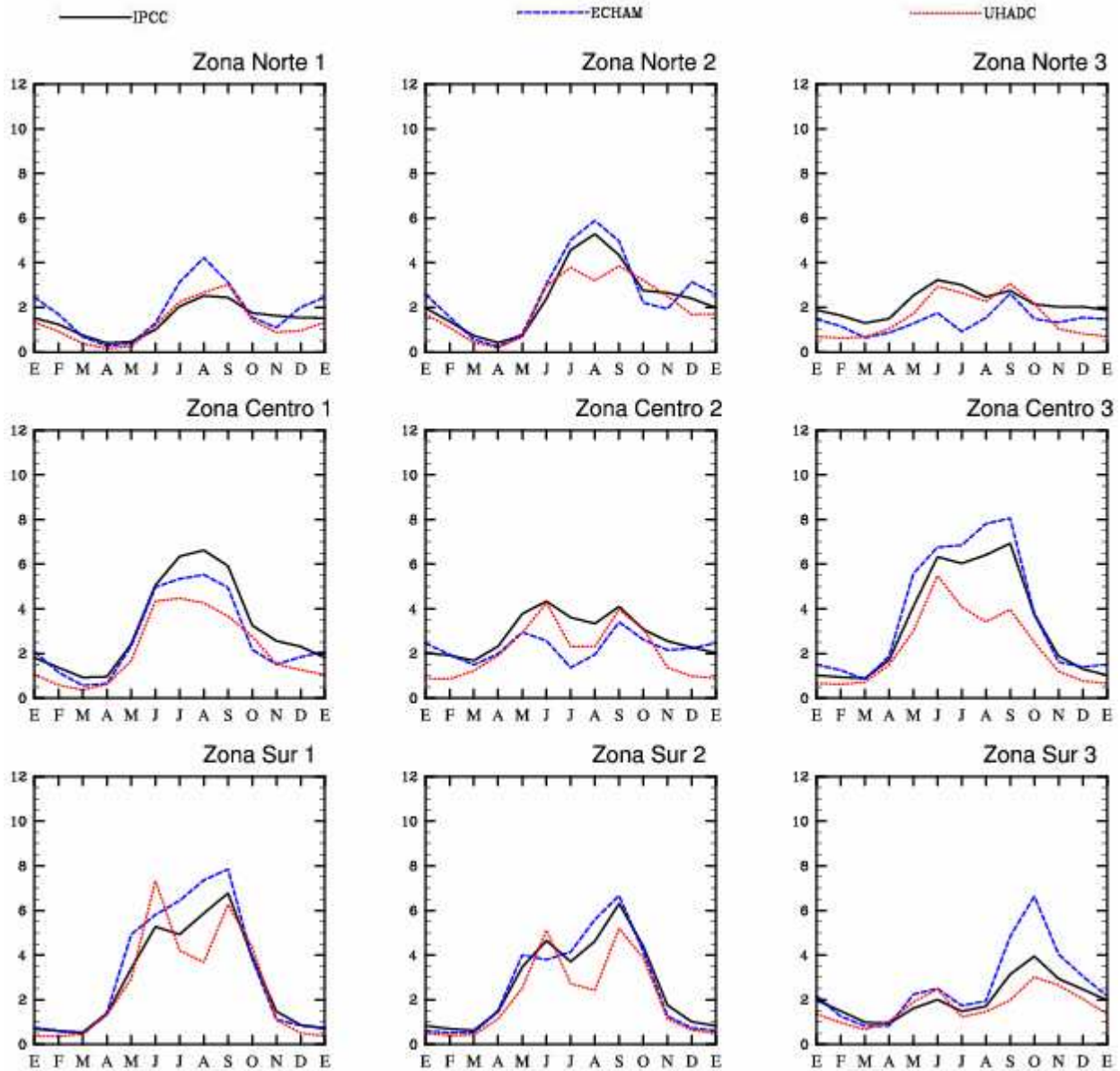


Figura 6.70 – Promedio climatológico mensual de la precipitación (mm/día) para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el escenario 2040-2069.

En la figura 6.71 se muestran las tendencias de precipitación mensual (mm/decada), del IPCC y los modelos ECHAM y UHADC (HADLEY), para el período 2040-2069, para nueve zonas geográficas.

La tendencia de precipitación del promedio de los modelos es principalmente negativa, aunque en el mes de noviembre se aprecia un pico de máxima precipitación para este mes en las zonas norte 1 y 2, y en junio en la zona norte 3. La mínima tendencia se observa para los meses de julio-agosto en las zonas centro 1 y 2, y en octubre para la norte 3.

El modelo ECHAM tiene para la región norte una tendencia positiva para el mes de enero y junio, sin embargo las zonas norte 2 y 3 presentan otra tendencia máxima en septiembre. La mínima tendencia de precipitación se espera para los meses de mayo y diciembre en las tres zonas del norte.

En toda la región norte se espera una reducción de la precipitación en los meses de julio-agosto de acuerdo a la simulación del modelo UHADC, y un aumento de la misma en el mes de septiembre para la zona norte 1, y octubre-noviembre en las zonas norte 2 y 3, y de manera general el modelo tiene una tendencia negativa de la precipitación para este escenario futuro.

En las tres zonas del centro las tendencias de precipitación del IPCC son negativas para todos los meses del período climatológico de estudio.

El modelo ECHAM tiene para la región centro las mayores tendencias de precipitación, con máximos que señalan un aumento de la misma en los meses de febrero, junio y septiembre, y negativas en mayo en las zonas centro 1 y 3, y abril en la centro 2. Las tendencias de este modelo para las zonas centro 2 y 3 son principalmente positivas, y negativas para la zona centro 1.

Las tendencias del modelo UHADC para las zonas centro, no presenta similitud entre ellas, ya que en la zona centro 1 las tendencias máximas se observan entre los meses de septiembre y noviembre, en la zona centro 2 en julio y noviembre, y en la zona centro 3 en junio. Las mínimas tendencias se tienen para los meses de julio en la zona centro 1 y 2, aunque la zona centro 2 tiene otro mínimo en mayo al igual que la zona centro 3 la cual muestra una disminución de la precipitación para el mes de octubre. Las tendencias de este modelo para la región centro son mayormente negativas.

El promedio de los modelos que corresponde al IPCC tiene para las zonas sur 1 y 2 tendencias negativas, y para la zona sur 3 dichas tendencias no existen ya que permanecen muy cercanas a cero.

El modelo ECHAM simuló para la zona sur 1 tendencias positivas, y se espera un aumento de la precipitación en los meses de febrero, julio y septiembre, los dos primeros meses coinciden con los máximos que se presentan en la zona sur 2, la cual tiene una tendencia negativa igual que la zona sur 3, que muestra una tendencia máxima para el mes de diciembre.

El modelo UHADC muestra para la mayoría de los meses una tendencia negativa, por lo que se puede decir que la tendencia de manera generalizada para la región sur por este modelo es negativa. Sin embargo el mes en que se espera un aumento de la precipitación es junio en las tres zonas del sur, y una disminución de la misma en la zona sur 1 y 2 es en el mes de septiembre, y en la zona sur 3 en octubre.

Para este período de estudio ya se puede observar una tendencia mas general, ya que las tendencias son principalmente negativas en las nueve zonas geográficas de acuerdo al modelo UHADC y el IPCC, mientras que el modelo ECHAM presenta tendencias negativas para toda la región del norte y las zonas sur 2 y 3, y positivas para todas las zonas centro y la sur 1.

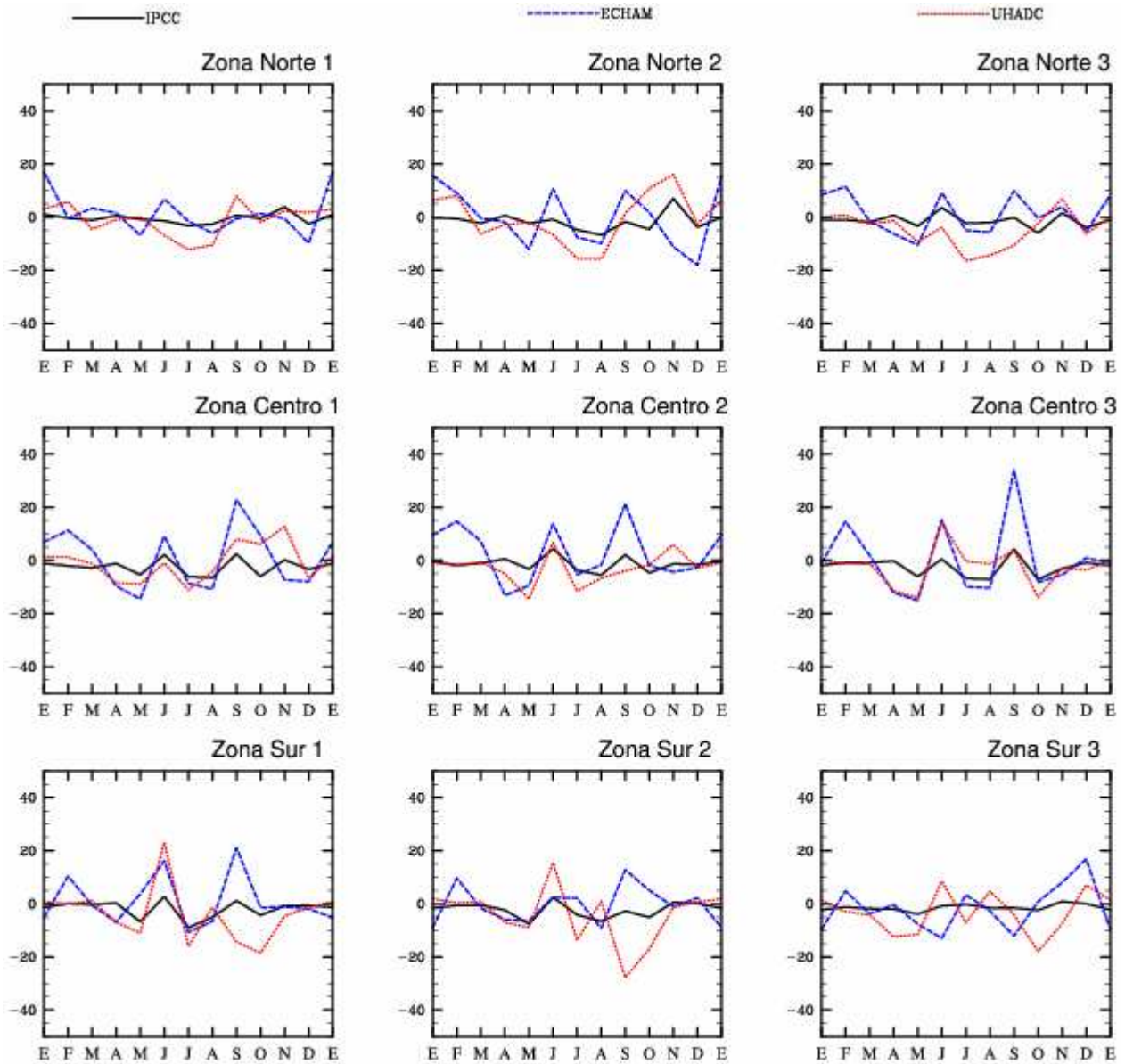


Figura 6.71 – Tendencia mensual de precipitación (mm/década) para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2040-2069.

ENERO

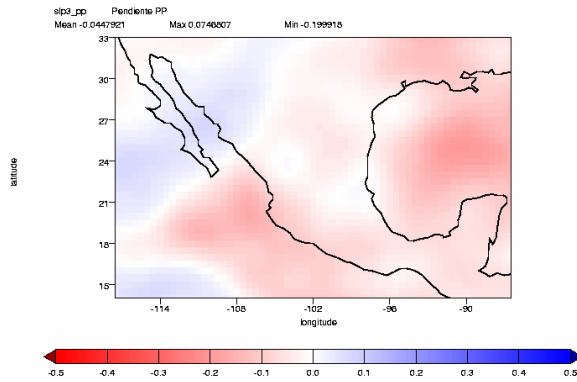
En la figura 6.72 se presentan los mapas con las tendencias de precipitación para el período 2040-2069, del IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el mes de enero.

El IPCC señala tendencias negativas en casi todo México, éstas son más intensas en las costas de Jalisco y Nayarit, mientras que la única área donde se aprecia una tendencia positiva es en el noroeste del país.

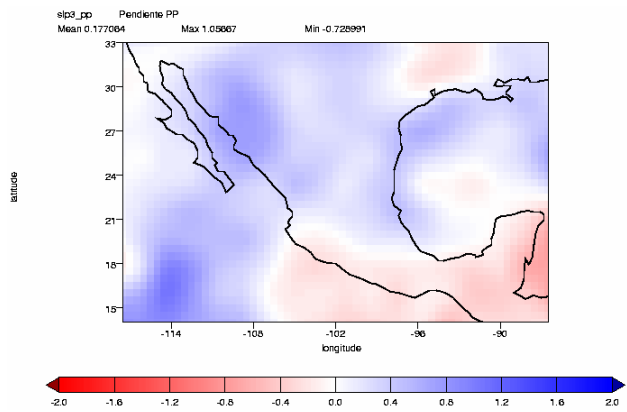
Para este mes de enero el modelo ECHAM indica tendencias positivas en el norte del país, dichas tendencias son mayores en el noroeste y noreste, y en la Península de Yucatán las tendencias marcan una disminución de la precipitación, y en el centro, sur y sureste no se existe una tendencia al no inclinarse hacia una dirección ya sea positiva o negativa.

El modelo UHADC no muestra una tendencia para la República Mexicana, excepto en las costas del estado de Sinaloa donde se esperaría un aumento de la precipitación.

IPCC



ECHAM



HADLEY

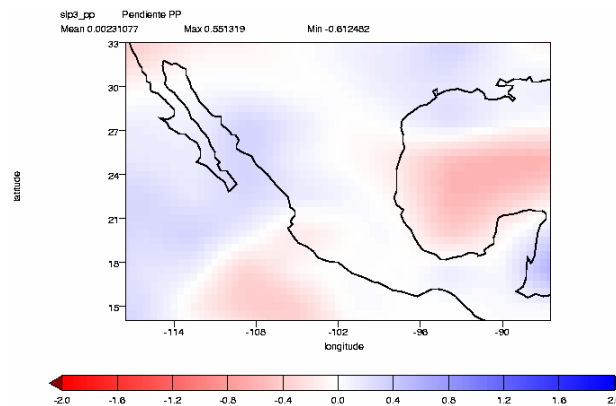


Figura 6.72 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2040-2069.

ABRIL

La figura 6.73 muestra las tendencias de precipitación del promedio de quince modelos el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el mes de abril y en el período 2040-2069.

El promedio de las simulaciones hechas por quince modelos del IPCC indican tendencias negativas en la Península de Yucatán y costas de Jalisco, y en las costas del noreste las tendencias se marcan positivas, mientras que para el noroeste, centro y sur no existen tendencias por parte del IPCC.

El modelo ECHAM por su parte muestra tendencias que marcan una disminución de la precipitación en el centro, el altiplano Mexicano y la zona costera del Golfo de México, en el noroeste del país se llega a observar una ligera tendencia positiva. Para el norte y sureste de la República Mexicana, no se tiene una tendencia de precipitación definida.

La simulación hecha por el modelo HADLEY señala un decremento en la precipitación centro, sur, sureste y la Península de Yucatán, y solo se observa en una pequeña área en el noroeste del país en la zona costera de Tampico una tendencia positiva. Para el norte del país no se observa una tendencia marcada, hacia uno u otro signo.

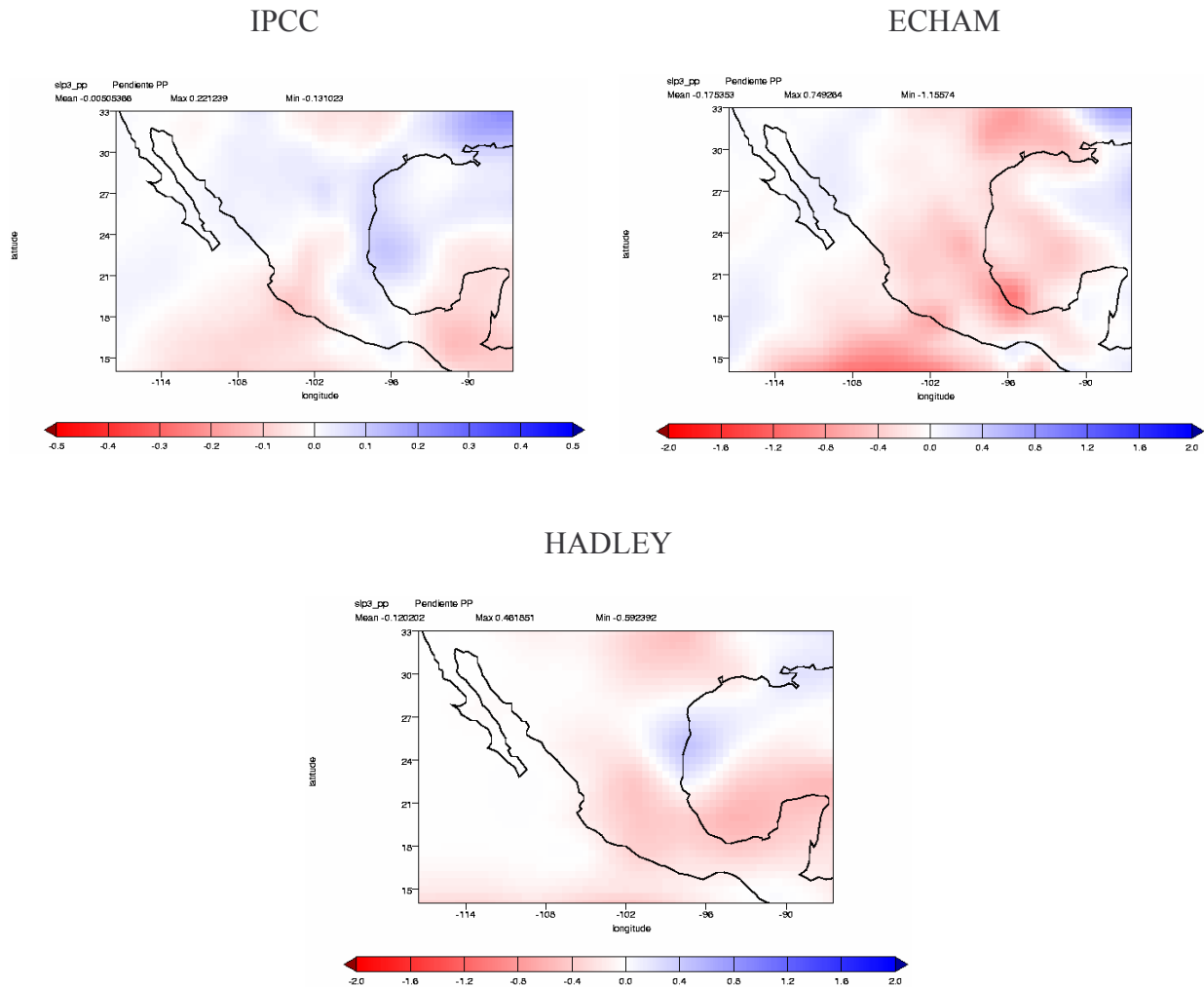


Figura 6.73 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2040-2069.

JULIO

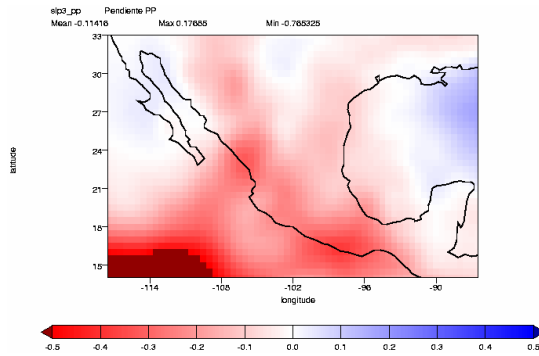
La figura 6.74 muestra los mapas con las tendencias de precipitación para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC) del mes de julio, para el período 2040-2069.

El IPCC presenta para este mes tendencias en su mayoría negativas para el centro, altiplano, noroeste, noreste y sur, estas son de mayor intensidad en el sur y en las costas de Nayarit. En la Península de Yucatán no existe una tendencia marcada hacia un signo.

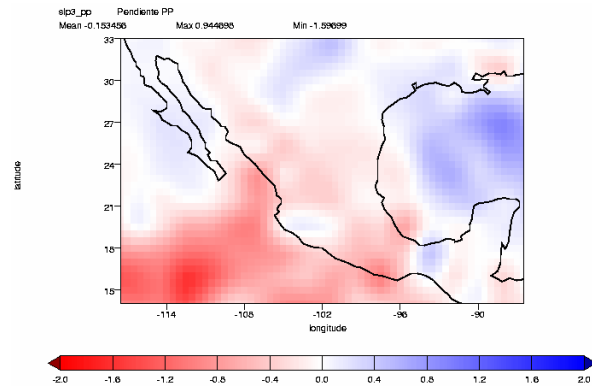
La simulación del modelo ECHAM señala un aumento en la precipitación en el altiplano Mexicano, centro y noroeste, los puntos de mayor intensidad se ubican en las costas de Nayarit tal como lo muestra también el IPCC y la zona costera del estado de Veracruz. En el sur de Veracruz y Tabasco se observa una pequeña área con tendencias positivas. Para el sureste y la Península de Yucatán este modelo no indica ninguna tendencia.

El modelo HADLEY por su parte simula tendencias negativas en todo el norte de la República Mexicana, donde éstas son mayores, así como también en el sureste y la Península de Yucatán contrario a lo presentado por el modelo ECHAM y el IPCC. En el centro del país no existe una tendencia marcada hacia una dirección.

IPCC



ECHAM



HADLEY

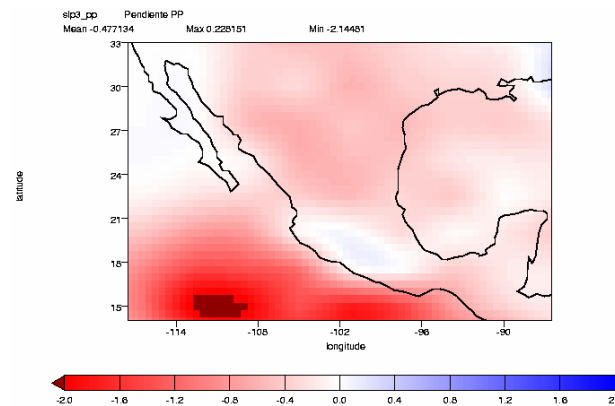


Figura 6.74 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2040-2069.

OCTUBRE

En la figura 6.75 se presentan los mapas con las tendencias de precipitación del IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el mes de octubre, en el período 2040-2069.

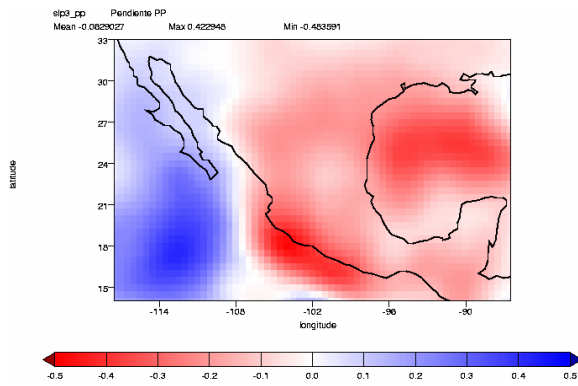
El IPCC en el mes de octubre muestra tendencias negativas para toda la República Mexicana, excepto para una pequeña área en el noroeste del país. La mayor disminución de la precipitación se observa será en las costas de los estados de Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco de acuerdo al promedio de los modelos.

La simulación del modelo ECHAM indican un aumento en la precipitación para este mes para el norte del estado de Chihuahua, la Península de Yucatán y en las costas de Nayarit y Sinaloa. La única área en que este modelo muestra tendencias negativas es para la zona costera de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero, así como en el centro con tendencias menores, estas tendencias negativas coinciden con las que presenta el promedio de los modelos. En el noreste, noroeste y sureste Mexicano no existe una tendencia definida.

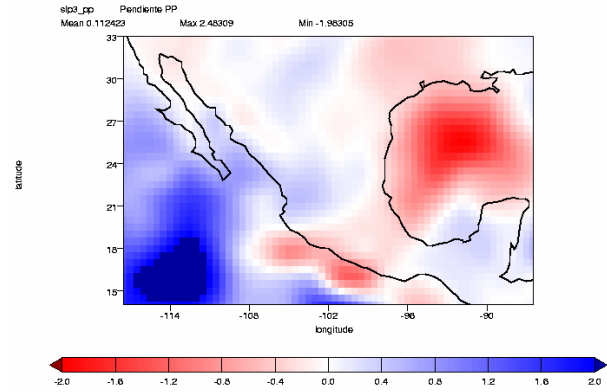
El modelo HADLEY muestra desde el centro hasta la Península de Yucatán tendencias que marcan un decremento de la precipitación para estas zonas, así como también para el noreste de la República Mexicana, y tendencias positivas en el altiplano Mexicano y en los estados de Nayarit y Sinaloa, mientras que en el noroeste del país no se observa una tendencia marcada hacia una dirección positiva o negativa.

OCTUBRE

IPCC



ECHAM



HADLEY

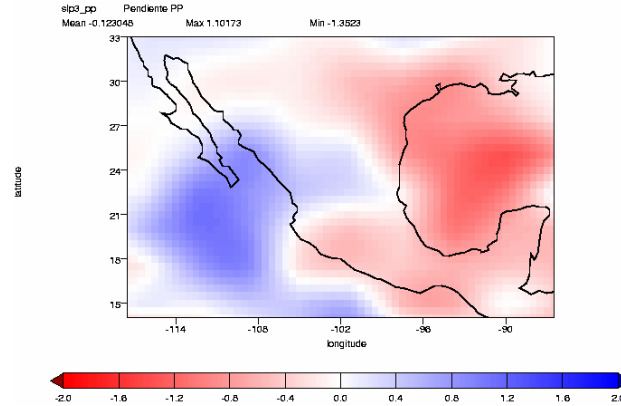


Figura 6.75 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2040-2069.

6.4.3 Precipitación 2070-2098

En la figura 6.76 se presentan las gráficas con la climatología de precipitación para nueve zonas geográficas, del IPCC y los modelos ECHAM y UHADC (HADLEY), para el período 2070-2098.

El promedio de los modelos representado como IPCC señala que la máxima precipitación para este período se tendrá en los meses de agosto para las zonas norte 1 y 2, y en junio en la zona norte 3. En la zona norte 3 el IPCC tiene los valores más grandes de precipitación en casi todos los meses, excepto en agosto, septiembre y octubre, mientras que en la zona norte 1, presenta los valores más bajos de julio hasta septiembre.

El modelo ECHAM en las zonas norte 1 y 2 simula la mayor precipitación de diciembre hasta septiembre, y en la zona norte 3 presenta las menores cantidades de precipitación respecto al IPCC y el modelo UHADC desde abril hasta noviembre. La máxima precipitación se espera para el mes de agosto en la zona norte 1 y septiembre en las zonas norte 2 y 3.

Las simulaciones del modelo UHADC tienen la menor precipitación respecto al modelo ECHAM y el IPCC en de octubre hasta junio en la zona norte 1, de diciembre hasta mayo en la zona norte 2, y de noviembre a marzo en la zona norte 3, sin embargo en los meses de julio, agosto y septiembre el modelo señala los menores valores para la zona norte 2, a pesar de que los máximos de precipitación de este modelo se observan en junio y septiembre.

El IPCC en la zona centro 1 presenta los valores más altos de precipitación en los meses de junio hasta noviembre, y en la zona centro 2 de abril a octubre, mientras que en la zona norte 3 la climatología ésta por de la del modelo ECHAM. La máxima precipitación se observa para agosto en la zona centro 1, junio y septiembre en las zonas centro 2 y 3.

La simulación del modelo ECHAM presenta los mayores valores de precipitación en febrero, marzo y diciembre en las zonas centro 1 y 2, y de abril a octubre en la zona centro 3, aunque en la zona centro 2 tiene la menor precipitación respecto al modelo UHADC y el IPCC de mayo a octubre. La precipitación máxima por otra parte se observa en julio en la zona centro 1 y en junio y septiembre en las zonas centro 2 y 3.

El modelo UHADC muestra para las zonas centro 1 y 3, los menores valores de precipitación para todos meses en comparación con las demás simulaciones, y la zona centro 2 presenta este comportamiento en los meses de octubre hasta abril. Mientras que la máxima precipitación de acuerdo al modelo para la zona centro 1 se tendrá en agosto, en la centro 2 y 3 en junio, aunque la zona centro 2 tiene otro máximo en septiembre.

Para la zona sur el IPCC se ubica por arriba de la climatología de los modelos ECHAM y UHADC en diciembre, enero y febrero en las zonas sur 1 y 2, y en febrero y marzo en la zona

centro 3. La máxima precipitación hecha por la simulaciones del promedio de los modelos se espera será en junio y septiembre en la zona sur 1 y 2, y octubre en la zona sur 3.

El modelo ECHAM señala que la máxima precipitación en la zona sur 1 y 2 se tendrá en junio y septiembre, y octubre para la zona sur 3. Este modelo es el que muestra de manera generalizada que se tendrá una mayor precipitación principalmente de mayo a octubre en la zona sur 1, de julio hasta octubre en la zona sur 2, junio y de septiembre a noviembre en la zona sur 3.

El modelo UHADC presenta en la zona sur 1 la climatología de precipitación más baja en comparación con IPCC y ECHAM de diciembre a febrero y principalmente de julio a octubre, en la zona sur 2 este comportamiento se observa para todos los meses, y en la zona sur 3 de julio hasta enero. Sin embargo si muestra máximos de precipitación aunque estos no superen las simulaciones del IPCC y ECHAM se observan en junio y octubre para toda la región sur.

La disminución de la precipitación para este período de estudio comparado con el de referencia correspondiente a 1961-1990 es sumamente considerable en las nueve zonas de estudio.

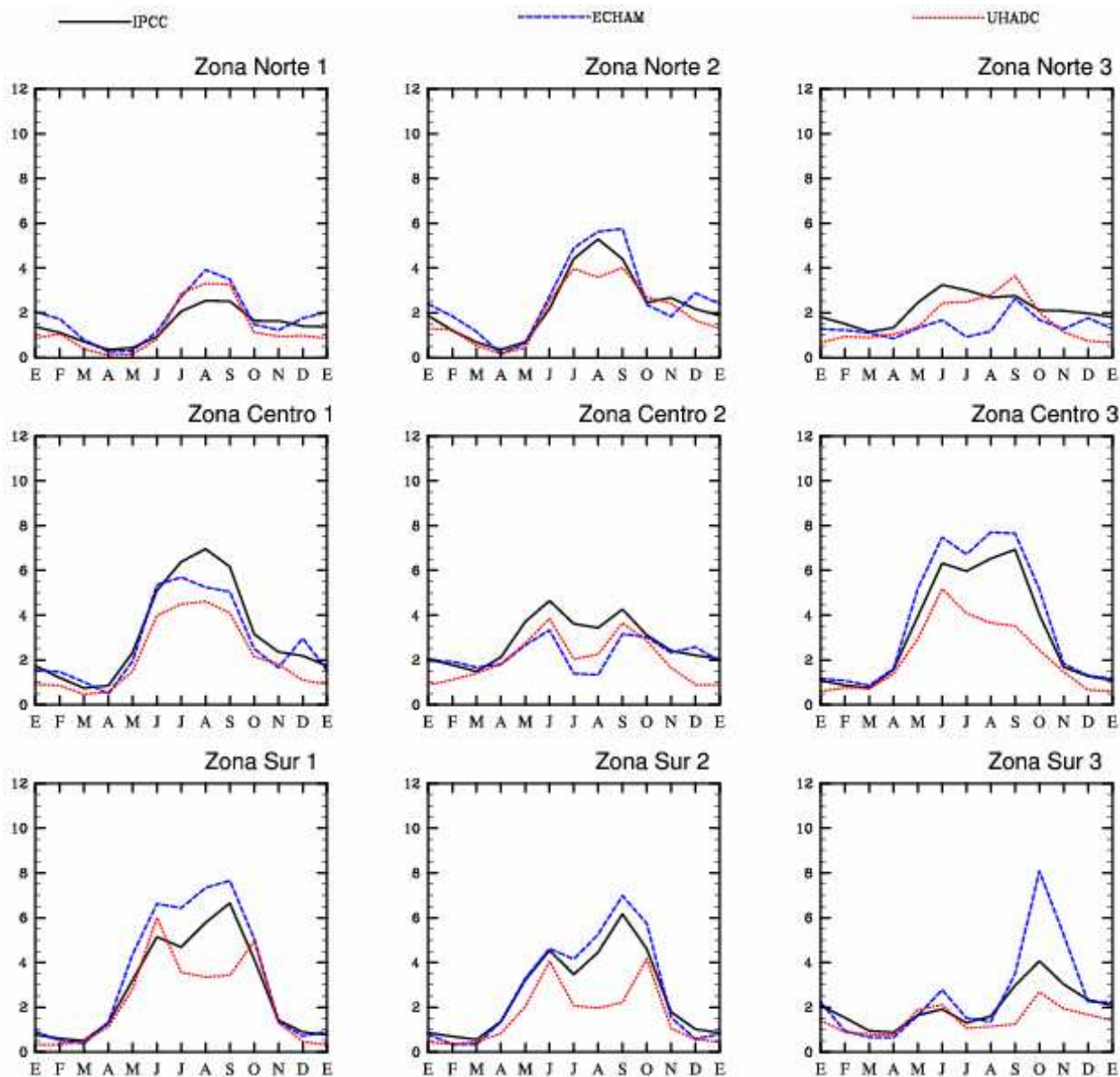


Figura 6.76 – Promedio climatológico mensual de la precipitación (mm/día) para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el escenario 2070-2098.

La figura 6.77 muestra las gráficas con las tendencias de precipitación para el período 2070-2098 para el promedio de los modelos (IPCC) y los modelos ECHAM y UHADC (HADLEY) en nueve zonas geográficas.

Las tendencias del IPCC en la zona norte, indican que en los meses de octubre, noviembre y diciembre en las zonas norte y 2 habrá un aumento de la precipitación, y en la zona norte 3 en mayo, noviembre y diciembre. De forma generalizada el promedio de los modelos no marca una tendencia ya sea positiva o negativa para la región norte ya que estas se mantienen alrededor de cero.

El modelo ECHAM señala en la zona norte 1 un aumento en la precipitación en los meses de febrero y octubre, así como una disminución de la misma en septiembre, y la mayoría de los meses se presenta una tendencia negativa para ésta zona. En la zona norte 2 la máxima tendencia se observa en marzo, octubre y diciembre, y la mínima en mayo y septiembre, en ésta zona no se observa una tendencia más inclinada hacia una u otra dirección. Mientras que en la zona norte 3 se muestra la máxima tendencia en los meses de septiembre y noviembre-diciembre, y de febrero a mayo la tendencia de precipitación para dicha zona es negativa.

La simulación de la precipitación del modelo UHADC para la zona norte 1, muestra un aumento de la precipitación en julio y septiembre, mientras que para el resto de los meses no existe una tendencia. En la zona norte 2 el modelo indica las máximas tendencias en los meses de enero, febrero y septiembre, y las mínimas se observan en agosto y diciembre, y en los meses de marzo hasta julio y en octubre-noviembre las tendencias son negativas y cercanas a cero. Para las zona norte 3 las tendencias positivas se presentan en febrero y julio, teniendo el primer mes la máxima tendencias, y los meses restantes presentan una tendencia negativa, siendo el mes de octubre el que presenta la mayor tendencia de disminución de la precipitación.

El promedio de los modelos en la zona centro muestra no muestra tendencias significativas, ya que en la mayoría de los meses la tendencias es cercana a cero, y únicamente muestra una tendencia positiva en junio en la zona centro 1, y en las zonas centro 2 y 3 solo se observa que el mayor decremento de la precipitación se tendrá en julio de acuerdo al IPCC.

El modelo ECHAM señala la mayor disminución de precipitación en febrero y mayo en toda la región sur, y el máximo aumento de la misma en julio, octubre y diciembre para las zonas centro 1 y 3, y de julio hasta octubre en la zona centro 2. Los valores tan grandes en los máximos y mínimos de precipitación hacen que este modelo no presente una tendencia definida.

El modelo UHADC en la zona centro 1 no presenta una tendencia significativa ya que ésta se mantiene alrededor de cero desde diciembre hasta agosto, sin embargo en el mes de octubre tiene un pico de tendencia negativa. En la zona centro 2 el modelo simula un pico de tendencia negativa en junio y otro en octubre, y en los meses de febrero-abril, así como también en agosto la tendencia es ligeramente positiva, y en los demás meses no se presenta una tendencia de

precipitación. En la zona centro 3 el modelo únicamente muestra picos de tendencia positiva en abril y agosto, y negativa en mayo, junio y octubre, ya que para el resto de los meses no existe una tendencia de precipitación.

En la zona sur la tendencia del promedio de los modelos señala que habrá una disminución de la precipitación en todos los meses en toda la región sur, con un pico negativo en septiembre en la zona sur 1, y abril en la zona sur 2.

La tendencia del modelo ECHAM para la toda la región sur es principalmente positiva, con un pico de tendencia positiva en junio y otro en octubre para la zona sur 1, y en la zona sur 2 el mayor aumento de la precipitación se espera de igual manera que la zona sur 1 en el mes de junio, mientras que en la zona sur 3 la máxima tendencia se observa en enero. Y el mayor decremento de a precipitación en las zonas sur 1 y 2 en mayo, y en la zona sur 3 en el mes de octubre.

El modelo UHADC muestra en toda la región sur tendencias negativas para todos los meses en la región sur 3, de mayo a diciembre en la zona sur 1, y abril-diciembre en la zona sur 2. Los picos de tendencia negativa en la zona sur 1 y 2 se tienen en los meses de junio y octubre, y en l zona sur 3 únicamente en junio.

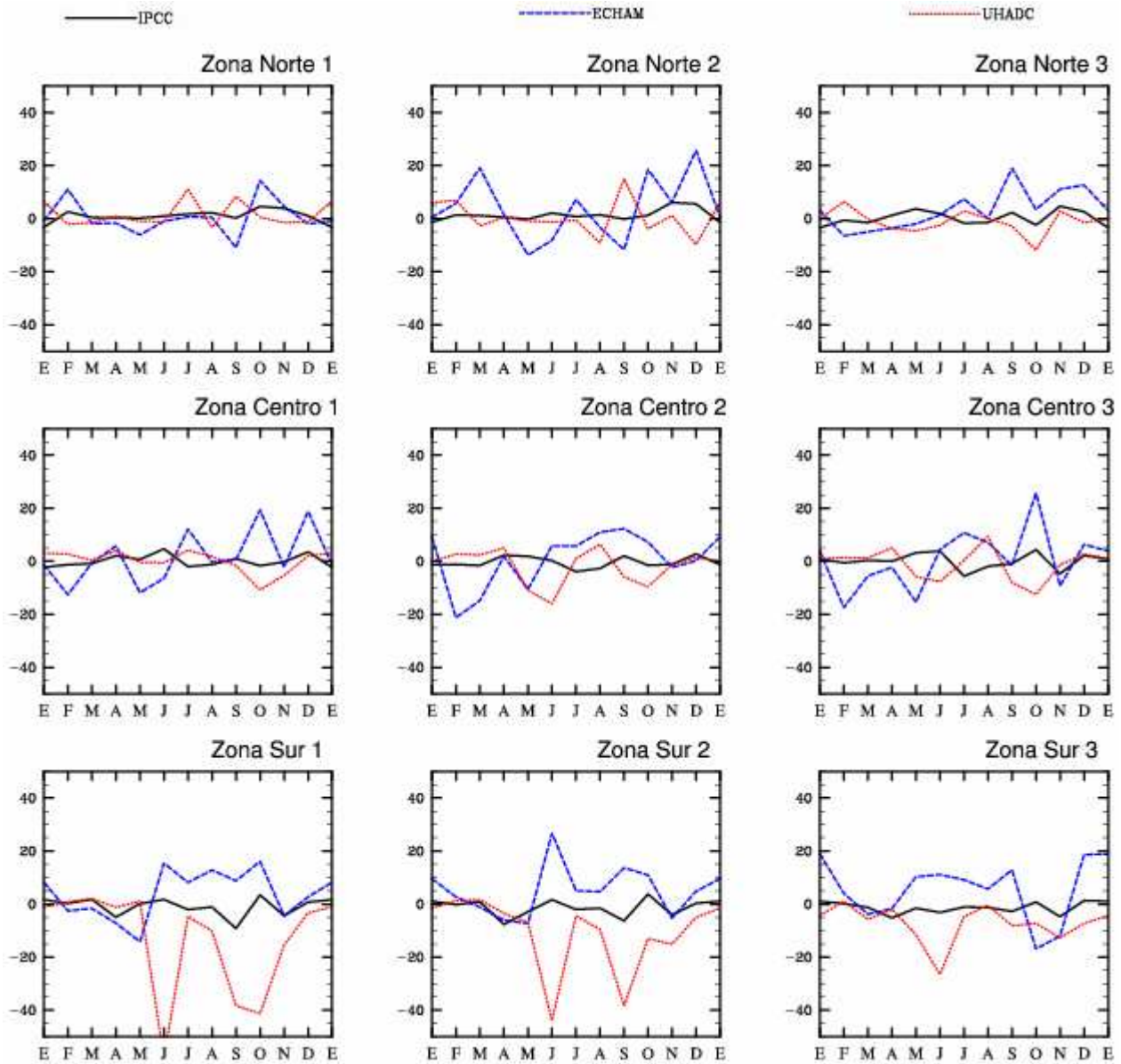


Figura 6.77 – Tendencia mensual de precipitación (mm/década) para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2070-2098.

ENERO

La figura 6.78 muestra los mapas con la tendencia de precipitación del IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el período 2070-2098.

El promedio de las simulaciones de quince modelos señala para el norte y la costa de Jalisco tendencias negativas, las cuales son más intensas en el noroeste del país, y en el centro, sur y sureste las tendencias son positivas, y ligeramente positivas para la Península de Yucatán.

El modelo ECHAM presenta tendencias negativas de precipitación únicamente en el noroeste de México e indica un aumento de la misma en la costa del Golfo de México, sureste, y la Península de Yucatán, sin embargo en el sur, centro, altiplano y el estado de Chihuahua también se observa una tendencia positiva aunque de menor valor.

La simulación del modelo HADLEY únicamente muestra tendencias positivas para el noroeste de la República Mexicana, ya que para el resto del país no señala una tendencia de precipitación significativa.

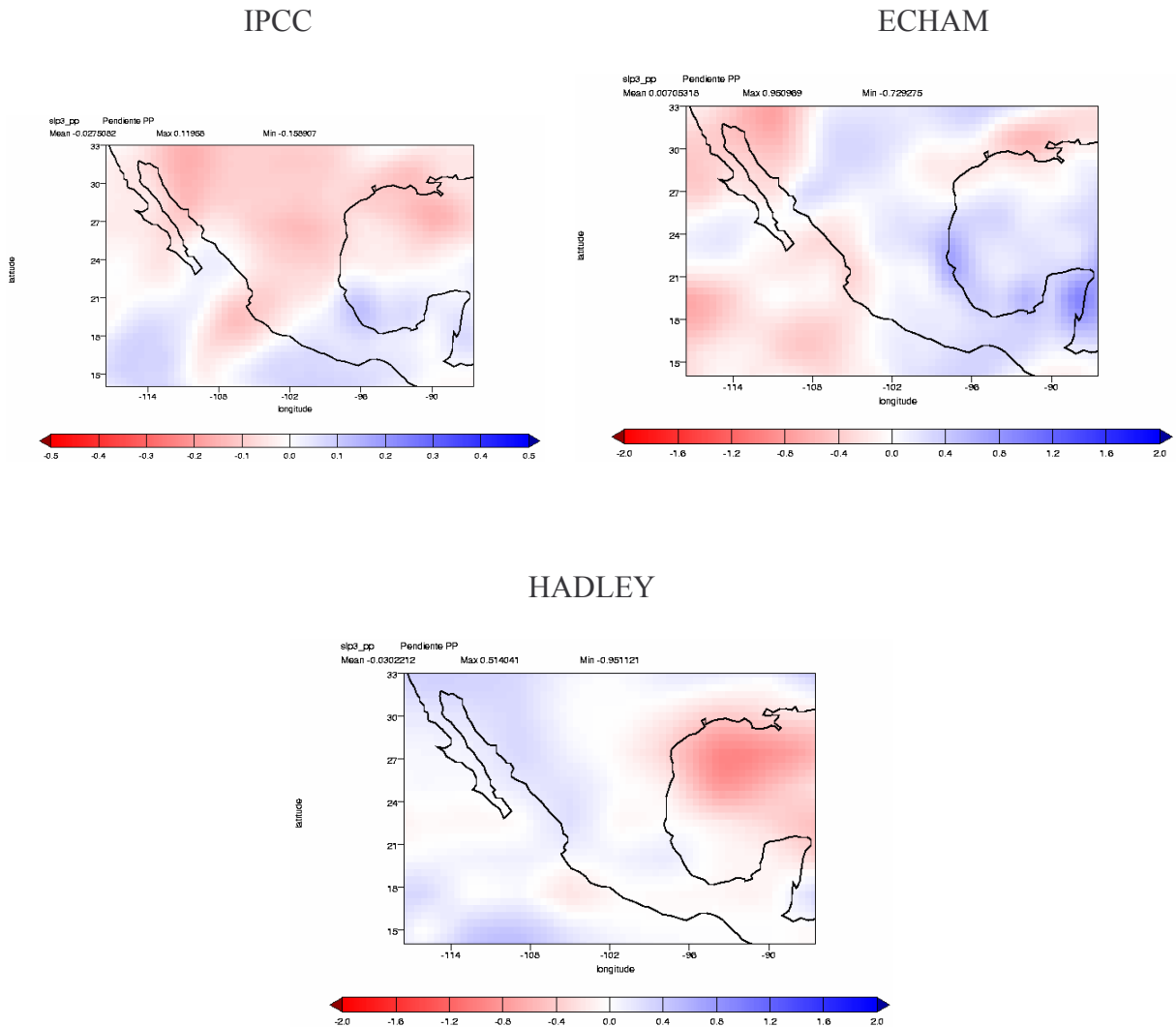


Figura 6.78 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2070-2098.

ABRIL

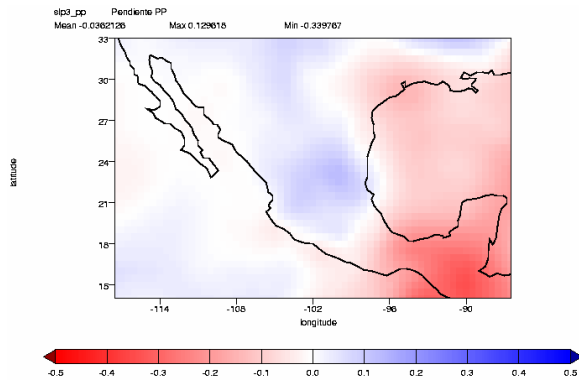
En la figura 6.79 se muestran las tendencias de precipitación del promedio de quince modelos, representado como IPCC, y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el período 2070-2098.

El IPCC señala para éste período tendencias de precipitación negativas en el sureste y la Península de Yucatán, y un aumento de la misma para el altiplano Mexicano y los estados de Chihuahua y Sinaloa, ya que en el noroeste, noreste y centro de la Republica Mexicana no se aprecia una tendencia de precipitación.

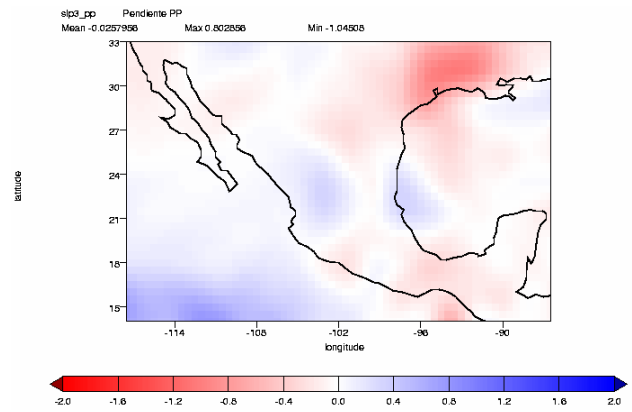
El modelo ECHAM al contrario del IPCC no muestra una tendencia significativa para la mayor parte del país, excepto en el sureste y noreste que se observa una disminución de la precipitación, y en la zona costera del norte de Veracruz y oeste del altiplano con una tendencia positiva.

El modelo HADLEY de forma similar al modelo ECHAM presenta una mínima tendencia negativa en el sureste y positiva en el altiplano, sin embargo este modelo también simula un decremento de l precipitación en el noreste y un aumento en el centro del país, y no marca una tendencia para el noroeste de México.

IPCC



ECHAM



HADLEY

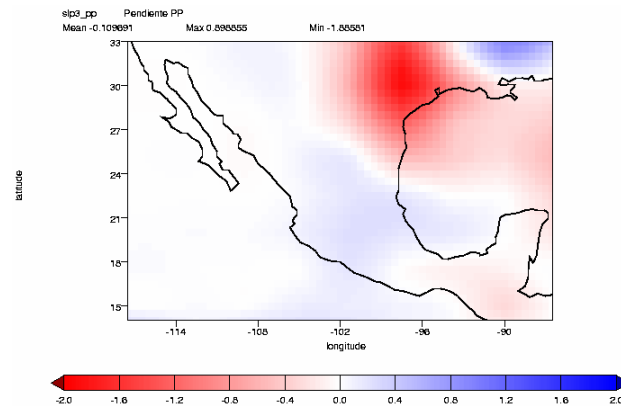


Figura 6.79 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2070-2098.

JULIO

La figura 6.80 muestra los mapas con las tendencias de precipitación para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC) para el mes de julio, y el escenario futuro correspondiente al 2070-2098.

Para este mes el IPCC señala que el noreste, centro, este del altiplano y sur de la Península de Yucatán tienen una tendencia negativa, aunque en el centro y el estado de Michoacán presentan las mayores tendencias negativas de precipitación, y únicamente los estados de Chihuahua y Sonora tienen una tendencia positiva, en el noroeste, sur y sureste no existe una tendencia significativa de precipitación.

El modelo ECHAM indica que al este de la Sierra Madre Occidental, los estados de Jalisco, Oaxaca y norte de la Península de Yucatán tienen una tendencia positiva, aunque el estado de Tabasco y noreste del país también muestra la misma tendencia pero menor, mientras que el noroeste, sur de la Península de Yucatán y el estado de Veracruz no presentan una tendencia de precipitación marcada para uno de los dos signos.

El modelo HADLEY no presenta para este mes y período una tendencia significativa en casi toda la República Mexicana y solamente se marca un aumento de precipitación en el noroeste y con menor valor en el altiplano y noreste, así como una ligera tendencia negativa en Tabasco, la costa del estado de Veracruz y la Península de Yucatán.

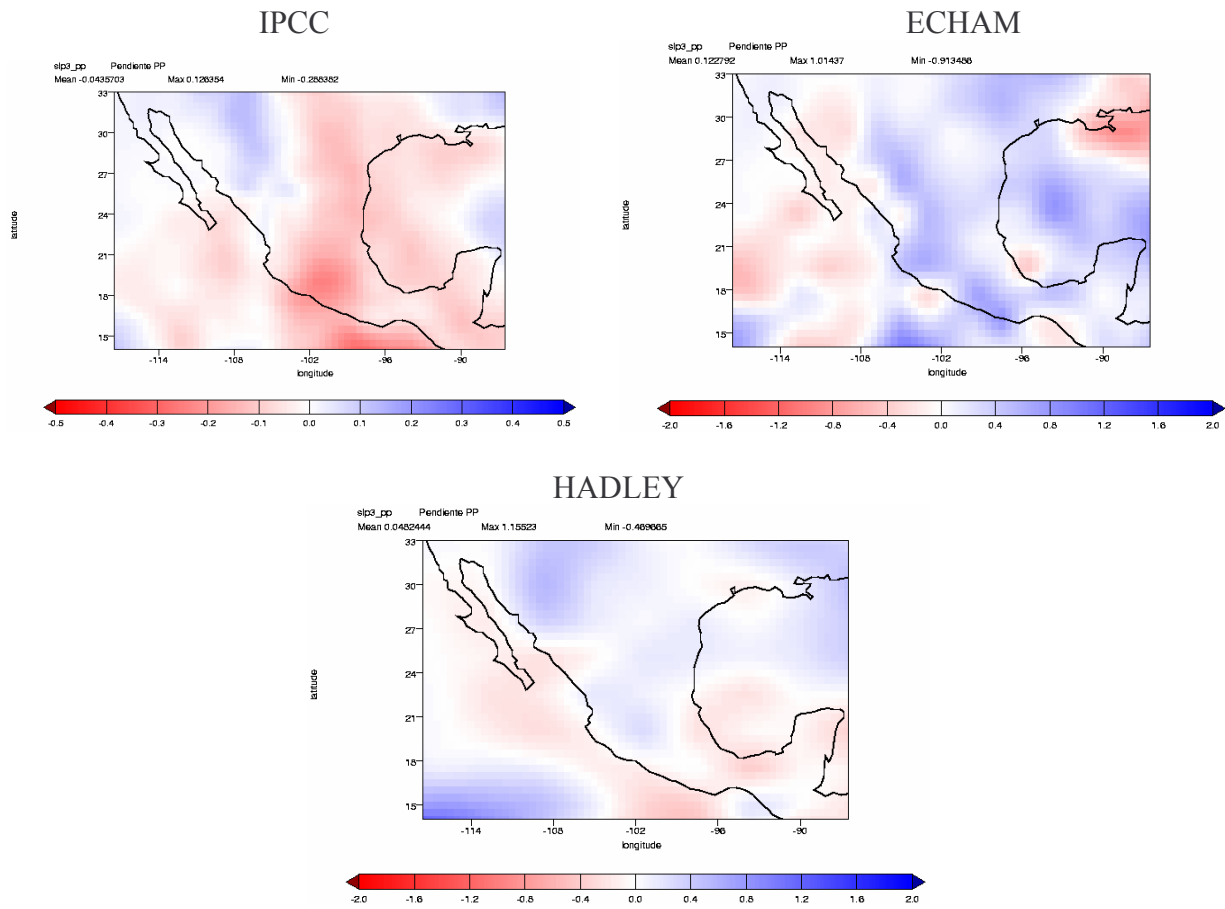


Figura 6.80 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2070-2098.

OCTUBRE

En la figura 81 se presentan los mapas con la tendencia de precipitación para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el mes de octubre y el período 2070-2098.

El IPCC como promedio de las simulaciones de quince modelos señala tendencias positivas de precipitación en el noroeste, sur y sureste, y tendencias negativas para el noreste, altiplano y el estado de Nayarit. Para el centro, y la Península de Yucatán no se marca una inclinación de la tendencia hacia alguna dirección ya sea positiva o negativa.

El modelo ECHAM muestra para este período un aumento de la precipitación en la vertiente occidental, centro y sureste de la República Mexicana, sin embargo estas tendencias son mayores en las costas de Guerrero, Michoacán, Jalisco, Nayarit, Sinaloa y sur de Sonora, y en la Península de Yucatán y la costa de Tampico las tendencias son negativas. En el noreste y el estado de Campeche no se aprecia una tendencia significativa de precipitación.

El modelo HADLEY contrario al modelo ECHAM tiene tendencias negativas en Istmo de Tehuantepec y sureste donde son mayores dichas tendencias, así como también en el altiplano, centro y norte de la Península de Yucatán aunque estas son menores, y en la costa norte de Sinaloa las tendencias indican un aumento de la precipitación par este período y mes.

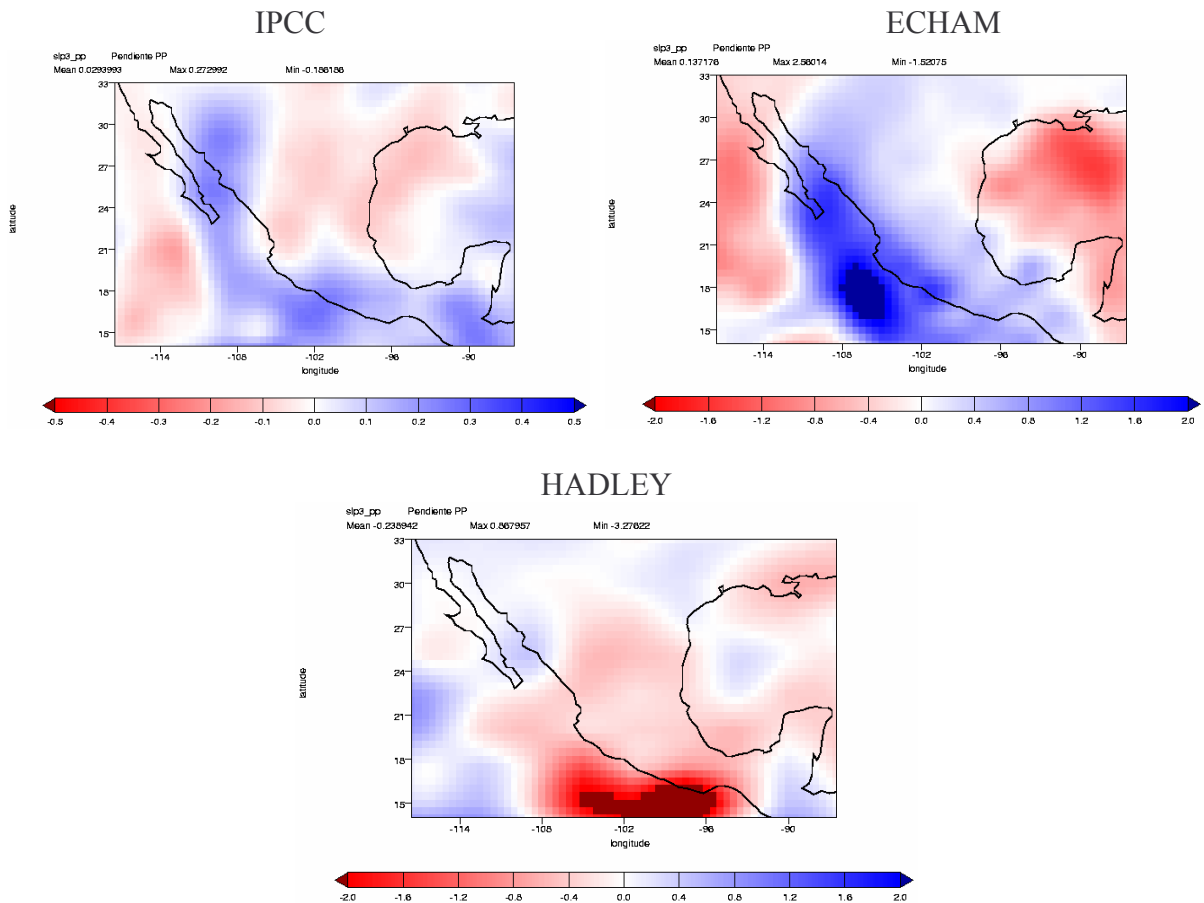


Figura 6.81 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2070-2098.

6.4.4 Temperatura 2010-2039

En la figura 6.82 se presenta la climatología de temperatura del IPCC y los modelos ECHAM y UHADC (HADLEY) para el período 2010-2039, para nueve zonas geográficas de México.

En la zona norte 1, el IPCC y el modelo ECHAM señalan que las temperaturas más altas se tendrán en julio, y el modelo HADLEY indica será junio. El modelo ECHAM tiene para los meses de noviembre hasta marzo los valores más altos de temperatura respecto al IPCC y el modelo UHADC, y el modelo UHADC mantiene este comportamiento en los meses de mayo a julio.

En la zona norte 2 la máxima temperatura se observa en junio, ésta zona el modelo ECHAM de forma similar que en la zona norte 1 en los meses de noviembre a marzo presenta temperaturas mayores que el IPCC y el modelo UHADC, mientras que el IPCC tiene las menores temperaturas respecto a los modelos de diciembre a marzo. En los meses de abril hasta octubre las tres curvas correspondientes a los modelos y el IPCC se acoplan adecuadamente.

De la región norte, la zona norte 3 es donde las diferencias entre los modelos son mayores, en ésta zona la mayor temperatura se espera en el mes de julio. El modelos ECHAM en las temporadas climáticas de otoño e invierno tiene temperaturas mayores que el IPCC y el modelo UHADC, este último se comporta de igual forma pero en los meses de mayo hasta agosto, mientras que el IPCC mantiene las menores temperaturas climatológicas respecto a los modelos, en todos los meses para el período de estudio antes mencionado.

En la zona centro 1 la mayor temperatura se espera en el mes de mayo de acuerdo a lo simulado por los modelos. El modelo UHADC presenta para los meses de marzo hasta agosto valores climatológicos superiores al IPCC y el modelo ECHAM, este ultimo contrario al modelo UHADC tiene las menores temperaturas de abril a octubre.

Para la zona centro 2 se observan dos máximos de temperatura uno en mayo y el otro en agosto. En los meses de marzo hasta agosto el modelo UHADC presenta los mayores valores climatológicos de temperatura, y el modelo ECHAM en los meses de octubre a febrero, mientras que el IPCC de manera opuesta a los modelos tiene las menores temperaturas climatológicas.

En la zona centro 3 se observa que la máxima temperatura se tendrá en mayo, con base en los modelos, y el modelo UHADC mantiene una valores climatológicos superiores al IPCC y ECHAM en los meses de marzo hasta agosto, y el modelo ECHAM únicamente en enero y febrero, ya que de marzo a octubre presenta la menor climatología de temperatura comparado con UHADC y el IPCC. Una observación importante es que el modelo UHADC muestra ligero picos de menor temperatura en diciembre en las tres zonas del centro, sin embargo es más notorio en la zona centro 3.

En la zona sur 1, la máxima temperatura se espera en el mes de abril de acuerdo al modelo ECHAM y el IPCC, y agosto el modelo UHADC. En los meses de junio a noviembre el modelo UHADC presenta mayores temperaturas que el IPCC y ECHAM, este último se comporta de igual forma pero en los meses de diciembre hasta abril, mientras que el IPCC tiene de manera general las menores temperaturas climatológicas comparadas con las de los modelos.

El modelo ECHAM y el IPCC señalan que la máxima temperatura mensual en la zona sur 2 se tendrá en agosto, y el modelo UHADC muestra dos máximos uno en mayo y otro en agosto. El IPCC comparados con los modelos, para ésta zona tiene los menores valores climatológicos de temperatura, y el modelo UHADC los mayores, principalmente de abril hasta agosto, meses en que se observan las mayores diferencias con el IPCC y ECHAM.

En la zona sur 3 las mayores temperaturas se esperan en los meses de agosto y septiembre de acuerdo a las simulaciones hechas por los modelos. El modelo UHADC es el que presenta las mayores temperaturas climatológicas comparadas con ECHAM y el IPCC, este último es el que tiene las menores temperaturas en todos los meses.

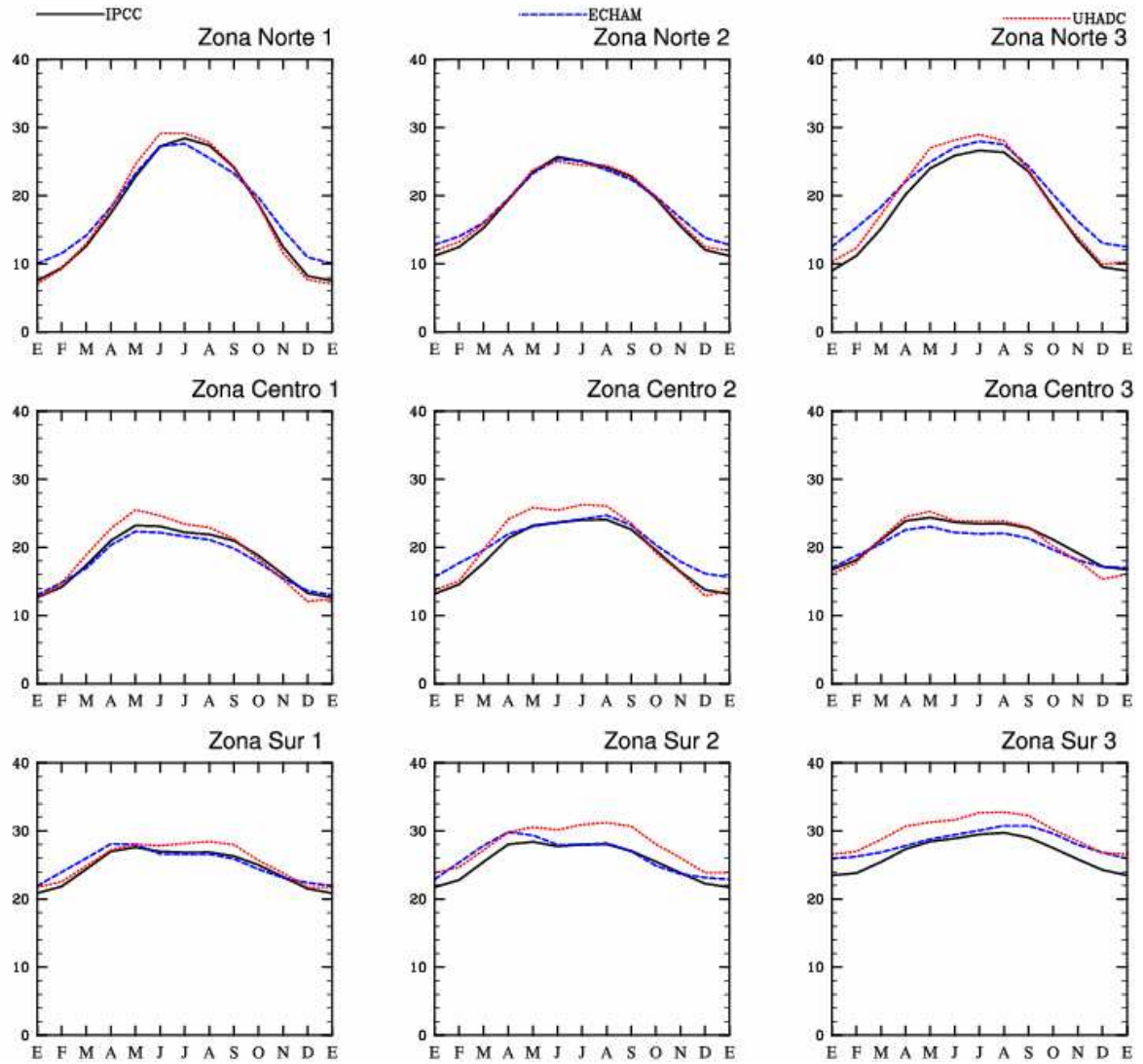


Figura 6.82 – Promedio climatológico mensual de la temperatura (°C) para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el escenario 2010-2039.

En la figura 6.83 se muestran las tendencias de temperatura de los modelos ECHAM y UHADC (HADLEY), así como también del promedio de quince modelos representado como IPCC, para el período 2010-2039, en nueve zonas geográficas de México.

Las tendencias de temperatura para la zona norte 1 son positivas en todos los meses del período climatológico de estudio. Sin embargo en el mes de marzo los modelos ECHAM y UHADC muestran un pico de tendencia positiva, es decir, un mayor aumento de la temperatura en dicho mes. El modelo UHADC es el que tiene las mayores tendencias en comparación con las tendencias del IPCC y el modelo ECHAM.

En la zona norte 2, las tendencias de los modelos son similares que en la zona norte 1, con una máxima tendencias positiva en marzo y mínima en agosto por parte del modelo ECHAM y octubre el modelo UHADC, este último modelo es el que presenta las mayores tendencias respecto al IPCC y el modelo ECHAM.

Los modelos ECHAM y UHADC en la zona norte 3 tienen una máxima tendencia positiva en marzo, aunque el modelo UHADC presenta otro máximo en julio, agosto y enero, en este último mes mencionado el modelo ECHAM muestra una mínima tendencia de temperatura.

En la zona centro 1 las simulaciones de los modelos indican un máxima tendencia en marzo, y mínima en enero de acuerdo al modelo ECHAM, aunque de manera general los modelos y el IPCC tienen una tendencia positiva para todos los meses.

Las tendencias del modelo ECHAM para la zona centro 2 indican un aumento en la temperatura en febrero y un decremento de la misma en enero, mes en que el modelo UHADC tiene la máxima tendencia para ésta zona, aunque en marzo presenta otro pico positivo. Los modelos de manera generalizada tienen una tendencia positiva para el período de estudio.

En la zona centro 3 las tendencias del modelo ECHAM son contrarias al modelo UHADC, ya que en enero y marzo el modelo UHADC tiene un máximo en la tendencia y ECHAM un mínimo de la misma, principalmente en enero mes en que este comportamiento de los modelos es más notorio, y en mayo en que el modelo UHADC presenta un mínimo en la tendencia, aunque en general las tendencias de los modelos son positivas.

En la zona sur 1 las tendencias son positivas, excepto en el mes de enero por parte del modelo ECHAM que tiene una tendencia negativa, mientras que el modelo UHADC presenta en este mes su máxima tendencia, y el modelo ECHAM simula para el mes de mayo la máxima tendencia para ésta zona. Las tendencias de los modelos ECHAM y UHADC son contrarias de diciembre hasta abril, y muestran similitud en los meses posteriores.

Los modelos en la zona sur 2 tienen un comportamiento similar que la zona sur 1, ya que la máxima tendencia del modelo UHADC se observa es en el mes de enero, aunque presenta otra en septiembre, y la mínima tendencia negativa se muestra en junio. El modelo ECHAM opuesto al modelo UHADC señala para el mes de enero una disminución de la temperatura, y en mayo un aumento de la misma.

En la zona sur 3 sucede algo similar que en la zona sur 1 y 2, ya que para el mes de enero el modelo UHADC muestra la máxima tendencia de temperatura, y en junio la mínima, mientras que el modelo ECHAM tiene en enero la mínima tendencia y en mayo el mayor aumento de la temperatura. Las tendencias de los modelos para la zona sur son de forma generalizada positivas y tienden a ser contrarias.

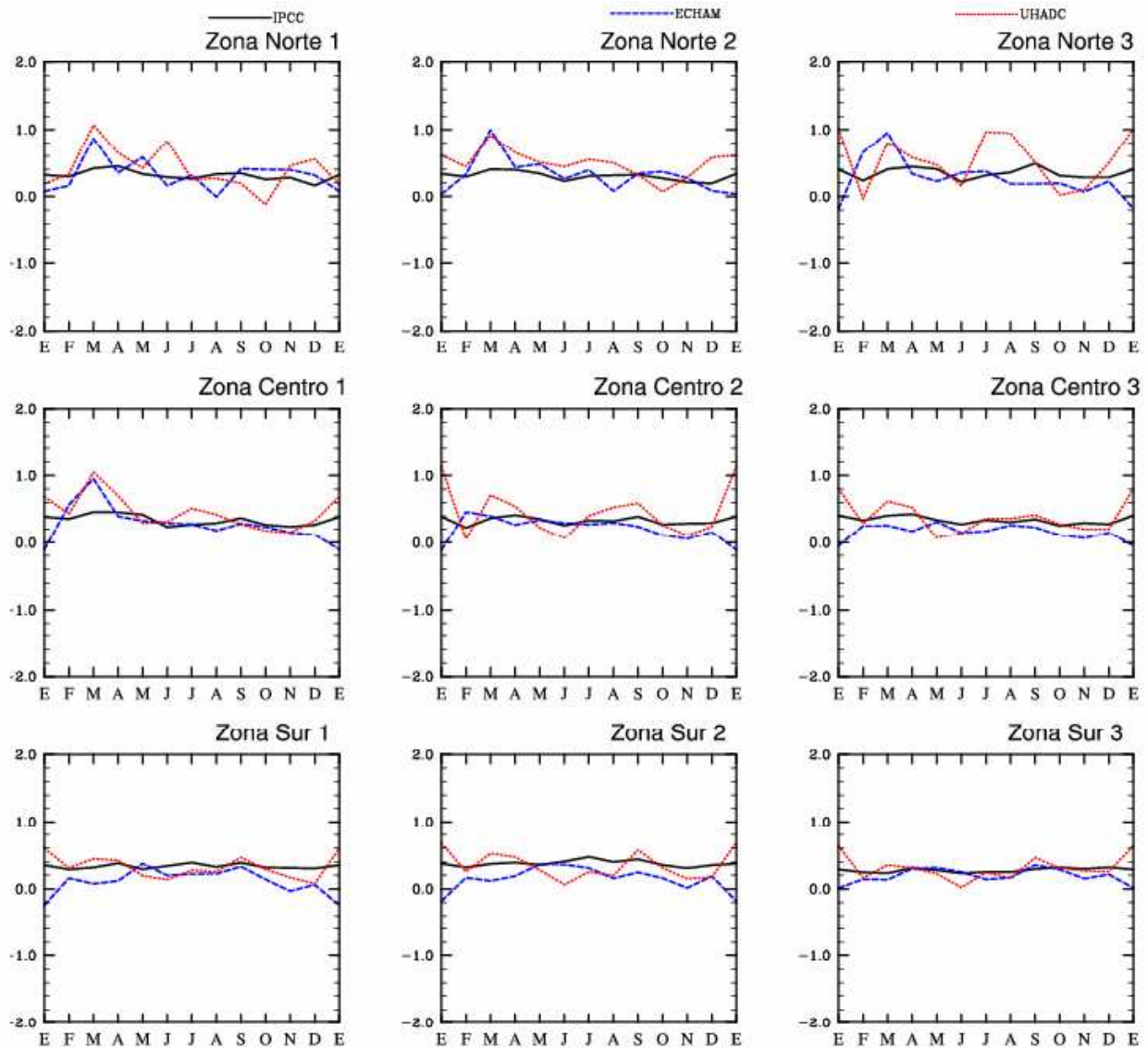


Figura 6.83 – Tendencia mensual de temperatura (°C/década) para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2010-2039.

ENERO

En la figura 84 se muestran los mapas con la tendencia de temperatura del IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el mes de enero y el período 2010-2039.

La tendencia de temperatura del promedio de los modelos indica un aumento de la temperatura en toda la República Mexicana, con núcleos de mayor intensidad en el noreste, centro y sureste.

El modelo ECHAM presenta la para este mes y período una tendencia similar al IPCC ya que también presenta tendencias negativas para todo México, y con mayor valor en el altiplano, centro y sureste del país, sin embargo en la frontera noreste de México de observa una disminución de la temperatura significativa, es decir una tendencia positiva.

Las tendencias del modelo HADLEY presentan mayor similitud con el promedio de los modelos, ya que señala un aumento de la temperatura en el noreste, centro y sureste y sur de la península de Yucatán, mientras que en el noroeste las tendencias de temperatura son ligeramente negativas.

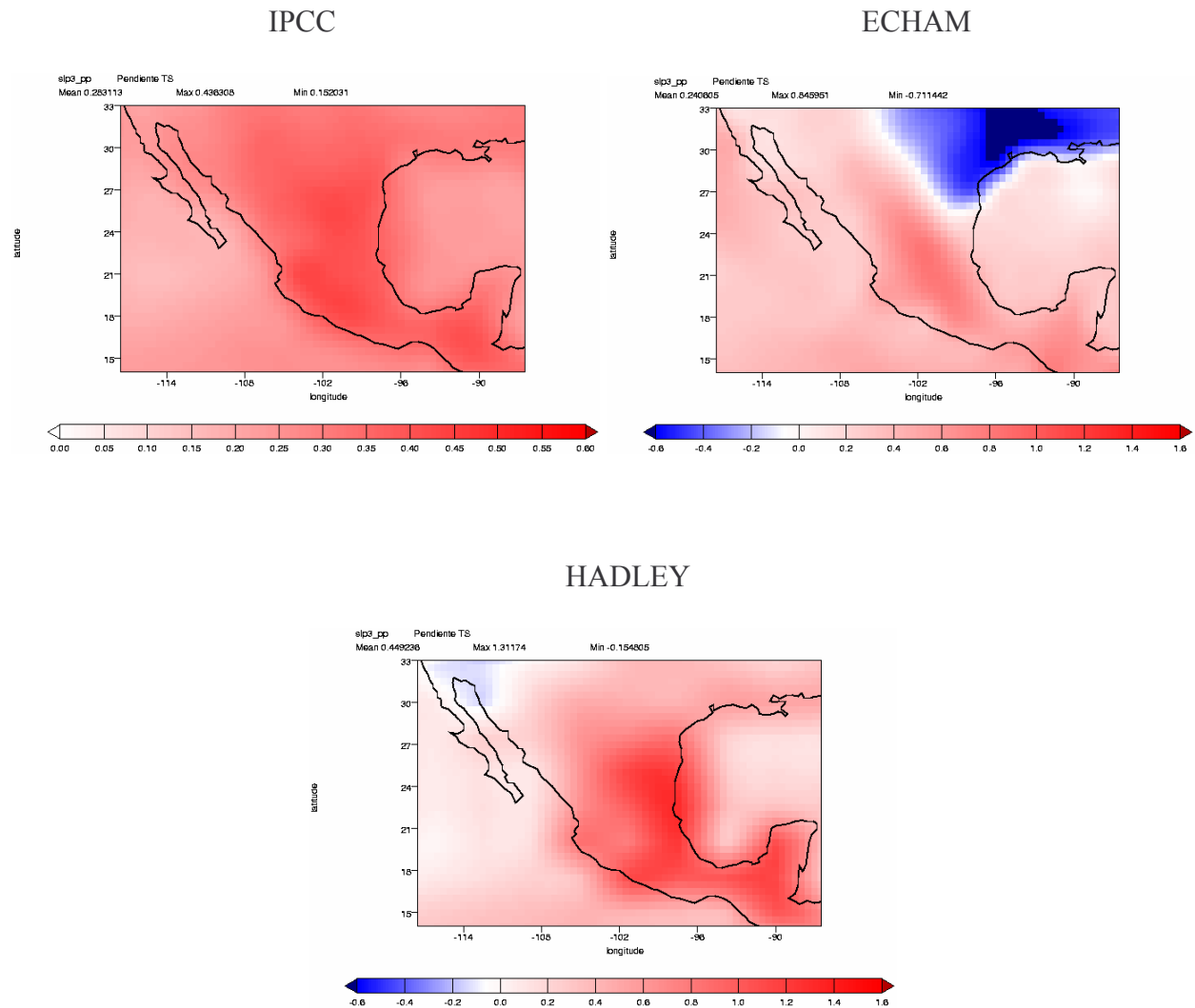


Figura 6.84 – Tendencia lineal de temperatura (°C/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2010-2039.

ABRIL

En la figura 6.85 se presentan los mapas con la tendencia de temperatura para el mes de abril, del promedio de quince modelos (IPCC) y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el período 2010-2039.

El IPCC nuevamente como el mes anterior tiene para este período un aumento de temperatura en toda la República Mexicana principalmente en el noroeste, altiplano y centro, donde las tendencias son mayores.

Las tendencias del modelo ECHAM para este período y mes indican un aumento de la temperatura en el noreste, este del altiplano, centro, sur, sureste donde las tendencias son mayores, y la Península de Yucatán, sin embargo las tendencias de este modelo son menores que las que presenta el IPCC. En el noroeste no se observa una tendencia de temperatura significativa.

El modelo HADLEY tiene de forma similar que el IPCC y el modelo ECHAM tendencias positivas en toda la República Mexicana, aunque estas son mayores que las del IPCC y ECHAM, especialmente en la zona costera del Golfo de México, noreste, oeste de la Sierra Madre Occidental, centro y sureste mexicano, observándose un núcleo con tendencias máximas en el norte del estado de Veracruz, y los estados de Hidalgo y Querétaro.

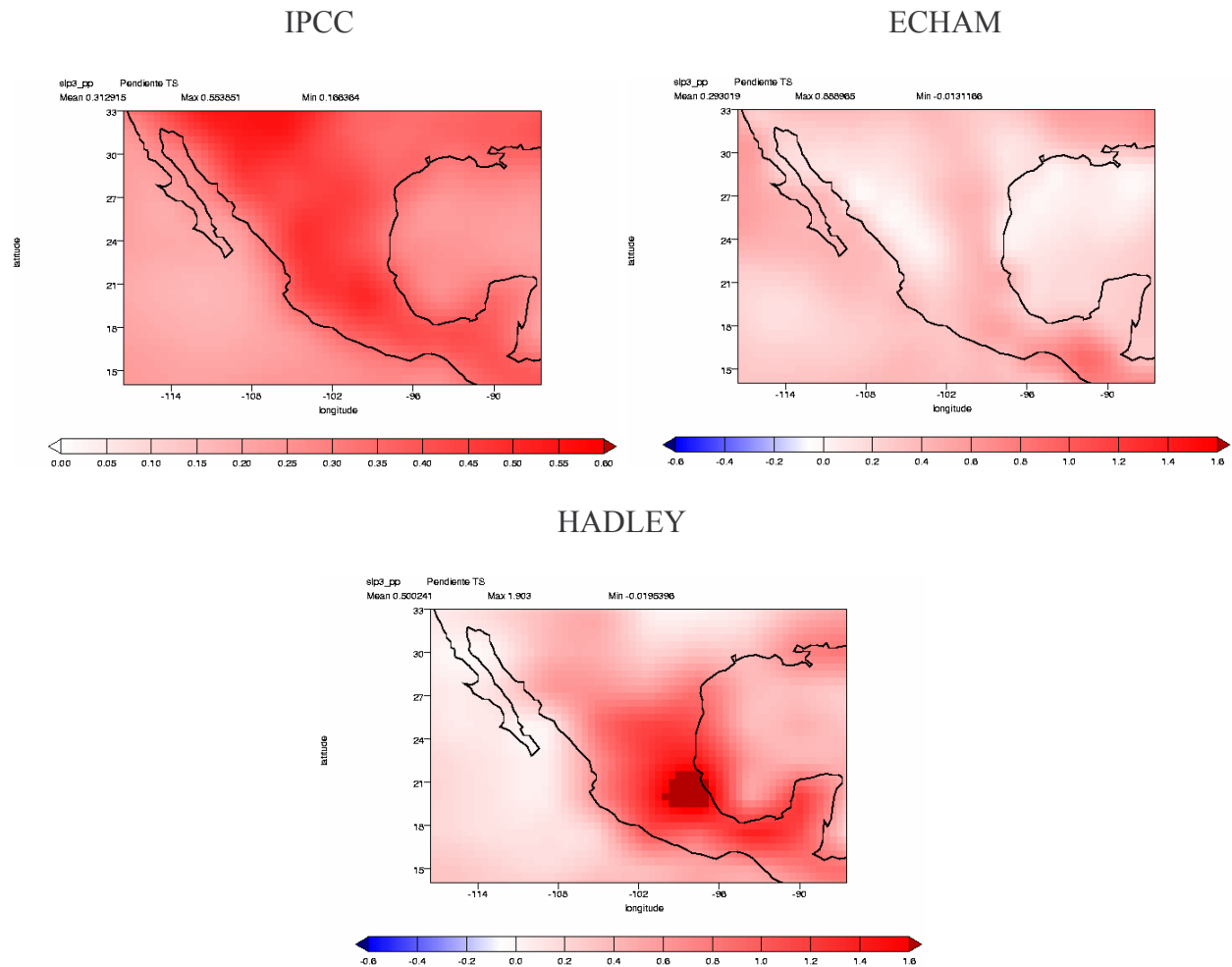


Figura 6.85 – Tendencia lineal de temperatura (°C/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2010-2039.

JULIO

La figura 86 muestra los mapas con las tendencias de temperatura de julio, del IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (ECHAM), en el período 2010-2039.

El IPCC en el mes de julio señala un aumento de la temperatura en toda la República Mexicana con mayor énfasis en el sureste del país, para el período antes mencionado.

El modelo ECHAM también muestra tendencias positivas en todo el país, observándose las mayores tendencias en el sureste y noroeste, sin embargo estas son menores, comparadas con las tendencias del IPCC, mientras que en el noreste y altiplano no se aprecia una tendencia de temperatura significativa.

El modelo HADLEY de forma similar al IPCC y el modelo ECHAM señala un aumento de la temperatura en la mayor parte del país, aunque de menor intensidad, principalmente en la zona costera de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero, y en la Península de Yucatán, sureste y noreste del país. En el noroeste las tendencias de temperatura indican una disminución importante de la misma.

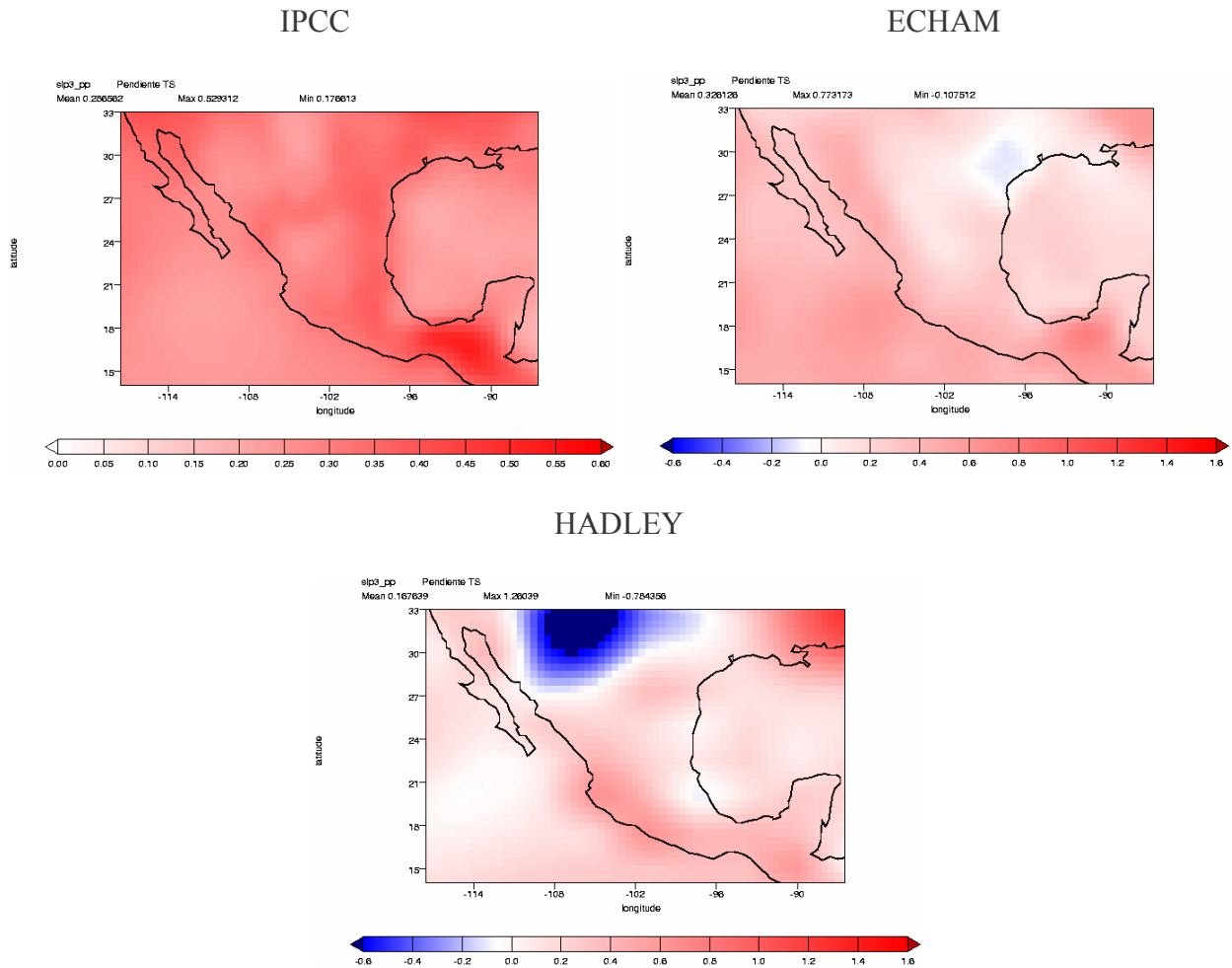


Figura 6.86 – Tendencia lineal de temperatura (°C/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2010-2039.

OCTUBRE

En la figura 87 se presentan las tendencias de temperatura para el mes de octubre y el período 2010-2039, del IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY.

La tendencia de temperatura del promedio de los quince modelos es positiva en toda la República Mexicana, aunque se aprecia que en el sureste, noreste y noroeste éstas son máximas.

El modelo ECHAM tiene en la mayoría del país un tenue aumento de la temperatura, dichas tendencias son más significativas en el noreste y en la zona costera del Golfo de México.

La simulación del modelo HADLEY señala un aumento de temperatura en el sureste y altiplano Mexicano, aunque en general todo el territorio nacional presenta ligeras tendencias positivas, excepto en el noroeste del país.

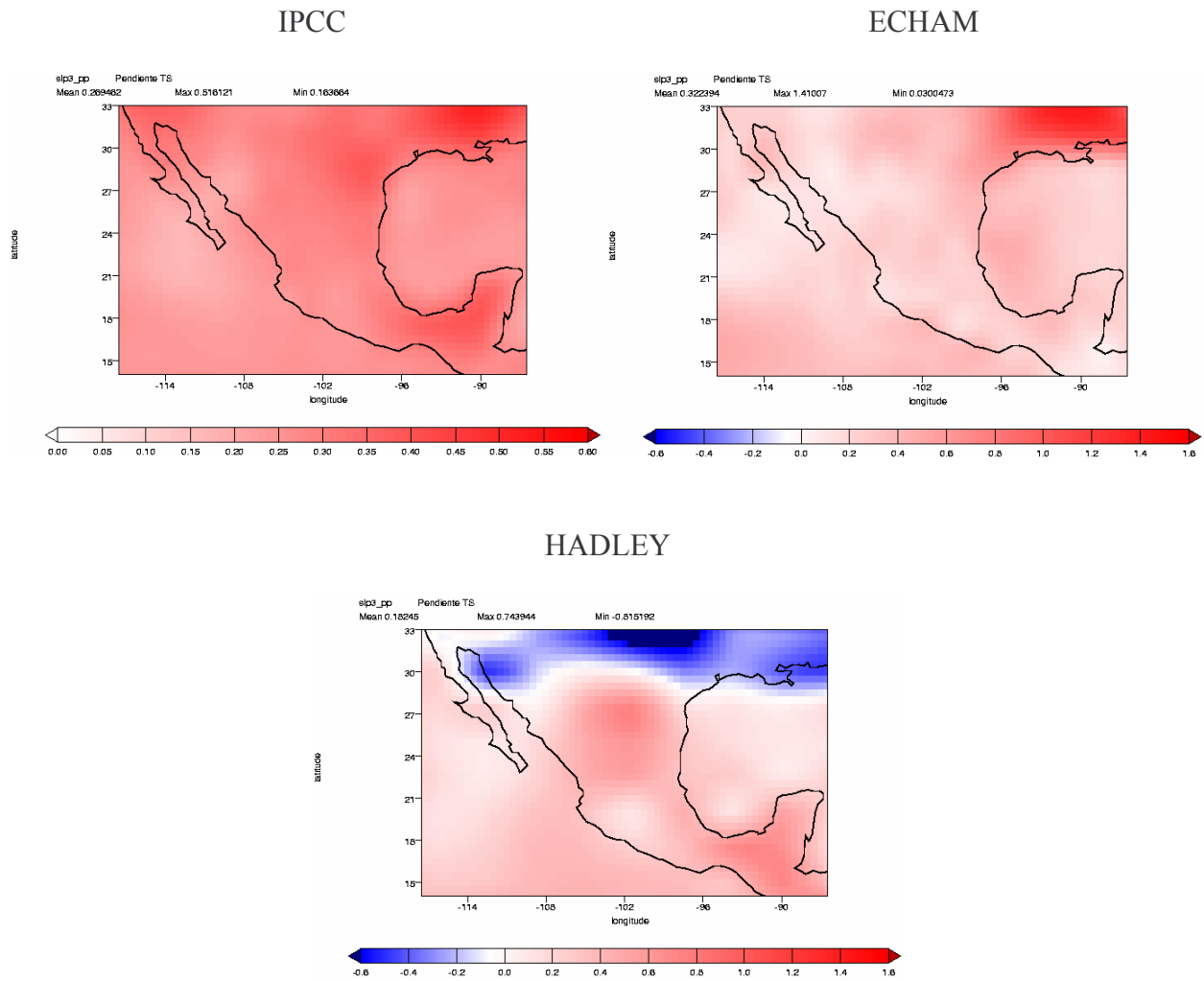


Figura 6.87 – Tendencia lineal de temperatura (°C/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2010-2039.

6.4.5 Temperatura 2040-2069

La figura 6.88 muestra la climatología de temperatura del IPCC y los modelos ECHAM y UHADC (HADLEY), para el período 2040-2069, en nueve regiones geográficas de México.

La climatología de los modelos para la zona norte del país se comporta similar entre ellas para las tres zonas, con rangos de temperatura entre los 10 y 30°C. En la zona norte de mayo a septiembre, se presentan los mayores valores de temperatura para la región. En las zonas norte 1 y 2 los modelos simulan adecuadamente la climatología, pero para la zona norte 3 las diferencias comienzan a ser más notables entre ellos.

En la zona centro los modelos simularon valores de temperatura entre los 14 y 28°C para la zona centro 1 y 2, y para la zona centro 3 con valores de entre 18 y 28°C. El modelo HADLEY presenta sus valores mayores de temperatura de marzo a julio en la zona centro 1 y 3, mientras que en la zona centro 2 lo hace prácticamente de marzo hasta septiembre. En la zona centro 3 los modelos simulan adecuadamente la climatología sin tener grandes variaciones entre ellos, al igual que en la zona norte 1.

La región sur muestra una climatología simulada muy suave por los modelos. Con valores entre los 20 y 30°C para la zona sur 1 y entre los 20 y 34°C para las zonas sur 2 y 3. El modelo HADLEY es el que presenta los valores de temperatura más elevados para los meses de junio a noviembre en la zona sur 1, de abril a diciembre en la zona sur 2 y prácticamente para todos los meses para la zona sur 3. El modelo ECHAM muestra un ligero pico para el mes de abril en las zonas 1 y 2.

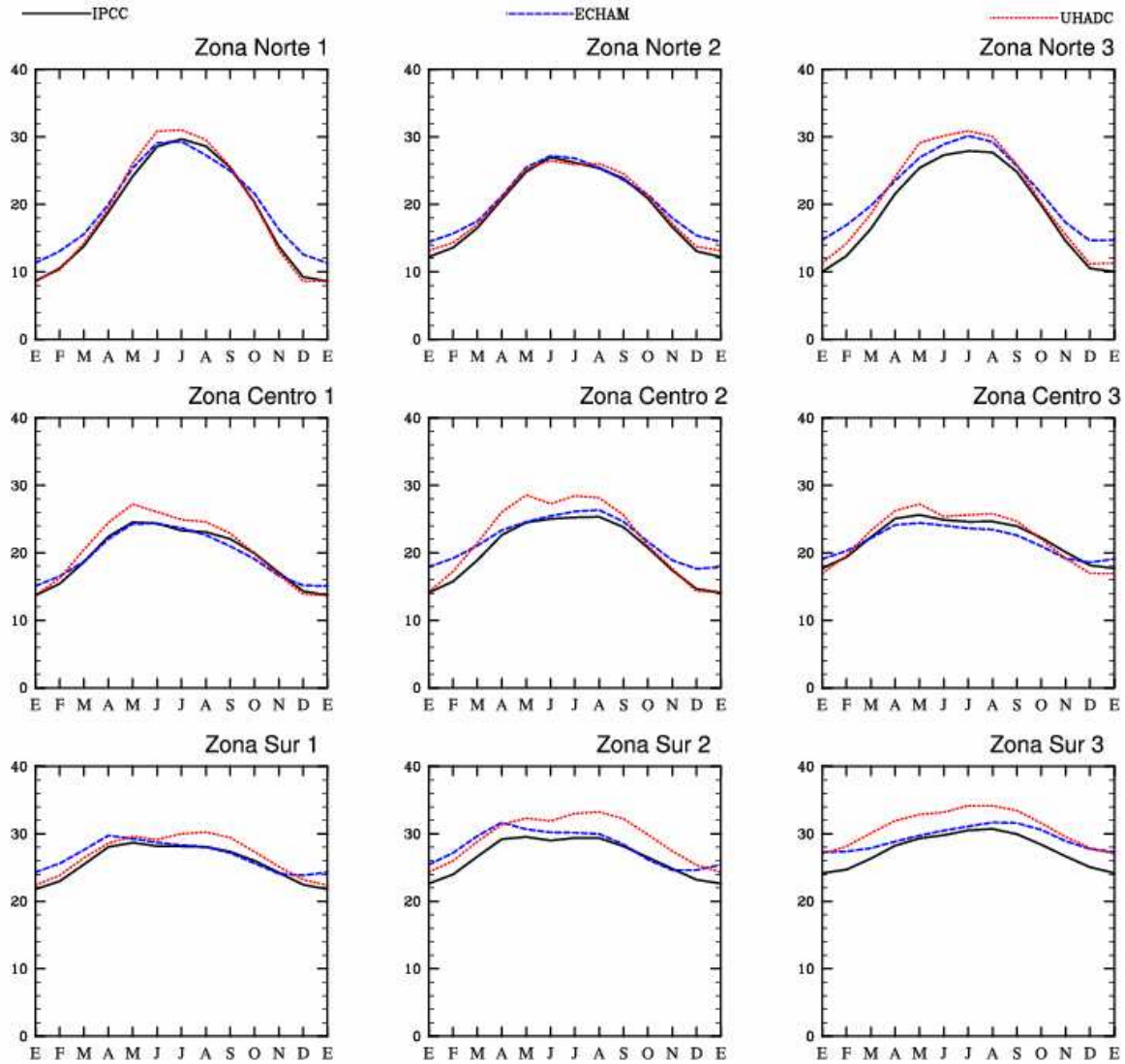


Figura 6.88 – Promedio climatológico mensual de la temperatura (°C) para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el escenario 2040-2069.

La figura 6.89 presenta las tendencias de temperatura del promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y UHADC (HADLEY), para el período 2040-2069, en nueve zonas geográficas de México.

Para la zona norte del país en general los modelos muestran tendencias de temperatura positiva para prácticamente todo el año, con excepción en el mes de enero, en la zona 3 donde la tendencia del modelo ECHAM se comporta ligeramente negativa en este mes. Los modelos ECHAM y HADLEY, muestran picos elevados para el mes de marzo en las tres regiones. En la zona norte 1 y 2, los modelos tienen tendencias similares entre ellos, pero en la zona 3, estos modelos presentan grandes variaciones.

En la zona centro las tendencias se siguen mostrando positivas para las tres zonas, los modelos ECHAM y HADLEY concuerdan con un pico máximo para el mes de febrero en la zona centro 1. En la zona centro 2, el modelo HADLEY presenta tendencias bruscas durante todo el año, mientras que en la zona centro 3 los modelos tienden a simular suavemente la tendencia positiva. El IPCC no muestra picos bruscos en su tendencia.

La región sur, presenta tendencias positivas en las tres regiones, es de notar que las tendencias de los modelos no presentan picos bruscos como lo hacen en las zonas norte y centro. El modelo ECHAM muestra tendencias negativas para el mes de enero en las zonas sur 1 y 2, mientras que el modelo HADLEY muestra tendencias con picos positivos para el mismo mes. En la zona sur 1 el modelo ECHAM presenta tendencias positivas máximas de 10°C en los meses de mayo y septiembre, mientras que el HADLEY presenta tendencias positivas con máximos de hasta 20°C en el mes de enero.

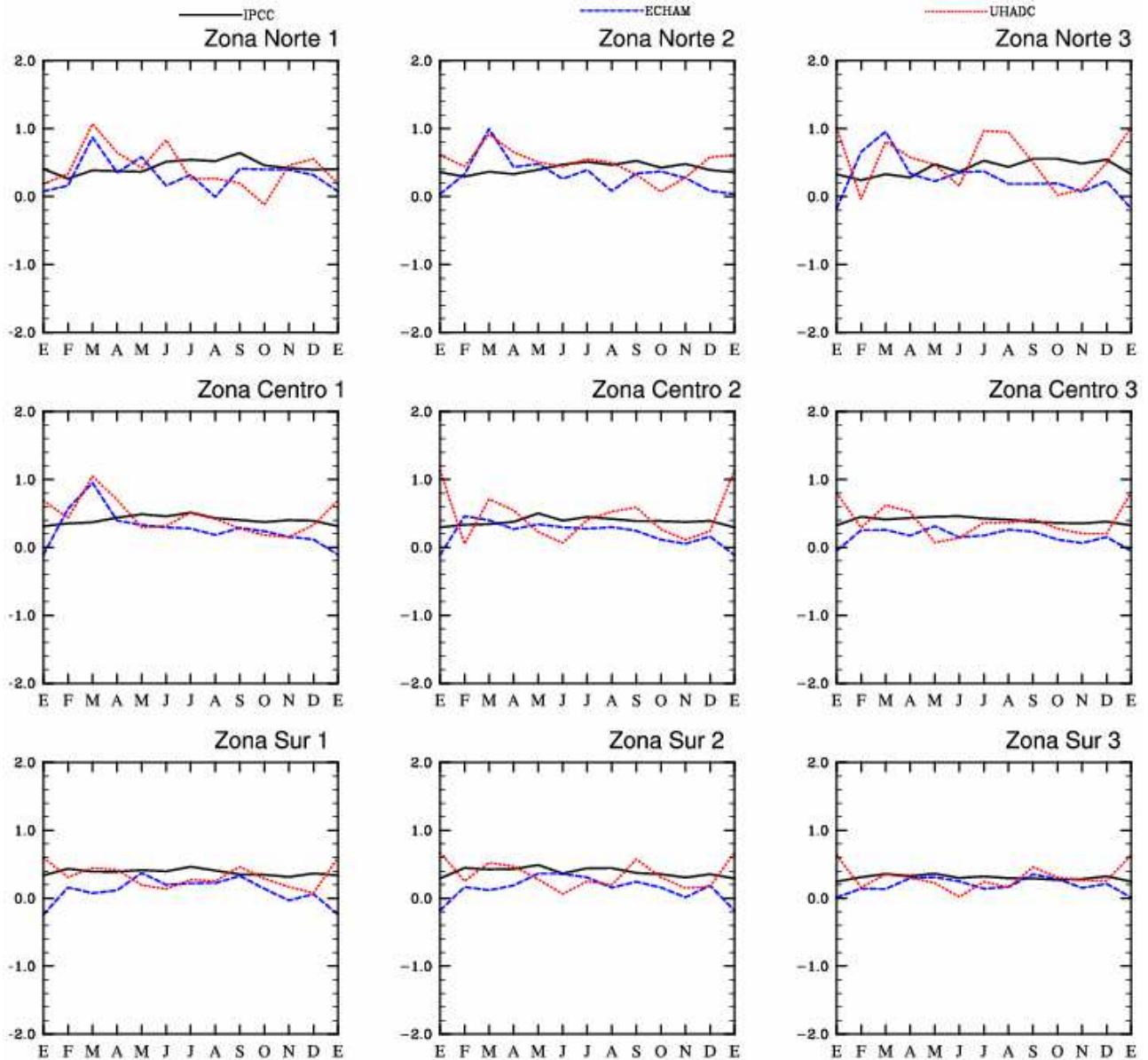


Figura 6.89 – Tendencia mensual de temperatura (°C/década) para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2040-2069.

ENERO

En la figura 6.90 se presentan los mapas con la tendencia de temperatura del IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el período 2040-2069.

En general los modelos simulan condiciones de un aumento de temperatura prácticamente para todo el territorio nacional. La región del noroeste de México muestra tendencias claras a un aumento simulado por los modelos ECHAM y HADLEY, además del promedio de los 15 modelos representados por el IPCC. Solo el HADLEY muestra un pequeño núcleo negativo, sobre el sureste y occidente del país. Este mismo modelo presenta tendencias sin cambios significativos para la vertiente oriental de nuestro país, partes del centro y Península de Yucatán.

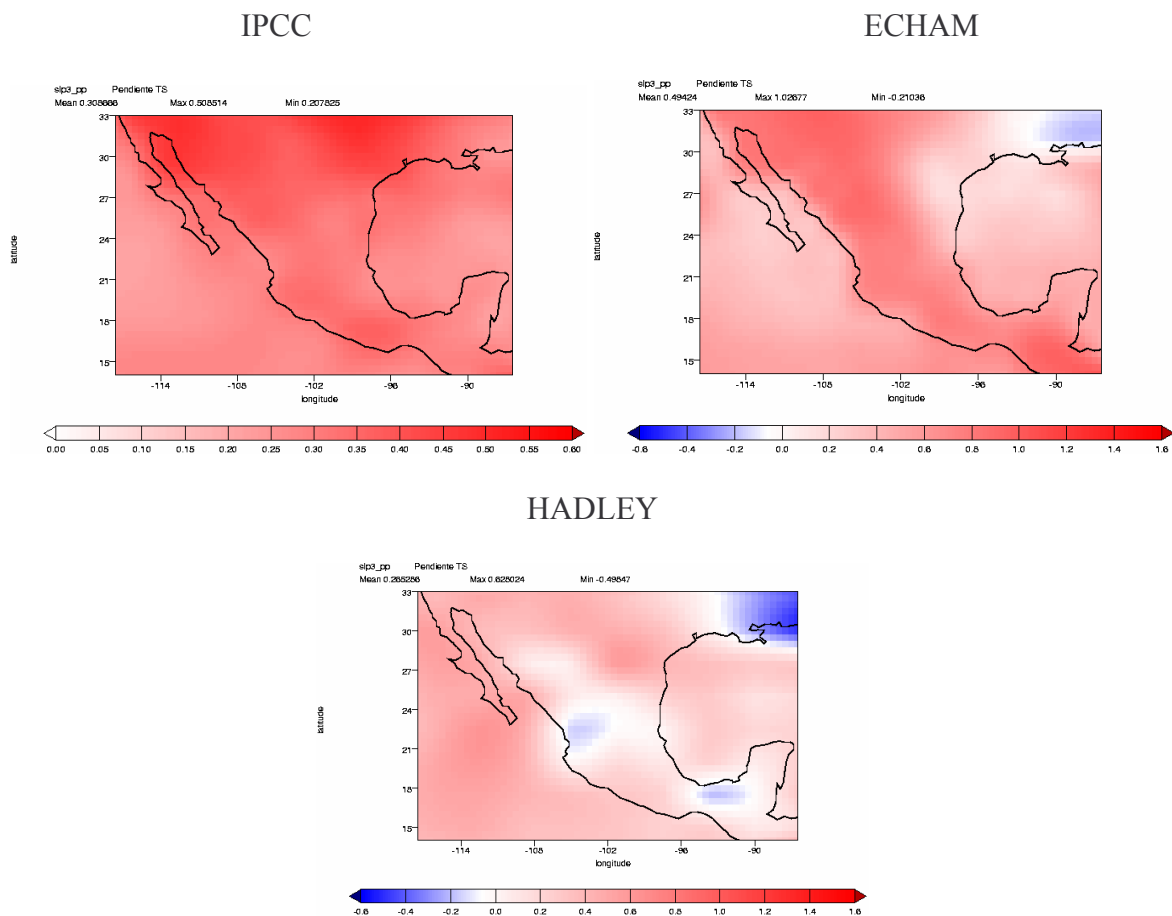


Figura 6.90 – Tendencia lineal de temperatura (°C/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2040-2069.

ABRIL

En la figura 6.91 se presentan los mapas de tendencia de temperatura del IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el período 2040-2069.

Las tendencias de temperatura para el mes de abril, en todos los modelos, presentan tendencias similares, muestran una tendencia positiva de temperatura prácticamente para todo el territorio nacional, con excepción del modelo HADLEY que presenta una ligera tendencia negativa para la región del noroeste. Las regiones del sureste y del centro muestran tendencias a un aumento mucho más fuerte de la temperatura en los modelos ECHAM y HADLEY y el IPCC, solo el ECHAM e IPCC lo hacen para el noroeste del país.

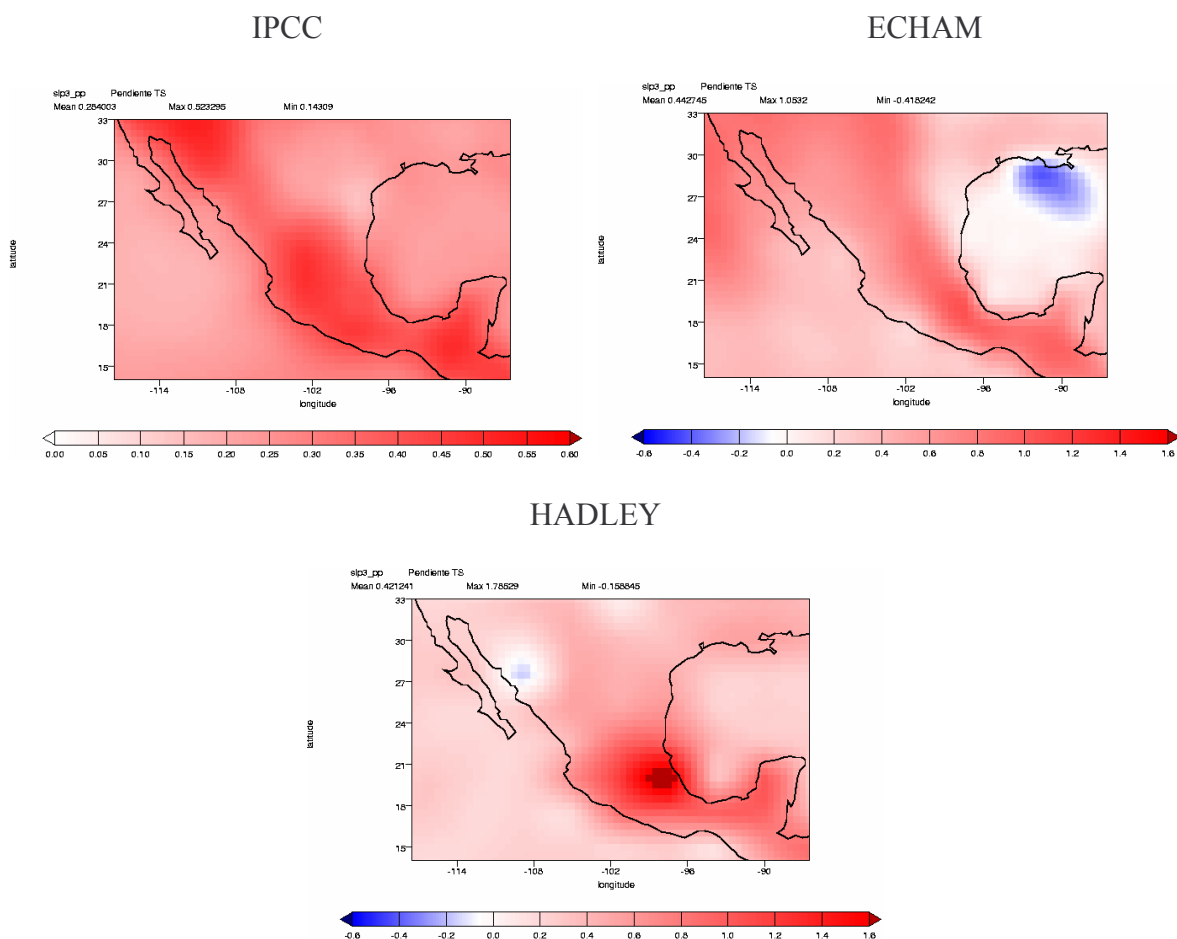


Figura 6.91 – Tendencia lineal de temperatura (°C/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2040-2069.

JULIO

La figura 6.92 muestra los mapas con la tendencia de temperatura para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el período 2040-2069.

Para el mes de julio las tendencias que señalan un aumento de temperatura vuelven de nuevo, a ser evidentes para toda la República Mexicana, sobre todo para la región del norte del país donde los valores son mayores, al igual que el occidente del país. Para el sur y Península de Yucatán los valores siguen siendo positivos pero no tan fuertes como en las otras regiones. El modelo ECHAM es el que simulo tendencias mucho más suaves para la República Mexicana, mientras el HADLEY e IPCC muestran las tendencias más fuertes.

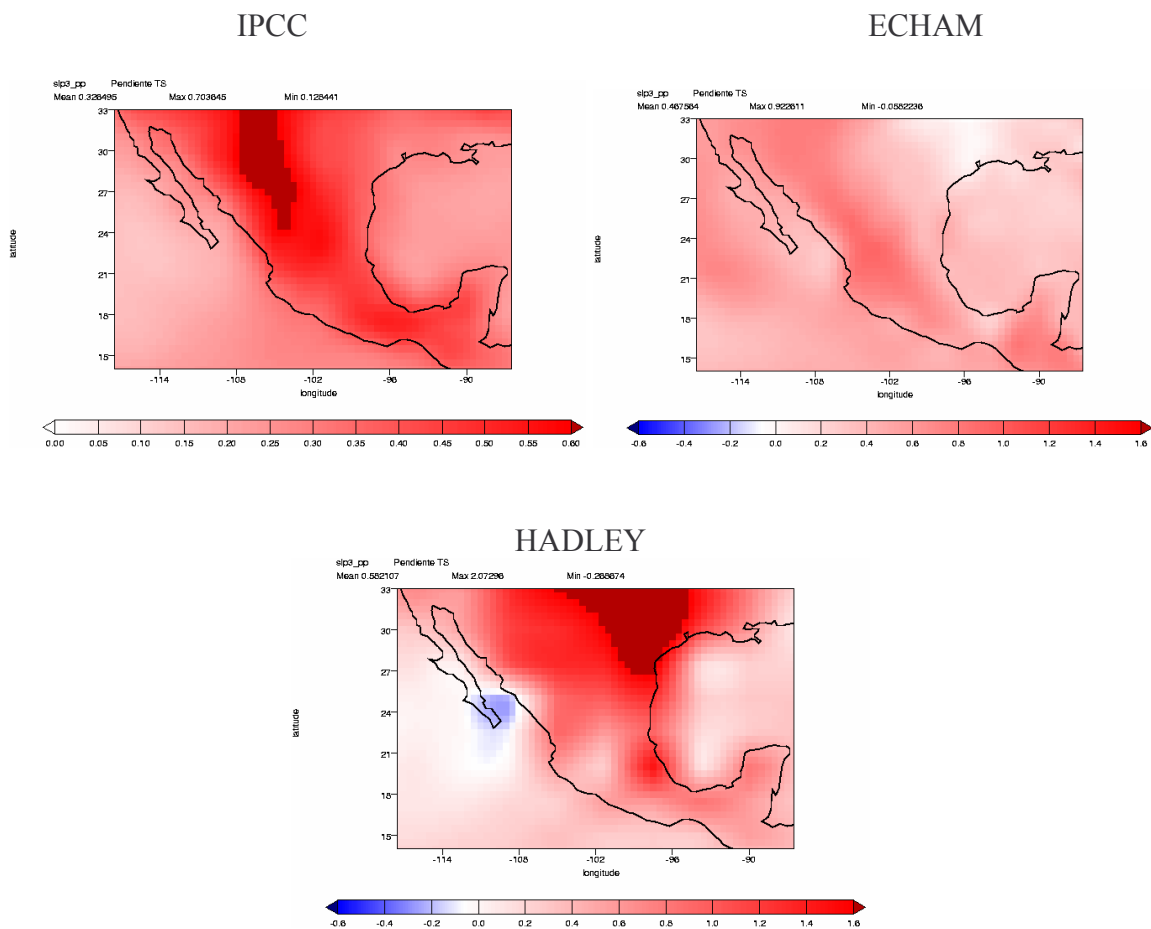


Figura 6.92 – Tendencia lineal de temperatura (°C/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2040-2069.

OCTUBRE

La figura 6.93 se muestran los mapas con la tendencia de temperatura del promedio de quince modelos representados como IPCC, y los modelos ECHAM y UHADC (HADLEY).

En octubre las tendencias no se muestran diferentes a los otros meses, la temperatura tiende a aumentar en prácticamente todo el país. El modelo ECHAM, HADLEY y el promedio de los 15 modelos representados por el IPCC, muestran un aumento marcado de la temperatura para la zona norte del país. El IPCC y el modelo HADLEY, muestra valores fuertes marcados sobre todo para el noreste del país. El ECHAM suaviza las tendencias positivas prácticamente para toda la región del centro, sur y sureste de México.

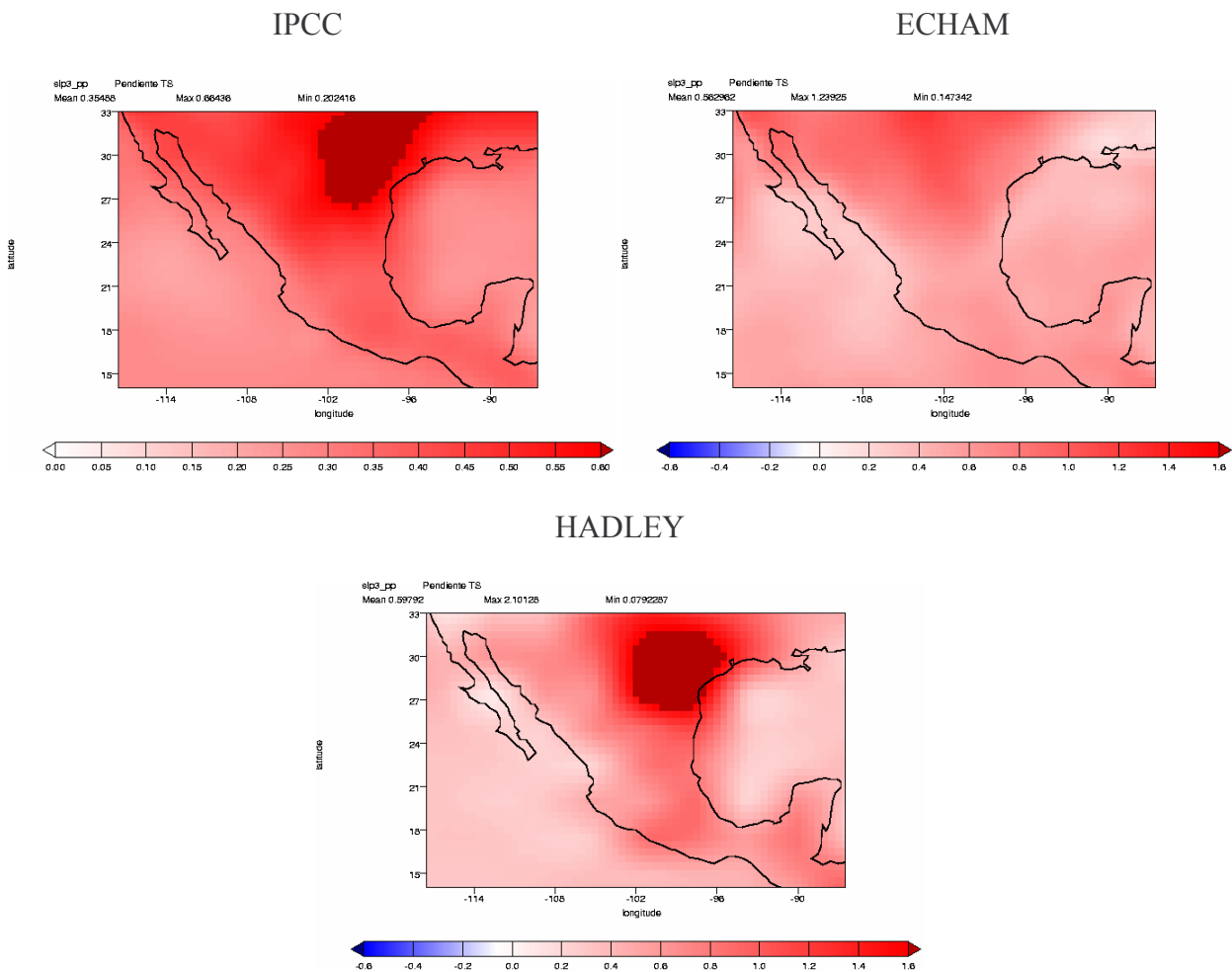


Figura 6.93 – Tendencia lineal de temperatura (°C/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2040-2069.

6.4.6 Temperatura 2070-2098

La figura 6.94 muestra la climatología de temperatura del IPCC y los modelos ECHAM y UHADC (HADLEY), para el período 2070-2098, para nueve zonas geográficas.

La climatología de temperatura de los modelos para la zona norte 1, señalan que el mes más calido será junio de acuerdo al modelo UHADC y julio el modelo ECHAM y el IPCC.

El modelo ECHAM presenta valores superiores en comparación al IPCC y el modelo UHADC en los meses de septiembre hasta abril, mientras que el modelo UHADC lo hace de mayo hasta agosto.

El IPCC por el contrario presenta los menores valores climatológicos de temperatura principalmente de abril a julio.

En la zona norte 2 la máxima temperatura se espera en el mes de junio de acuerdo con las simulaciones de los modelos.

El modelo ECHAM para ésta zona presenta temperaturas mayores que UHADC y el IPCC en todos los meses del período de estudio, mientras que el IPCC presenta los menores valores climatológicos de temperatura, y las diferencias mas grandes entre ellos se observan en los meses de noviembre a febrero.

La zona norte 3 es donde se presentan las mayores diferencias entre los modelos, siendo junio el mes más cálido de acuerdo al modelo UHADC y julio al IPCC y ECHAM. El modelo UHADC únicamente presenta valores climatológicos por arriba de ECHAM y el IPCC de abril a julio, y el modelo ECHAM de agosto a marzo. El IPCC mantiene en todos los meses los menores valores de temperatura.

En la región centro el modelo UHADC es el que presenta los mayores valores de temperatura en casi todos los meses, y el IPCC los menores.

En la zona centro 1 se espera que mayo sea el mes con las más altas temperaturas con base en lo simulado por los modelos. En la zona centro 1 dicho modelo se encuentra por arriba de ECHAM y el IPCC desde febrero hasta agosto, mientras que el modelo ECHAM solo se comporta de esta forma en diciembre y enero.

La zona centro 2 muestra la máxima temperatura en el mes de julio según la simulación del modelo UHADC y agosto el modelo ECHAM y el IPCC. El modelo UHADC se ubica por arriba

de las demás simulaciones de marzo a septiembre, y el modelo ECHAM de octubre a febrero, sin embargo las mayores diferencias se tienen en los meses de mayo hasta julio.

Para la zona centro 3, los modelos simulan la máxima temperatura en el mes de mayo, y el modelo UHADC presenta valores superiores de temperatura al IPCC y ECHAM de marzo a septiembre, mientras el modelo ECHAM solo en el mes de diciembre muestra esta característica, ya que de mayo a octubre la climatología de este modelo tiene los menores valores.

En la región sur el modelo UHADC es el que nuevamente tiene los mayores valores de temperatura, en los meses de estudio, y los menores corresponden como en la región centro al IPCC.

El modelo ECHAM y el IPCC señalan que la máxima temperatura en la zona sur 1 se tendrá en abril, y el modelo UHADC en agosto. Este modelo presenta superioridad al modelo ECHAM y el IPCC en los meses de junio a noviembre, mientras que el modelo ECHAM lo hace en los meses de enero hasta mayo.

En la zona sur 2 el mes más cálido se espera sea abril de acuerdo al modelo ECHAM y el IPCC, y agosto según el modelo UHADC, dicho modelo tiene valores mayores en comparación al ECHAM y el IPCC de mayo a enero, y el modelo ECHA M solo en los meses de febrero, marzo y abril.

El modelo UHADC señala el mes con la temperatura más alta será julio para la zona sur 3, y el IPCC y el modelo ECHAM indica que será septiembre.

El modelo UHADC presenta en todos los meses una superioridad en los valores climatológicos de temperatura respecto al modelo ECHAM y el IPCC, este último tiene la menor temperatura para cada mes, en comparación con los modelos.

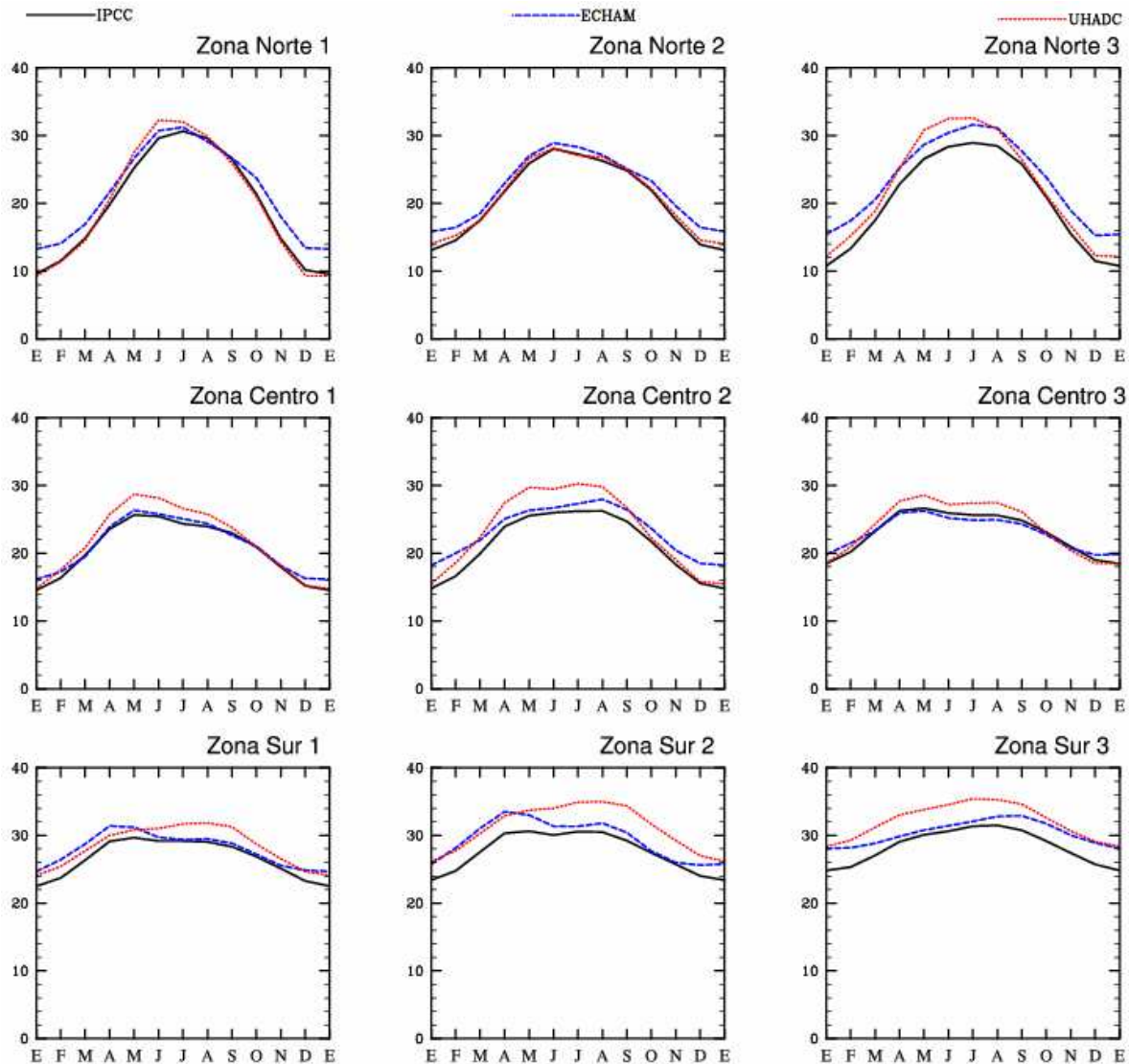


Figura 6.94 – Promedio climatológico mensual de la temperatura (°C) para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el escenario 2070-2098.

Las tendencias de temperatura en la región norte son positivas con base en las simulaciones de los modelos, que señalan una máxima tendencia en el mes de marzo en las tres zonas del norte, aunque el modelo UHADC tiene otro máximo en los meses de julio y agosto, mientras que el modelo

ECHAM indica una disminución de la temperatura significativa en el mes de enero.

En la zona centro los modelos también señalan tendencias positivas, excepto el modelo ECHAM en el mes de enero que muestra una tendencia negativa en las tres zonas del centro, y un tendencia máxima en marzo en la zona centro 1 y en mayo para las zonas centro 2 y 3. El modelo UHADC por su parte presenta una máxima tendencia para la zona centro 1 en marzo, en la centro 2 en enero, marzo y agosto, y en la centro 3 en enero y marzo nuevamente.

En la región sur la tendencia para cada mes son en su mayoría positivas, con excepción del mes de enero de acuerdo a lo simulado por el modelo ECHAM que tiene en este mes la menor tendencia en las tres zonas, y el mayor aumento de la temperatura se observa en el mes de mayo. El modelo HADLEY contrario al modelo ECHAM muestra la mayor tendencia en el mes de enero en toda la región sur, aunque la zona sur 2 tiene otra máxima tendencia en septiembre, y picos que indican un decremento de la temperatura en la zona sur 1 y 2, aunque esta ultima presenta otro mínimo en junio al igual que la zona sur 3.

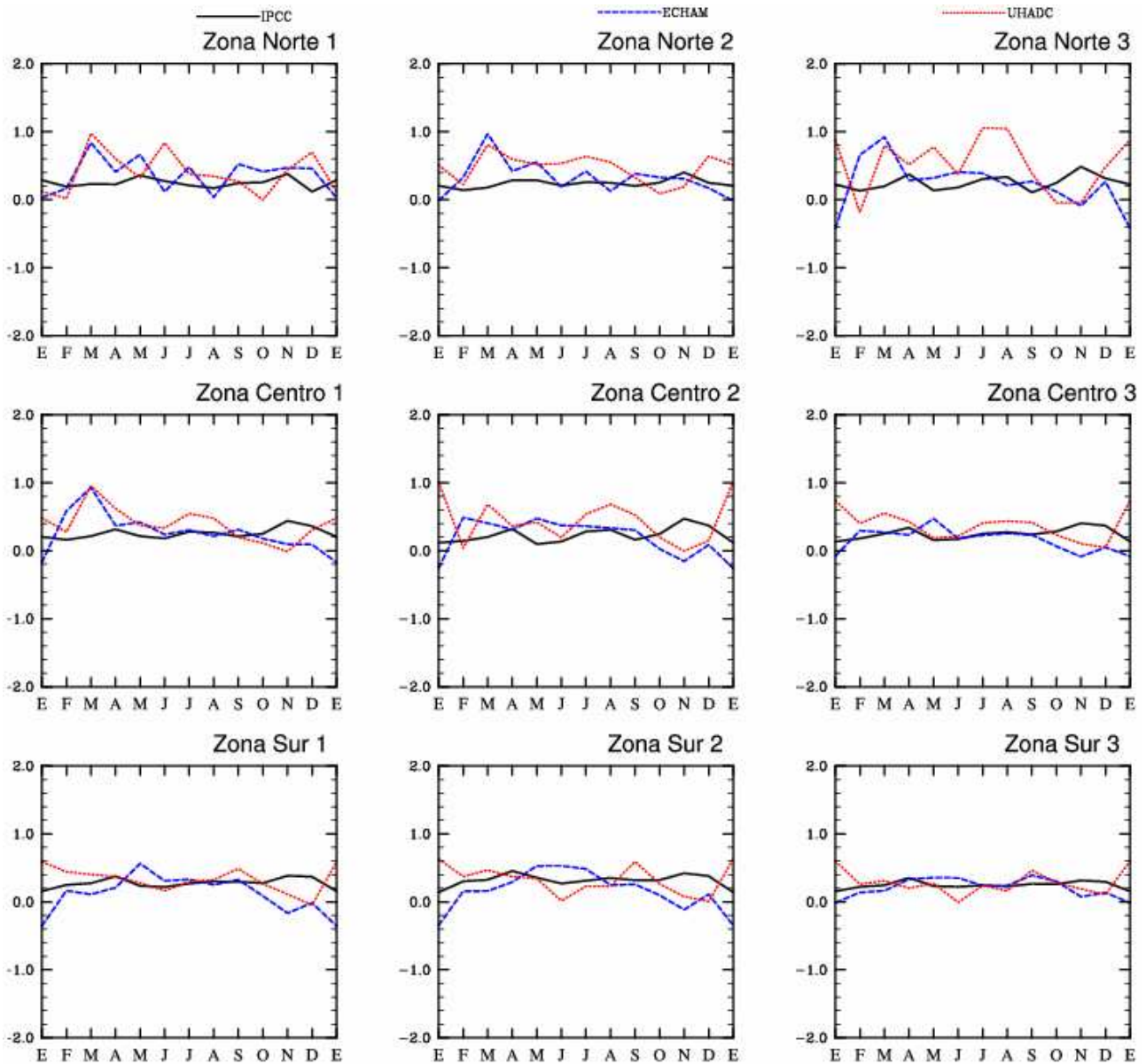


Figura 6.95 – Tendencia mensual de temperatura (°C/década) para el IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2070-2098.

ENERO

En la figura 6.96 se presentan los mapas con la tendencia de temperatura del IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el período 2070-2098.

Para enero los modelos ECHAM, HADLEY y el promedio de los 15 modelos representados por el IPCC, muestran una tendencia al aumento de la temperatura para el noroeste del país. El IPCC y el HADLEY coinciden con tendencias positivas hacia el noreste, cosa contraria con el modelo ECHAM que muestra tendencias negativas para dicha región, mostrando también un pequeño núcleo hacia la región del Istmo de Tehuantepec. En la vertiente occidental el IPCC y el HADLEY muestran tendencias positivas prácticamente para toda la región. Para el centro del país el ECHAM, HADLEY e IPCC muestran tendencias no muy significativas para el centro de México.

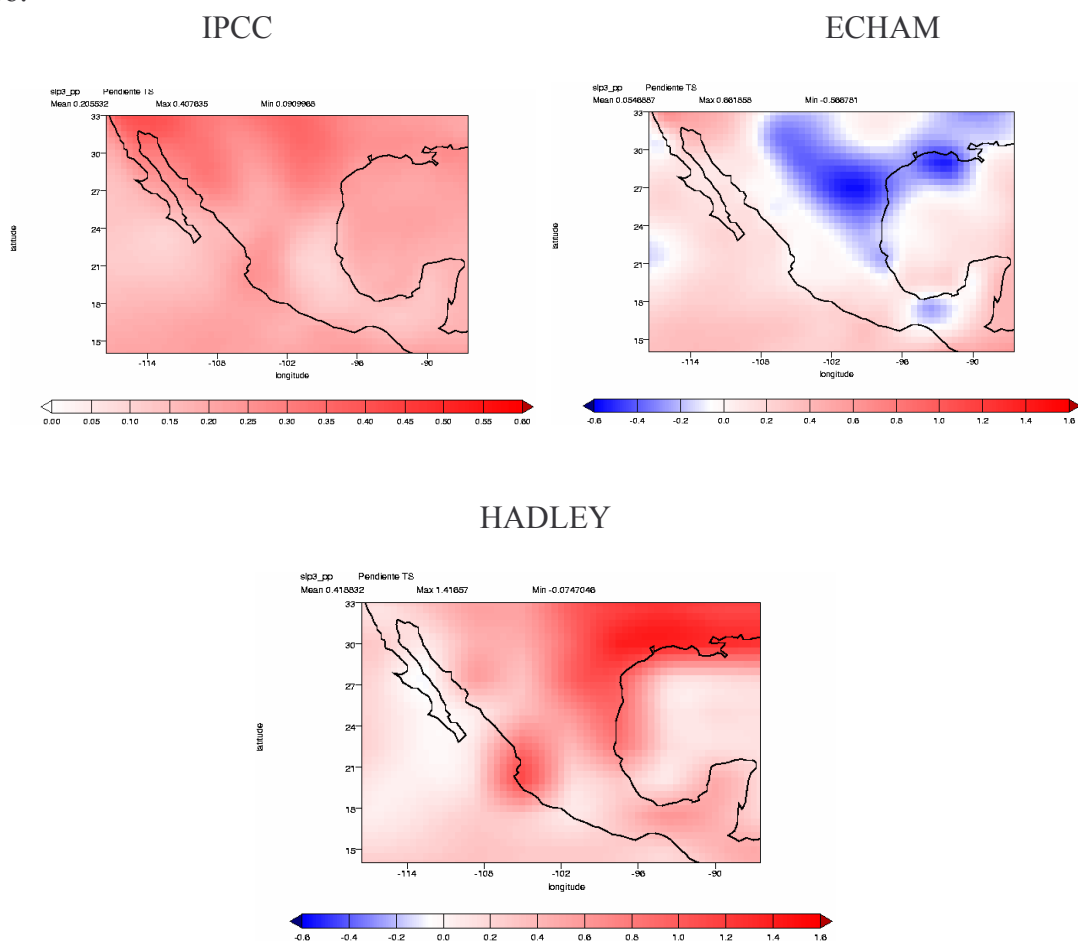


Figura 6.96 – Tendencia lineal de temperatura (°C/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2070-2098.

ABRIL

En la figura 6.97 se muestran los mapas con las tendencias de temperatura del IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el período 2070-2098.

Los modelos en general muestran para abril una tendencia hacia un aumento de la temperatura para todo México. El modelo ECHAM y el IPCC muestran tendencias marcadas para las regiones del noreste, centro, sur y sureste del territorio nacional. Por su parte el HADLEY solo muestra tendencias ligeramente fuertes para la región del Istmo de Tehuantepec, y noroeste de México, mientras que para el centro del país y noreste muestra tendencias poco significativas. El IPCC por su parte muestra tendencias positivas fuertes para el noreste, centro, sur y sureste del país.

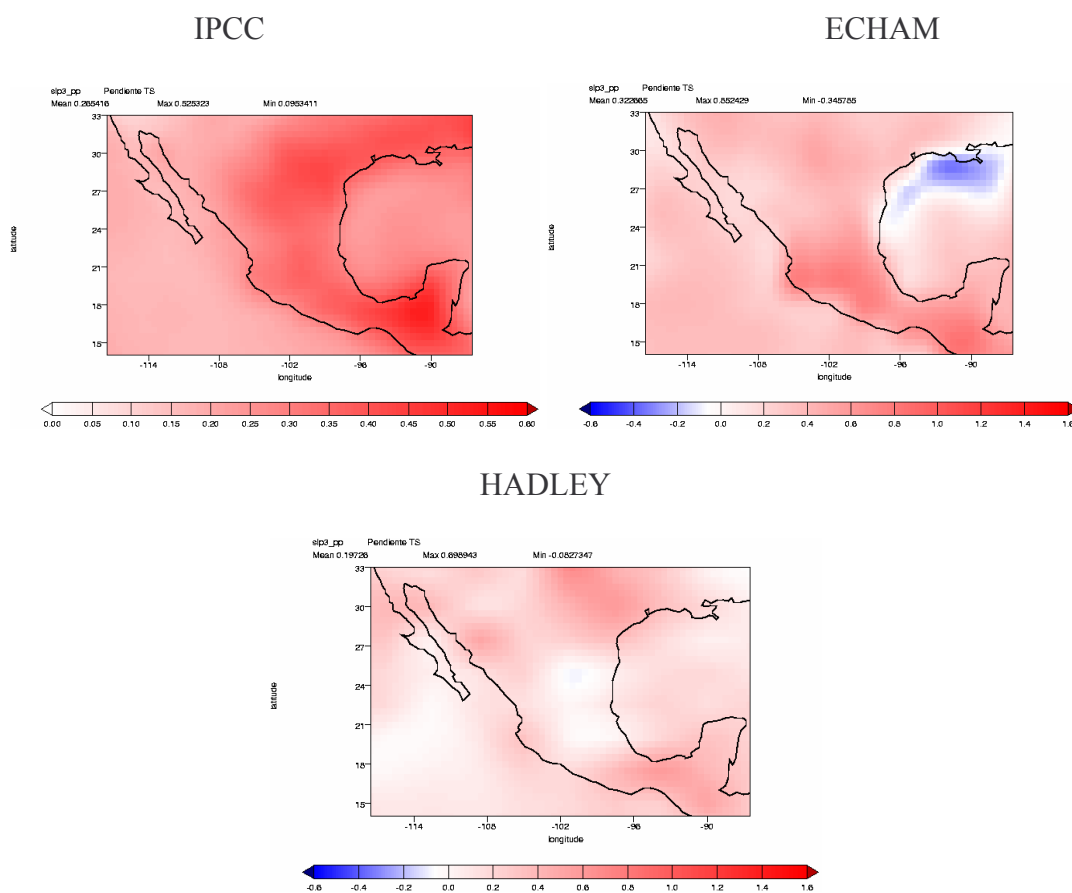


Figura 6.97 – Tendencia lineal de temperatura (°C/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2070-2098.

JULIO

En la figura 6.98 se presentan los mapas con las tendencias de temperatura del IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para México, en el período 2070-2098.

El IPCC y el modelo HADLEY, coinciden en tendencias positivas marcadas para la vertiente oriental y sureste de México, el modelo ECHAM por su parte presenta tendencias ligeramente positivas prácticamente para todo el país con excepción de una pequeña región localizada en el Istmo de Tehuantepec. El promedio de los quince modelos representados por el IPCC presenta las tendencias positivas más fuertes hacia la región noreste y el sureste de México. El modelo HADLEY presenta una ligera tendencia negativa hacia la frontera del noroeste con Estados Unidos.

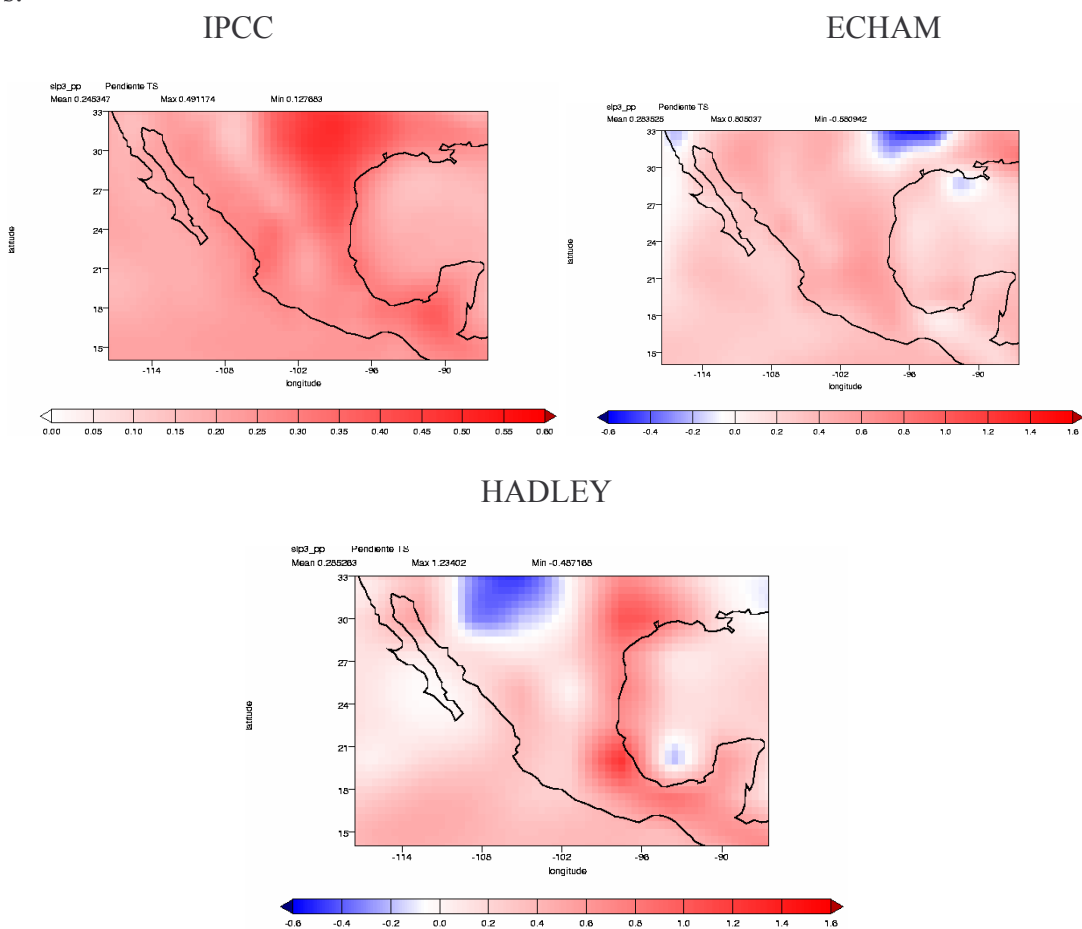


Figura 6.98 – Tendencia lineal de temperatura (°C/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2070-2098.

OCTUBRE

En la figura 6.99 se presentan los mapas de tendencia de temperatura del promedio de quince modelos representado como IPCC, y los modelos ECHAM y HADLEY (UHADC), para el período 2070-2098, para México.

Las tendencias marcadas para los escenarios del 2070 se muestran positivas para el mes de octubre, en prácticamente todo el país, los modelos ECHAM y HADLEY, junto con el promedio de los 15 modelos representados por el IPCC, muestran tendencias de aumento marcado de temperatura, para la región del norte y noreste de México. EL modelo HADLEY presenta las tendencias más fuertes hacia el noreste, centro y sureste de México. El modelo ECHAM presenta las tendencias de aumento más fuertes para la región del noroeste.

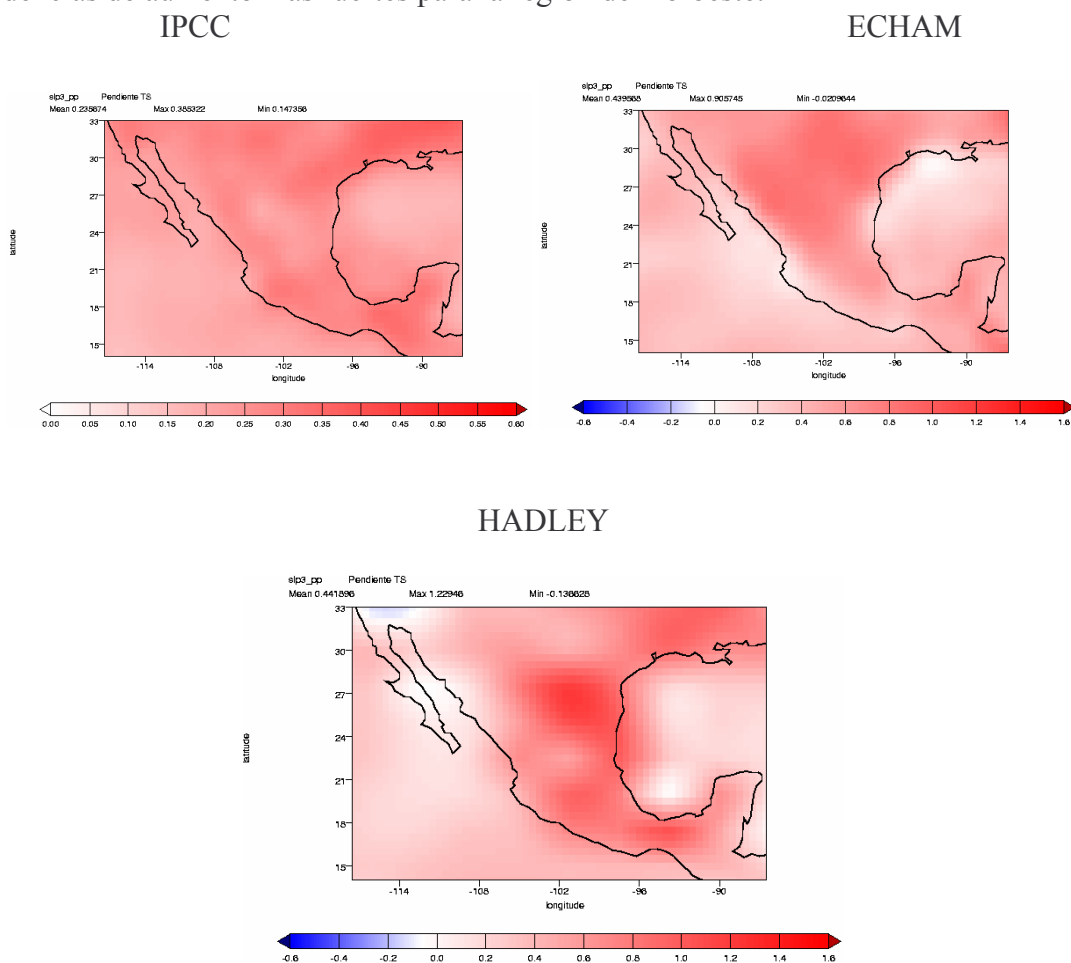


Figura 6.99 – Tendencia lineal de temperatura (°C/década) para el promedio de quince modelos representado como IPCC y los modelos ECHAM y HADLEY, para el período 2070-2098.

7 INTERNET 2

Como apoyo a las actividades de diversos proyectos que actualmente se llevan a cabo en el IMTA, como son el proyecto de modelación de clima y el de posgrado IMTA, se ha contemplado la implementación de la red Internet 2.

La Internet de hoy es el fruto de proyectos de investigación y colaboración entre Universidades norteamericanas por los años sesenta. Estos proyectos tuvieron un fuerte apoyo económico de empresas y entidades gubernamentales de los Estados Unidos. Así, Internet inicialmente fue una red académica orientada a la colaboración e investigación entre las distintas Universidades que conformaban esta red. Con el tiempo esta red académica evolucionó hasta lo que hoy es Internet, el medio de comunicación más importante del planeta.

La red central de Internet (en sus comienzos ARPAnet) pasó a ser NSFnet y hasta hoy es el backbone de Internet. Sin embargo luego de su privatización en conjunto con la explosión de Internet se deterioró su servicio y frecuentemente se congestiona. Esto por supuesto ha tenido un impacto negativo en el quehacer para el cual Internet inicialmente fue creada, la colaboración e investigación académica.

Un proyecto similar al de los años sesenta se está llevando a cabo actualmente entre aproximadamente 190 Universidades a lo largo del mundo. El proyecto tiene como principal objetivo el proveer a la comunidad académica de una red entendida para la colaboración e investigación entre sus distintos miembros y con esto permitir el desarrollo de aplicaciones y protocolos, dando origen al Internet 2.

Internet 2 nace de la necesidad de una red que permita la colaboración entre universidades y organizaciones públicas y privadas, con una estructura básica similar a Internet que permita desarrollar la próxima generación de aplicaciones telemáticas, para facilitar las misiones de investigación y educación por medio de envíos y descarga de información a velocidades mucho más elevadas que las que pueden ser ofrecidas comúnmente en internet. Las ventajas de internet 2 para universidades o institutos dedicados al desarrollo de tecnología e investigación son variadas desde, el tener una plataforma donde el manejo de información sea más eficaz hasta el optimizar resultados así como los recursos económicos y humanos.

7.1 Antecedentes

A partir de la iniciativa de 7 de las universidades más grandes de México, interesadas en trabajar en proyectos de investigación conjunta (tanto a nivel nacional como internacional), surge la necesidad de integrar y dar coherencia a los esfuerzos que venían realizando cada una de ellas, a través de un organismo que tuviera personalidad jurídica semejante a la de organismos internacionales dedicados a coordinar los trabajos de Internet 2 a nivel internacional.

Siguiendo el desarrollo mundial de redes de datos de mayor capacidad y velocidad, para utilizarlas en aplicaciones de alta tecnología, se toma la iniciativa de desarrollar una red de alta velocidad y unirse a la red internacional denominada Internet-2, con el fin de dotar a la Comunidad Científica y Universitaria de México de una red de telecomunicaciones que le permita crear una nueva generación de investigadores, dotándolos de mejores herramientas que les permitan desarrollar aplicaciones científicas y educativas de alta tecnología a nivel mundial. Para tal efecto se dieron los siguientes pasos que marcan el inicio de este importante avance:

- i. El 8 de abril de 1999 se instituyó la Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet. CUDI: Oficialmente constituida.
- ii. El 20 de mayo de 1999, en la ciudad de San Diego, California, representantes de CUDI firman dos importantes Memorándums de Entendimiento con dos de las más importantes corporaciones universitarias que promueven y coordinan la disponibilidad de redes avanzadas para aplicaciones de investigación y educación en la Unión Americana, las cuales colaborarán conjuntamente con CUDI en el desarrollo de tecnologías y aplicaciones de la nueva generación de Internet. Estas corporaciones son:
University Corporation for Advanced Internet Development (UCAID)
Corporation of Education Network Initiatives in California (CENIC)
- iii. El 20 de mayo de 1999 se firmó un convenio con Telmex participando como Asociado Institucional.
- iv. El 6 de Octubre de 1999, en la ciudad de Ottawa Canadá, se firmó un Memorándum de Entendimiento entre CUDI y CANARIE, esta organización canadiense es la encargada del desarrollo de la red Internet avanzada en aquel país y con dicho acuerdo se podrán establecer programas de investigación, educación y colaboración entre ambos países.
Canadian Network for the Advancement of Research Industry and Education (CANARIE).
- v. El 10 de octubre de 2001, el Lic. Carlos Casasús, Director General de CUDI y Florencio Utreras D., Director de la Red Universitaria Nacional de Chile (REUNA), firmaron un Convenio de Colaboración entre ambas Instituciones, iniciando con esto la participación formal entre México y Chile en el Desarrollo de Aplicaciones en Internet 2.
Red Universitaria Nacional de Chile (REUNA)
- vi. El 8 de abril de 2002 se firmó el siguiente convenio internacional .
REd TeleINformática Académica de Argentina (RETINA)

El 9 de junio de 2003, se firman los estatutos para la formación de la Cooperación Latinoamericana de Redes Avanzadas (CLARA)

Cooperación Latinoamericana de Redes Avanzadas (CLARA)

El 7 de noviembre de 2003, se firma Memorándum de Entendimiento entre Red IRIS y la Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet, para colaborar conjuntamente en el desarrollo de las tecnologías y aplicaciones de la nueva generación de Internet. IRIS

7.2 *Internet 2*

La realidad actual contempla que la Internet ya no es una red académica, como en sus comienzos, sino que se ha convertido en una red que involucra, en gran parte, intereses comerciales y particulares. Esto la hace inapropiada para la experimentación y el estudio de nuevas herramientas en gran escala. Adicionalmente, los proveedores de servicios sobre Internet sobrevenden el ancho de banda que disponen, haciendo imposible garantizar un servicio mínimo en horas pico de uso de la red. Esto es crítico cuando se piensa en aplicaciones que necesiten calidad de servicio garantizada, ya que los protocolos utilizados en la Internet actual no permiten esta funcionalidad.

Por otro lado, los enlaces de alta velocidad son aún demasiado costosos para poder realizar su comercialización masiva. Todo esto, entonces, nos lleva a la conclusión que Internet no es un medio apto para dar el salto tecnológico que se necesita. Este proceso se representa habitualmente con la llamada "Espiral de desarrollo de Internet".

Internet2 es un consorcio de Universidades unidas para el desarrollo de aplicaciones avanzadas para Internet. Las instituciones conectadas a Internet2 se comunican entre ellas a través de redes de alto rendimiento por la misma conexión usada a Internet actual, es decir, es el ISP (Internet Service Provider) conectado a Internet2 el que se encarga de dirigir el tráfico a través de Internet2 o Internet comercial según corresponda. No es necesario equipamiento especializado para conectarse a Internet2, basta con que el enlace de la Universidad esté conectado a Internet2 para que cualquier computador dentro de la Universidad haga uso de Internet2 cuando corresponda (cuando el otro, o los otros) par de la comunicación también esté conectado a Internet2). Algunas restricciones pueden proponer filtros para que sólo ciertas direcciones, dentro de alguna Universidad se conecten a Internet2 y en horas determinadas, aunque en lugares del mundo como USA o Europa es el gobierno el que soporta gran parte de los gastos y por tanto no se llevan a cabo las restricciones mencionadas.

Además de que las redes que serán usadas por Internet2 serán más rápidas, las aplicaciones desarrolladas utilizarán un completo conjunto de herramientas que no existen en la actualidad. Por ejemplo, una de estas herramientas es comúnmente conocida como la garantía "Calidad de servicio". Actualmente, toda información en Internet viene dada con la misma prioridad como si ésta pasara a través de toda la red de un ordenador a otro. "Calidad de servicio" permitirá a las aplicaciones requerir un específica cantidad de ancho de banda o prioridad para ella. Esto

permitirá a dos ordenadores hacer funcionar una aplicación como la tele-inmersión comunicarse a las altas velocidades necesarias para una interacción en tiempo real. Al mismo tiempo, una aplicación con unas necesidades de comunicación como la World Wide Web sólo necesita usar la velocidad de transmisión necesaria para funcionar adecuadamente.

Es importante resaltar la diferencia en velocidad que tendrá, mucho más que una rápida WWW. Se piensa que una red de 100 a 1000 veces más permitirá a las aplicaciones cambiar el modo de trabajar e interactuar con los ordenadores. Aplicaciones como la tele-inmersión y las bibliotecas digitales cambiarán el modo que tiene la gente de usar los ordenadores para aprender, comunicarse y colaborar. Quizás las posibilidades más sobresalientes son aquellas que todavía no se han imaginado y serán desarrolladas junto con Internet2.

Internet 2 entonces puede ser descrita como una red de cómputo con capacidades avanzadas separada de la Internet comercial actual. Su origen se basa en el espíritu de colaboración entre las universidades del país y su objetivo principal es desarrollar la próxima generación de aplicaciones telemáticas para facilitar las misiones de investigación y educación de las universidades, además de ayudar en la formación de personal capacitado en el uso y manejo de redes avanzadas de cómputo. Algunas de las aplicaciones en desarrollo dentro del proyecto de Internet 2 a nivel internacional son: telemedicina, bibliotecas digitales, laboratorios virtuales, manipulación a distancia y visualización de modelos 3D; aplicaciones todas ellas que no serían posibles de desarrollar con la tecnología del Internet de hoy. En los Estados Unidos el proyecto que lidera este desarrollo es Internet2, en Canadá el proyecto CA*net3, en Europa los proyectos TEN-155 y GEANT, y en Asia el proyecto APAN. Adicionalmente, todas estas redes están conectadas entre sí, formando una gran red avanzada de alta velocidad de alcance mundial. En Latinoamérica, las redes académicas de México CUDI, Brasil, Argentina RETINA y Chile REUNA ya se han integrado a Internet2.

El proyecto Internet2 es administrado por laUCAID (Corporación Universitaria para el Desarrollo Avanzado de Internet) y es un esfuerzo de colaboración para desarrollar tecnología y aplicaciones avanzadas en Internet, vitales para las misiones de investigación y educación de las instituciones de educación superior. El backbone de Internet2 (la red Abilene y la red vBNS) tiene velocidades que superan los 2 Gbps, y las conexiones de las universidades a este backbone varían entre 45 Mbps y 622 Mbps.

El uso de Internet como herramienta educativa y de investigación científica ha crecido aceleradamente debido a la ventaja que representa el poder acceder a grandes bases de datos, la capacidad de compartir información entre colegas y facilitar la coordinación de grupos de trabajo. Internet2 no es una red que reemplazará a la Internet actual. La meta de Internet2 es el unir a las instituciones académicas nacionales y regionales con los recursos necesarios para desarrollar nuevas tecnologías y aplicaciones, que serán las utilizadas en la futura Internet. Las instituciones miembros se han comprometido a usar los actuales servicios de Internet para todo tipo de trabajo en red que no es relativo a Internet2. Otras organizaciones y personas continuarán

usando los actuales servicios de Internet a través de proveedores comerciales para aplicaciones como el correo electrónico, la World Wide Web, y los newsgroups. Internet2 proporcionará los medios necesarios para demostrar que la ingeniería y las aplicaciones de la próxima generación de redes de ordenadores pueden ser usadas para mejorar las redes existentes.

Asegurar el objetivo de transferir la tecnología de I2 a las redes generales está conseguido, y para utilizar la enorme experiencia que existente fuera de la universidad, Internet2 está trabajando con el gobierno federal, agencias, empresas privadas y organizaciones sin ánimo de lucro que tienen experiencia en como desarrollar redes telemáticas. Estas organizaciones proporcionan a los miembros de Internet2 recursos y experiencia en adición a lo que tienen en sus propios campus. Por otra parte, proporcionan un canal al proyecto para el tipo de consideraciones que tendrán que ser tomadas en cuenta para que la tecnología de I2 pueda migrar a otras redes más generales y comerciales. Los objetivos mencionados anteriormente son llevados a cabo mediante actividades de desarrollo y prueba de nuevos protocolos y aplicaciones para Internet2. Estos desarrollos son hechos en comités llamados Grupos de Trabajo (Working Groups, WG). Cada WG pertenece a alguna área técnica del desarrollo de Internet2: Ingeniería, Middleware (interfaz software que provee funcionalidades rutinarias en una conexión típica Internet. Entre estas, como ejemplo se pueden mencionar las autenticaciones de usuario) y Aplicaciones. Cada una de estas áreas posee un Director de Área que es el responsable de las actividades de sus áreas respectivas. Los miembros de estos grupos de trabajo pueden ser tanto miembros de Internet2 como empresas de apoyo externo.

La red de Internet2 está compuesta por redes principales o backbones en USA, a los cuales se conectan los llamados gigaPoPs y backbones internacionales a los cuales a su vez se conectan gigaPoPs o nodos en particular tales como Universidades. Un gigaPoP es una red regional (con ancho de banda del orden de los gigabits por segundo) conectada a Internet2. Por ejemplo en USA el MIT, la Universidad de Boston y la Universidad de Harvard conforman el gigaPoP llamado BOS. A continuación se muestra un esquema (muy generalizado) de Internet2:

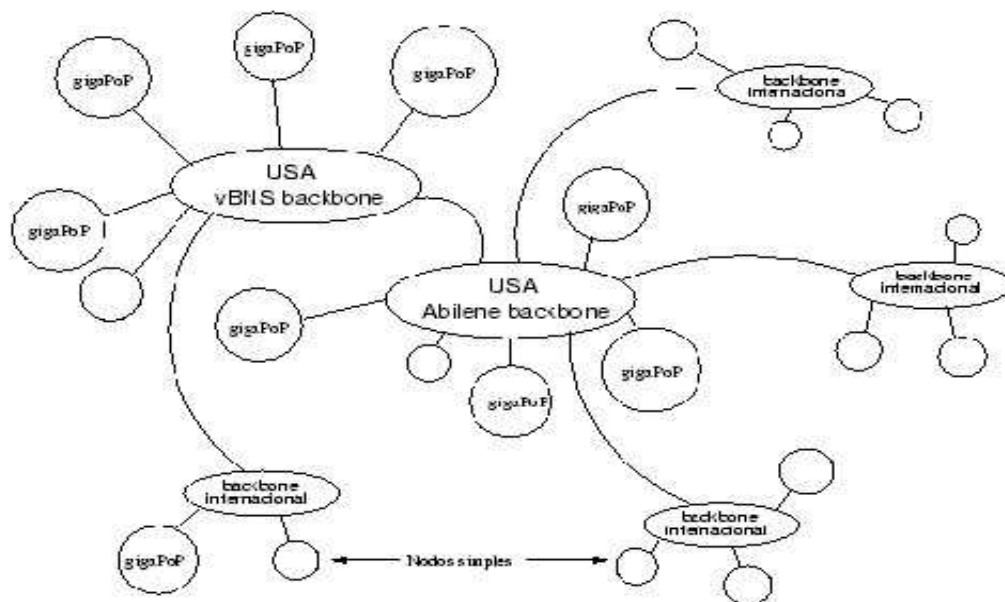


Figura 7.1 – Esquema generalizado de Internet 2 donde se muestra la existencia de dos grandes backbones en USA (aunque hoy en día el backbone Abilene es mucho mayor en ancho de banda, 2.4 Gbps), de los cuales se distribuyen enlaces hacia backbones en otros países.

Para la conexión a Internet2 no es necesario nuevo equipamiento ni nuevas conexiones por el lado de los usuarios de las respectivas Universidades conectadas a Internet2. Los backbones son los responsables de encaminar el flujo de datos por Internet2 o Internet comercial según corresponda.

7.3 CUDI

En México existe un organismo que se dedica a la regulación de las actividades relacionadas con el sistema internet 2 así como de trabajar en avances y presentar desarrollo en esta materia, denominada Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet (CUDI). CUDI es una asociación civil integrada por las universidades del país, de carácter privado, sin fines de lucro, que fue fundada en abril de 1999. Su misión es promover y coordinar el desarrollo de una red de telecomunicaciones de la más avanzada tecnología y amplia capacidad, enfocada al desarrollo científico y educativo en México. CUDI es el organismo que maneja el proyecto de la red Internet 2 en México y busca impulsar el desarrollo de aplicaciones que utilicen esta red, fomentando la colaboración en proyectos de investigación y educación entre sus miembros.

CUDI surge a partir de la iniciativa de 7 de las universidades más grandes de México, interesadas en trabajar en proyectos de investigación conjunta (tanto a nivel nacional como internacional), cuando comienza la necesidad de integrar y dar coherencia a los esfuerzos que

venían realizando cada una de ellas, a través de un organismo que tuviera personalidad jurídica semejante a la de organismos internacionales dedicadas a coordinar los trabajos de Internet 2 a nivel internacional. De esta forma, el 12 de Mayo de 1999 quedó constituida la Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet A.C

En CUDI pueden participar todas aquellas universidades, institutos de investigación, del sector público, privado o social, personas morales y sociedades mercantiles que estén comprometidas con el desarrollo, evolución y utilización de aplicaciones educativas y de tecnología avanzada de redes de telecomunicaciones y de cómputo. Hasta el día de hoy, CUDI está conformada por Asociados Académicos, Asociados Institucionales, Afiliados y Empresas Afiliadas, por lo que en la actualidad CUDI está conformada por 115 miembros, de los mencionados, por lo que dependiendo del tipo de membresía con que se cuente, existirán requisitos particulares que deberán cumplirse, sin embargo, los requerimientos básicos que deben presentarse son los siguientes:

- Ser aprobados por el comité de membresías.
- Suscribir con CUDI un documento en el que se establezcan sus derechos y obligaciones.
- Promover y sufragar la instalación y operación de la red de alta velocidad.
- Desarrollar y utilizar aplicaciones educativas y de tecnología avanzada.
- Destinar recursos humanos y financieros para llevar a cabo las actividades anteriores.
- Realizar las aportaciones anuales correspondientes.

Al formar parte de CUDI, cualquier universidad dispone de una red de alta velocidad que le permita desarrollar proyectos colaborativos con otras universidades nacionales y del extranjero.

En el determinado caso de que un investigador independiente o un estudiante inscrito en alguna de las universidades pertenecientes a CUDI desea colaborar en el proyecto, se recomienda acercarse a los departamentos, institutos o laboratorios comprometidos con la creación e innovación de aplicaciones.

En otros países existen organismos semejantes a CUDI, de hecho, una de las razones que hizo necesario la creación de CUDI es que los organismos de representación nacional sólo pueden establecer convenios internacionales con organizaciones homólogas y no con universidades o empresas en particular.

Organizaciones con las cuales CUDI ha firmado memorándums de entendimiento

- CANARIE, Canada, Andrew K. Bjerring, www.canarie.ca
- CLARA, Latinoamérica, Florencio I Utreras, www.redclara.net
- CENIC, USA, Jim Davis, www.cenic.org
- Red IRIS, España, Alberto Perez Gomez, www.rediris.es
- RETINA, Argentina, Anibal Gattone, www.retina.ar
- REUNA, Chile, Paola Arellano, www.reuna.cl
- UCAID, USA, Douglas Van Houweling, www.internet2.edu

7.4 Reunión de primavera 2008, CUDI, Chiapas.

Es una reunión semestral que en México reúne autoridades, investigadores, docentes, empresas y estudiosos para presentar conferencias nacionales e internacionales, demostraciones, y discutir los avances, aplicaciones, retos y oportunidades actuales de Internet 2.

Sus objetivos principales se determinan como:

- Difundir avances de la red Internet 2 en México.
- Ofrecer un foro en México para el desarrollo de Internet 2.
- Impulsar la colaboración entre las instituciones de la comunidad CUDI de internet 2 en México.
- Estrechar sus vínculos con la comunidad académica.

Dentro del evento se mostraron las membresías otorgadas recientemente a instituciones y entidades académicas, entre ellas al Instituto Mexicano de tecnología del Agua (Ver ANEXO C), así como distintas presentaciones donde se emplean, ponen a prueba y diversifican las utilidades de Internet 2.

8 KANBALAM

Para el desarrollo de simulaciones climática de largo plazo se tienen contemplados equipos de cómputo de alto rendimiento, uno de los cuales es la computadora KanBalam que es propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México. A continuación se describe de una manera general los equipos llamados de supercómputo en la UNAM, así como se da una visión general de cómo trabaja esta herramienta.

8.1 Supercómputo en la UNAM

El supercómputo se refiere a la utilización de computadoras con grandes capacidades de cálculo, memoria, almacenamiento y comunicaciones (supercomputadoras).

Con las supercomputadoras se estudian fenómenos representados por modelos numéricos, cuyo tratamiento requiere capacidades computacionales que van mucho más allá de las proporcionadas por los equipos convencionales.

En la UNAM, el supercómputo se aplica en diferentes áreas de investigación, como son las ciencias de materiales, ciencias de la atmósfera, ciencias de la tierra, ciencias biológicas, ciencias químicas, astrofísica, física de altas energías, entre otras.

Los equipos centrales de supercómputo de la UNAM son operados por el Departamento de Supercómputo de la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico, y están disponibles gratuitamente para la comunidad académica universitaria. <http://www.super.unam.mx/>

Fue bautizada por la UNAM como KanBalam en honor al matemático maya (635-702) reconocido por la precisión en sus cálculos relacionados con el dominio del tiempo.

Los equipos centrales de supercómputo de la UNAM son los siguientes:

NOMBRE	MODELO	DESCRIPCIÓN GENERAL
KANBALAM	HP CP 4000	Supercomputadora paralela de memoria distribuida. Contiene 1368 procesadores AMD Opteron, alrededor de 3 Terabytes de memoria y 160 Terabytes de almacenamiento.
ALEBRIJE	SGI Altix 350	Supercomputadora paralela de memoria compartida. Contiene 24 procesadores Intel Itanium 2, 24 Gigabytes de memoria y 2.4 Terabytes de almacenamiento.
BAKLIZ	HP AlphaServer SC 45	Supercomputadora paralela de memoria distribuida. Contiene 36 procesadores Alpha EV68, 56 Gigabytes de memoria y 1 Terabyte de almacenamiento.

Es un clúster de computadoras Hewlett –Packard, con capacidad (pico) de 7.113 teraplofs, siendo la número uno en América Latina.

Esta computadora está ubicada en la Ciudad de México, en el campus principal de la Universidad Nacional Autónoma de México, estando en funcionamiento desde el 26 de enero del año 2007.

Entre los objetivos de este equipo se encuentra un proyecto de enfrentar la fuga de cerebros que sufre el país, intentando repatriar a aquellos investigadores que se encuentren trabajando en el extranjero, por falta de infraestructura. Las principales ramas beneficiadas con esta computadora son la Astrofísica, la física de partículas, la química cuántica, la geología y, principalmente, la ingeniería sísmica. También será usada para realizar estudios del clima y contaminación y estará a disposición de instituciones públicas y privadas.

La supercomputadora más poderosa de México y América Latina, con una capacidad de procesamiento de más de siete billones de operaciones aritméticas por segundo.

Con esta supercomputadora, que tuvo una inversión de tres millones de dólares, la Universidad Nacional se coloca nuevamente a la vanguardia en supercómputo en Latinoamérica.

KanBalam permite a los científicos mexicanos estar a la altura de los mejores del mundo y representa una herramienta formidable para que continúen aportando conocimientos en proyectos internacionales de mayor importancia.

"Esta cantidad de equipo de computo se puede usar concurrentemente, o sea, puede repartir parte de esta capacidad entre hasta 350 usuarios al mismo tiempo y esto se hace a través de un software muy especializado que se llama De Clusterización XE, que es el núcleo y la parte más importante de todo este equipo", aseguró Carlos Guzmán, presidente y director general de HP México, cuya compañía desarrolló esta supercomputadora para la UNAM.

El número de usuarios que pueden trabajar al mismo tiempo en KanBalam, una HP-Cluster 4000, depende de la capacidad de procesamiento y almacenamiento que necesiten en los trabajos de cálculo, pero en teoría si estos fueran muy básicos podrían trabajar con KanBalam cientos de usuarios a la vez.

"En este caso estamos hablando de lo que en la industria se llama clusters de supercomputo, cuyo principio básico de operación es utilizar un gran número de servidores y tener una aplicación, un software especializado que pueda manejar este número de procesadores, dependiendo del uso que requiera un investigador", precisó.

La computadora de la UNAM cuenta con mil 368 procesadores cores AMD Opteron de 2.6 GHz, una memoria RAM total de 3 mil 16 Gigabytes y un sistema de almacenamiento de 160 Terabytes, almacenados en 19 racks, que juntos, utilizan un área de 15 a 20 metros cuadrados. La forma en que la Dirección General de Servicios de Computo de la UNAM opera con KanBalam es a través de una red de alta velocidad, con tecnología Infiniband de 10 Gigabits por segundo.

"El número de usuarios que pueden estar conectados no tiene un tiempo límite esencial. Y esos usuarios ponen sus programas a correr en un esquema que se llama sistema de colas y ejecuta tantas como recursos tenga disponibles y el número de ejecuciones depende de los recursos que pidan los usuarios", dijo José Luis Gordillo, jefe del Departamento de Supercómputo de la UNAM. El promedio actual de usuarios científicos y académicos que llegan a trabajar en la actualidad con KanBalam en la UNAM es de 30 a 40 de forma simultánea, por lo complicado de sus mediciones y cálculos.

La arquitectura con la que está construida esta supercomputadora, la número 126 de acuerdo con la clasificación Top 500 de supercomputadoras más rápidas en el mundo, le permitirá a la UNAM que de ser necesario pueda aumentar su capacidad de procesamiento.

"Tiene la ventaja de que puedes crecer modularmente en ese sentido. Por ejemplo, en este caso tiene casi mil 400 procesadores y 350 servidores, tú puedes ir agregando servidores. Cada servidor tiene 4 procesadores, o sea de cuatro en cuatro y lo puedes subir a mil 600, mil 800 a

dos mil procesadores, y con la misma arquitectura la capacidad de computo aumenta considerablemente", explicó el director general de HP México.

La capacidad de procesamiento de una supercomputadora como la de la UNAM es utilizada para cálculos matemáticos en materia científica y en campos de investigación de la vida académica, pero también es utilizada en el sector privado.

"Un sector muy importante donde se utilizan este tipo de equipo en el mundo es la industria petrolera, principalmente en exploración, para analizar una gran cantidad de datos y analizarlos de manera rápida. Muchas de las empresas petroleras en el mundo utilizan este tipo de equipo", dice el director de HP en México.

KanBalam es la más potente en América Latina, seguida en la región de una supercomputadora que adquirió Petrobras, la empresa de petróleo de Brasil, cuya capacidad es un dato que no es público, sin embargo se sabe que es de menor capacidad de la de la UNAM.

Del grupo de las 500 supercomputadoras más potentes en el mundo, la empresa HP ha fabricado un 32 por ciento de ellas y en la actualidad esta empresa destina 3.5 millones de dólares en investigación y desarrollo al año.

KanBalam es siete mil veces más potente que la primera supercomputadora de la UNAM, la CRAY-YMP adquirida en 1991, y 79 veces más poderosa en cálculo que la AlphaServer SC45, adquirida en el 2003.



Figura 8.1 – Cluster platform 4000- Kanbalam. Tomada de http://www.super.unam.mx/images/stories/HPCP4000_KanBalam/imagenes/kanbalam1.jpg



Figura 8.2 – Vista frontal desde el exterior de la sala de máquinas. Tomada de http://www.super.unam.mx/images/stories/HPCP4000_KanBalam/imagenes/kanbalam2.jpg



Figura 8.3 – Vista frontal de la segunda línea de racks. Tomada de http://www.super.unam.mx/images/stories/HPCP4000_KanBalam/imagenes/kanbalam3.jpg

8.2 *Arquitectura*

KanBalam es una supercomputadora tipo cluster. Se compone de una serie de nodos (computadoras en sí mismos) que se comunican entre sí a través de una red de datos, una red de administración, una red de consolas y varios sistemas de archivos globales. Los distintos elementos que integran la supercomputadora se pueden clasificar en los siguientes grupos: procesamiento, servicio y control, almacenamiento e interconexión.

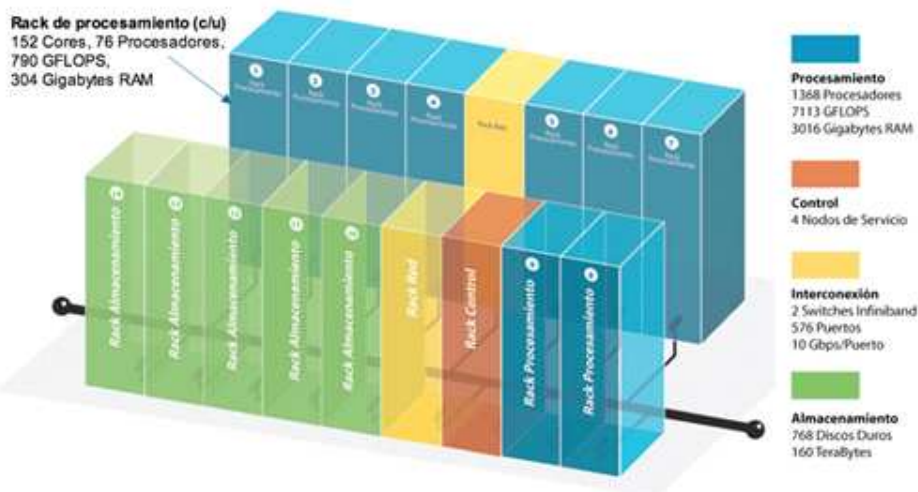


Figura 8.4 – Descripción del Kambalam. Tomada de http://www.super.unam.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=36&Itemid=67

8.3 *Procesamiento, servicio y control*

El procesamiento numérico en KanBalam se lleva a cabo en los nodos de cálculo. Como ya ha sido mencionado, cada nodo es una computadora con procesadores, memoria, sistemas de entrada/salida (E/S) y un disco duro. A su vez, cada nodo es operado por su propia imagen de sistema operativo. Existen dos tipos de nodos de cálculo: regulares y especiales.

Los nodos de cálculo regulares contienen dos procesadores AMD Opteron 285, con una frecuencia de reloj de 2.6 GHz. Cada Opteron 285 contiene a su vez dos núcleos de procesamiento (cores). Además, cada nodo contiene 8 Gbytes de RAM y 1 disco duro de 160 Gbytes. A su vez, en cada nodo existe una tarjeta Infiniband 4x para la conexión a la red de datos, una tarjeta G-Ethernet para la conexión a la red de administración, y una tarjeta IPMI para la conexión a la red de consolas.

Cada núcleo de procesamiento es capaz de realizar dos operaciones aritméticas de punto flotante por ciclo de reloj, por lo que su rendimiento teórico es de 5.2 GFLOPS. Así, la capacidad de procesamiento de cada nodo es de 20.8 GFLOPS. Los registros internos de cada núcleo son de 64 bits y las direcciones de memoria son de 48 bits.

Los nodos de cálculo especiales son similares a los regulares, con la diferencia de que contienen 64 Gbytes de RAM y dos discos duros de 144 Gbytes.

KanBalam contiene 337 nodos de cálculo regulares y 5 de cálculo especiales, para un total de 342 nodos, 1368 procesadores (cores) y 3000 Gbytes de RAM. El rendimiento teórico total es de 7113 GFLOPS.

Además de los nodos de procesamiento, KanBalam contiene los siguientes nodos.

Login: son tres nodos idénticos a los nodos de cálculo regulares. Su función es atender las conexiones remotas al cluster.

Servicio y control: son cuatro nodos similares a los nodos de cálculo regulares, con la diferencia de que contienen 4 discos duros configurados en RAID 6, además de fuentes y ventiladores redundantes. La función de estos nodos es proporcionar los diferentes servicios que permiten la operación del cluster (control de los demás nodos, sistemas de colas, monitoreo, etc.).

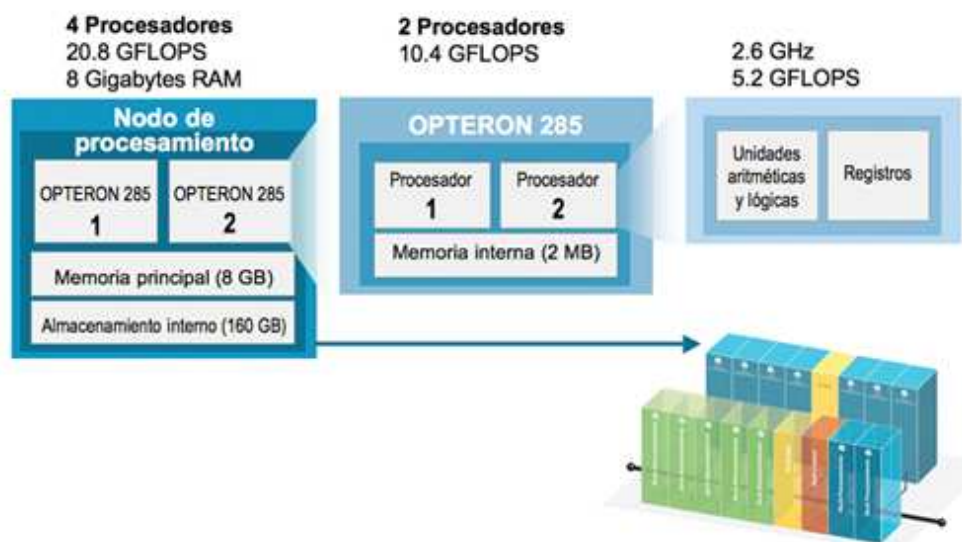


Figura 8.5 – Descripción del procesamiento de información. Tomada de http://www.super.unam.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=36&Itemid=67

8.4 Almacenamiento

El sistema de almacenamiento principal de KanBalam es un sistema distribuido basado en las tecnologías SFS20 de HP y LUSTRE de Cluster Filesystems Inc.

El esquema general del sistema de archivos LUSTRE consiste en tener un nodo de control, denominado MDS y varios nodos de almacenamiento, denominados OSSs. Las operaciones de E/S al sistema de archivos se llevan a cabo en forma paralela, utilizando simultáneamente los dispositivos de almacenamiento de cada OSS.

Cada nodo OSS tiene como espacio de almacenamiento 4 bandejas de discos SATA (SFS20), cada una con 12 discos de 250 Gbytes a 10,000 RPM. Los discos en cada bandeja están configurados en RAID 6, con un disco de spare, por lo que su capacidad final es de 2.5 Terabytes. Existen 16 nodos OSS, 64 bandejas de discos, y 768 discos. La capacidad total de almacenamiento es de 160 Terabytes, los cuales son visibles como un único sistema de archivos en cada uno de los nodos (cálculo regulares, cálculo especiales, login, servicio y control) del cluster.

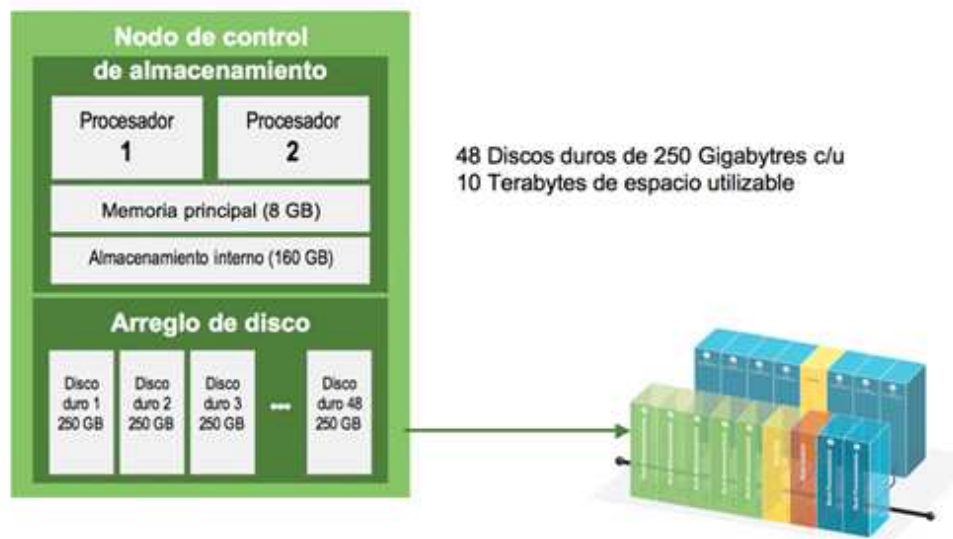


Figura 8.6 – Descripción del Almacenamiento de la información. Tomada de http://www.super.unam.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=36&Itemid=67

8.5 Interconexión

El sistema de interconexión principal en KanBalam es la red de datos, la cual está compuesta por dos switches Infiniband 4X de 288 puertos. La velocidad de cada conexión es de 10 Gigabits/s. La topología es fat tree-half blocking, de modo que cada nodo tiene una conexión a uno de los switches (192 nodos en cada switch), mientras que ambos switches tienen 96 conexiones entre sí.

A esta red se conectan todos los elementos del cluster, y se utiliza para la comunicación de datos entre procesos y para las operaciones de E/S en el sistema de archivos principal.

Además de la red de datos, KanBalam tiene una red de administración y otra de consolas. La red de administración tiene 10 switches Gigabit ethernet de 48 puertos y un ancho de banda de 1000 Megabits/s, la red de consolas tiene 10 switches Fast ethernet de 50 puertos y un ancho de banda de 100 Megabits/s.

Ambas redes tienen una topología tipo estrella, cada una con un switch principal que les permite interconectarse entre sí. La red de administración cumple con la función de instalación de software, configuración del equipo, actualización de paquetes, organización y control del equipo en general. La red de consolas permite el monitoreo de sensores, apagado y encendido de nodos, así como el control del sistema cuando no se pueda tener acceso mediante la red de administración.



Figura 8.7 – Vista frontal de la segunda línea de racks con puertas abiertas. Tomada de http://www.super.unam.mx/images/stories/HPCP4000_KanBalam/imagenes/kanbalam4.jpg



Figura 8.8 – Acercamiento de un rack. Tomada de http://www.super.unam.mx/images/stories/HPCP4000_KanBalam/imagenes/kanbalam5.jpg

9 RESULTADOS DE LAS CORRIDAS PARA LOS AÑOS 2010 Y 1998, MODELO MM5

En esta sección se presenta un estudio de variables atmosféricas para los años 2010 y 1998 utilizando los datos de salida del modelo climático globales CCSM3, empleándolos como datos de condiciones iniciales para el modelo de mesoescala MM5, con el propósito de evaluar de una manera particular fenómenos meteorológicos a una mayor resolución y con una menor escala temporal. Las variables climatológicas consideradas fueron la precipitación acumulada, la presión media, el viento y la temperatura, en escalas de tiempo mensuales, semestrales y anuales. A continuación se describe a mayor detalle las características y resultados de las simulaciones.

9.1 Simulación para el año 2010, modelo MM5

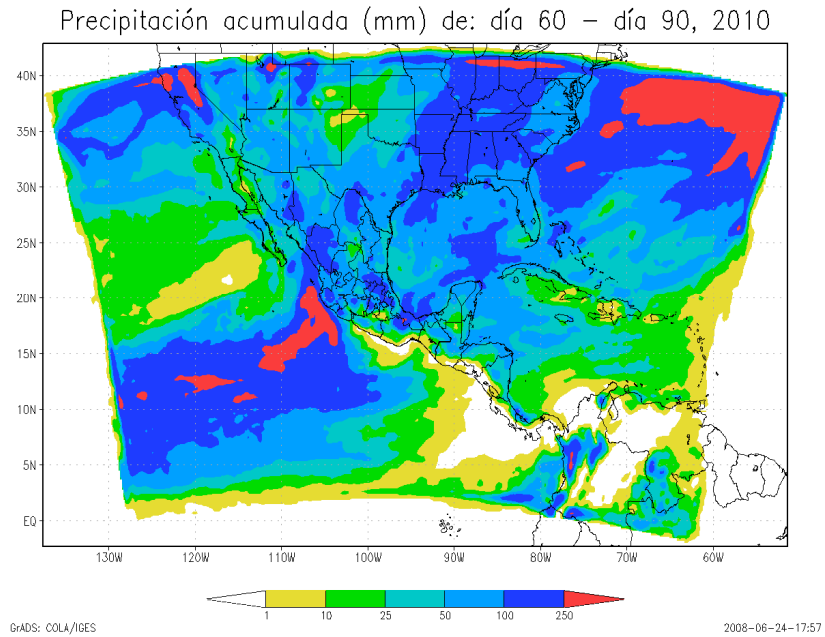
Especificaciones de la corrida

- Modelo: MM5 con condiciones de frontera del modelo CCSM3.
- Escenario IPCC-A2.
- Dominio de la malla, proyección Lambert: 2°S-46°N, 52°O-137°O
- Intervalo de tiempo entre salidas: 6 horas
- Inicio y fin de la corrida: 1 de Enero - 3 de Diciembre, 2010.

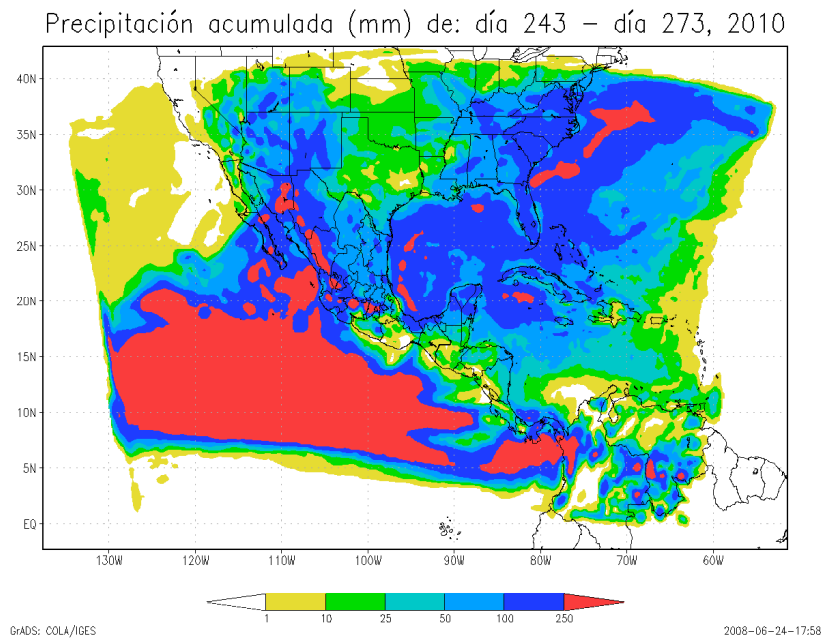
Precipitación

La estación lluviosa en México se extiende aproximadamente entre mayo y octubre. A pesar de que algunas regiones del sureste de México reciben entre 990 y 3000 mm de lluvia al año, la mayor parte del país carece de precipitaciones considerables. La precipitación promedio de las zonas templadas es inferior a los 635 mm anuales, en la zona fría es de unos 460 mm y en la zona semiárida del norte del país de 254 mm. Los promedios de precipitación anual para las ciudades de México y Monterrey son de 747 mm y 588 mm respectivamente.

A partir de los resultados de la corrida del modelo MM5 para el año 2010 se obtuvieron las gráficas de lluvia acumulada en periodos mensuales, semestrales y anuales, esto para todo el dominio, identificando regiones donde la precipitación se presenta de una manera más intensa, como lo es el caso de la zona de convergencia intertropical sobre el Pacífico y Centroamérica, la región monzónica de Norteamérica, así como en Golfo de México y hacia el norte del Océano Atlántico. Por otra parte, el modelo parece no simular adecuadamente la precipitación en la costa sur de México y sobre Centroamérica (figura 9.1a y 9.1b).

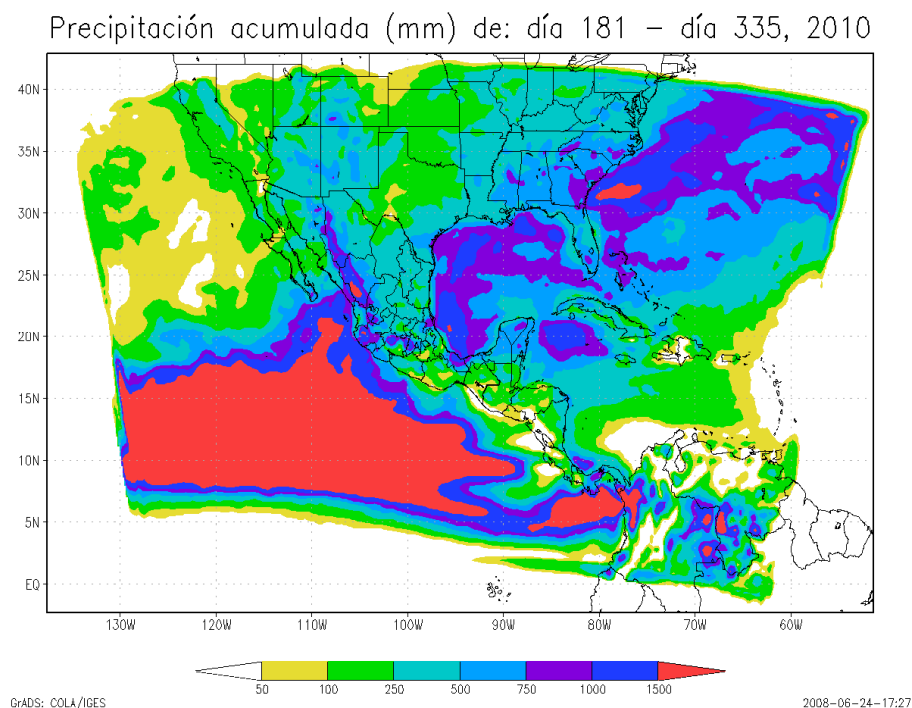


a)



b)

Figura 9.1 – Precipitación acumulada durante los meses de a) marzo, b) septiembre y c) de julio a noviembre del 2010, modelo MM5.



c)

Continuación de la figura 9.1

En la figura 9.1c la simulación identifica satisfactoriamente la lluvia asociada a la temporada de ciclones tropicales, así como la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical sobre el Pacífico, no así sobre Centroamérica donde el modelo muestra valores que no corresponden con la temporada ni con las regiones de elevada actividad en cuanto a precipitación se refiere. Otra señal que puede ser identificada a partir de la salida de la simulación son la de los frentes fríos y del flujo del este sobre la región del Golfo de México y Mar Caribe respectivamente.

Al realizar una comparación entre los resultados de la precipitación acumulada anual, correspondiente al año 2010 y la precipitación media anual de 1941 a 2005 en la República Mexicana, se pueden observar grandes similitudes en cuanto al patrón de distribución y a la intensidad de las lluvias, captando satisfactoriamente las señal del monzón de Norteamérica, así como los valores elevados sobre el sur y sureste del país. Por otra lado capta la baja precipitación que se presenta sobre la Península de Baja California y norte de México, mientras que los valores no concuerdan en gran parte de la mesa central identificando a partir de las salidas del modelo una sobrestimación de la lluvia en esa zona, mientras que en la región sur del país ocurre una subestimación, ya que se reduce de manera significativa los valores de la lluvia para dicha región (Figura 9.2).

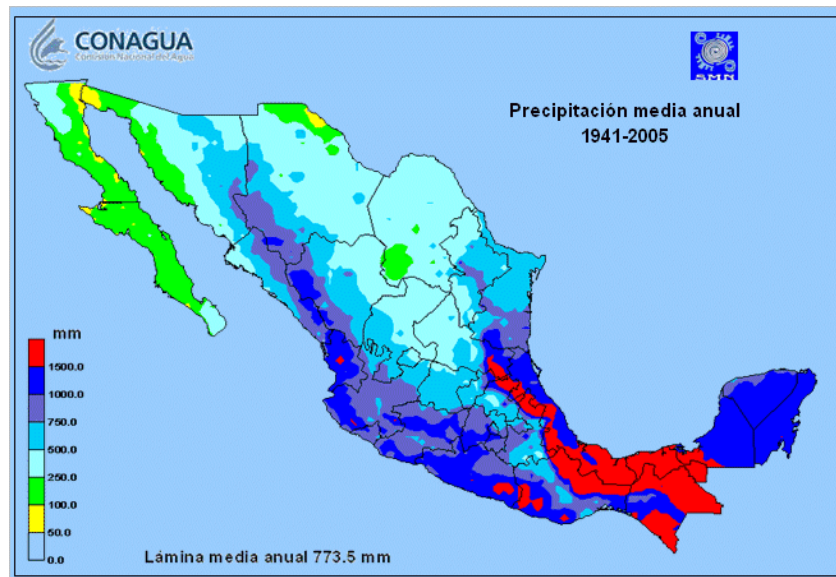
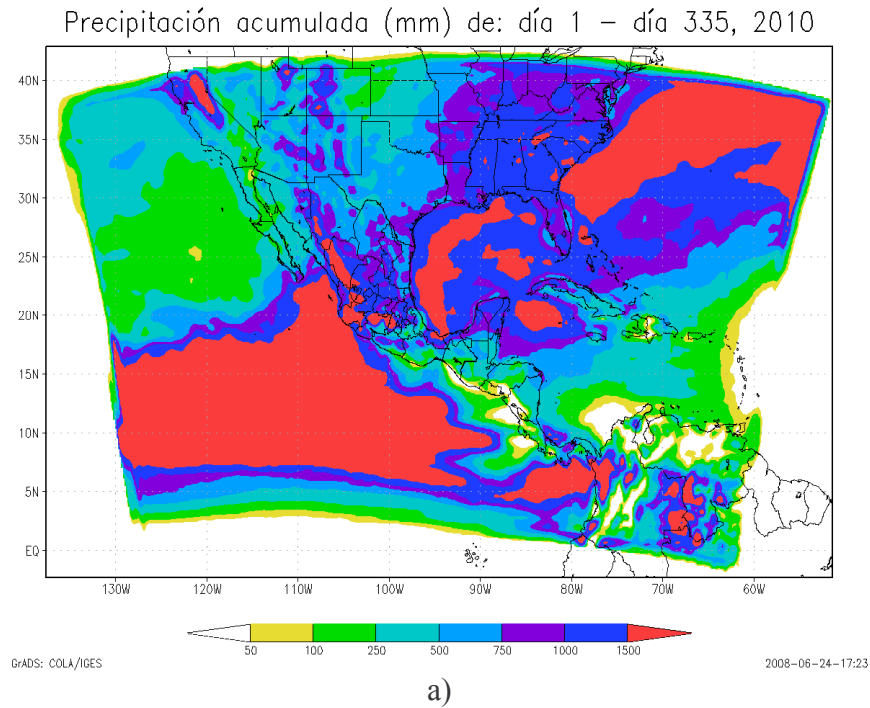


Figura 9.2 – Comparación entre a) la precipitación acumulada para el año 2010 obtenida de la simulación con el modelo MM5 y b) la precipitación media anual (1941-2005) que se presenta en México (SMN).

Presión atmosférica a nivel del mar y viento a 2 metros sobre la superficie.

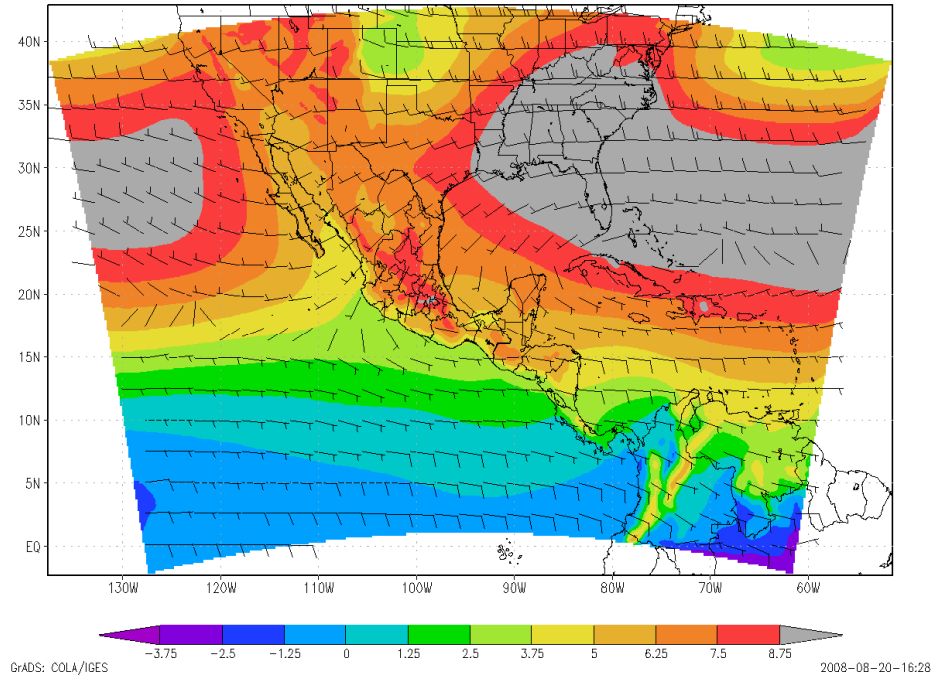
La presión atmosférica es la presión o el peso que ejerce la atmósfera por unidad de área sobre o por encima de la superficie de la tierra, mientras que la presión a nivel del mar es la presión que resulta de la consideración de si la superficie se encontrara a la altura del nivel del mar. Esta nos permite identificar sistemas de presión productos de anticiclones o ciclones que pueden presentarse en superficie.

Por otro lado el viento es la variable atmosférica que revela el movimiento de las masas de aire en la atmósfera, presentando los indicativos de la intensidad y la dirección, los cuales se presentan en función de las propiedades físicas de dichas masas de aire o de los sistemas que conforman.

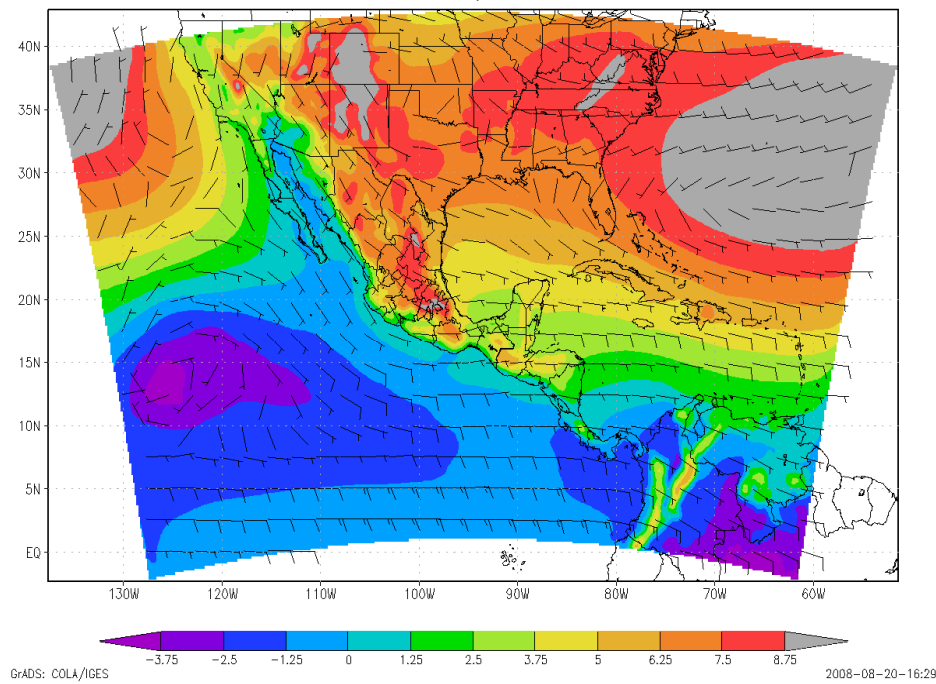
Se utilizaron los resultados del modelo MM5 para analizar las variables viento y presión atmosférica a nivel del mar, con el fin de identificar sistemas casi permanentes y estacionales en la región dominio, y comprobar si el modelo logro simularlos adecuadamente en función de su ubicación, permanencia e intensidad.

La figura 9.3 muestra las gráficas de vientos y presión a nivel del mar, donde a) pertenece al mes de marzo, pudiendo identificar principalmente, a partir de esa gráfica, los grandes anticiclones del Atlántico y del Pacífico, así como el flujo del viento asociado a estos sistemas, mientras que en la figura 9.3b correspondiente a septiembre se puede apreciar claramente la influencia de la zona de convergencia intertropical, la señal asociada a la actividad de ciclogénesis en el Pacífico y el flujo del este sobre el Mar Caribe, Península de Yucatán y sur del Golfo de México.

La figura 9.3c correspondiente al periodo de julio a noviembre denota de igual forma la presencia de actividad de ciclogénesis activa en el Pacífico, la presencia de la alta presión casi permanente del Atlántico, la dirección de los vientos asociada al flujo monzónico del Pacífico y la presencia de vientos del este en la región del Caribe y Península de Yucatán.



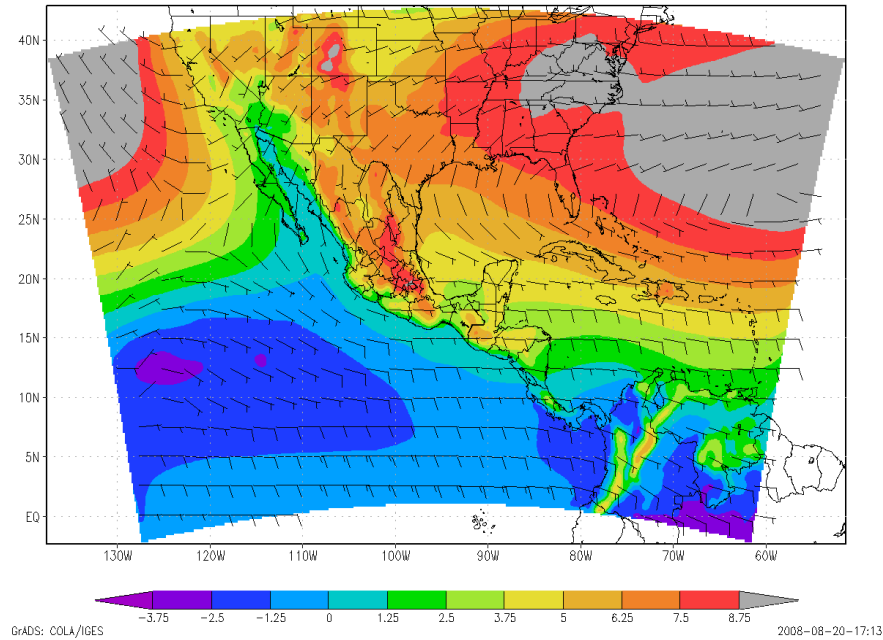
a)



b)

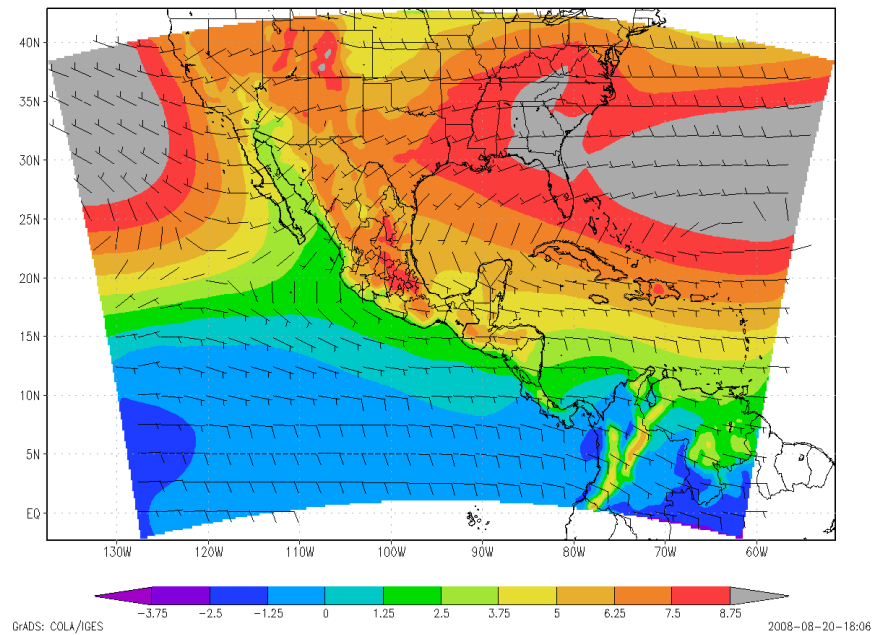
Figura 9.3 – Promedio de presión a nivel del mar y viento a 2 metros para los periodos de:
a) marzo, b) septiembre, c) julio-noviembre y d) enero-noviembre, 2010.

Promedio de Presion a Nivel del Mar y Viento (2m), jul–nov. 2010



c)

Prom. anual de Presion a Nivel del Mar y Viento (2mts), 2010



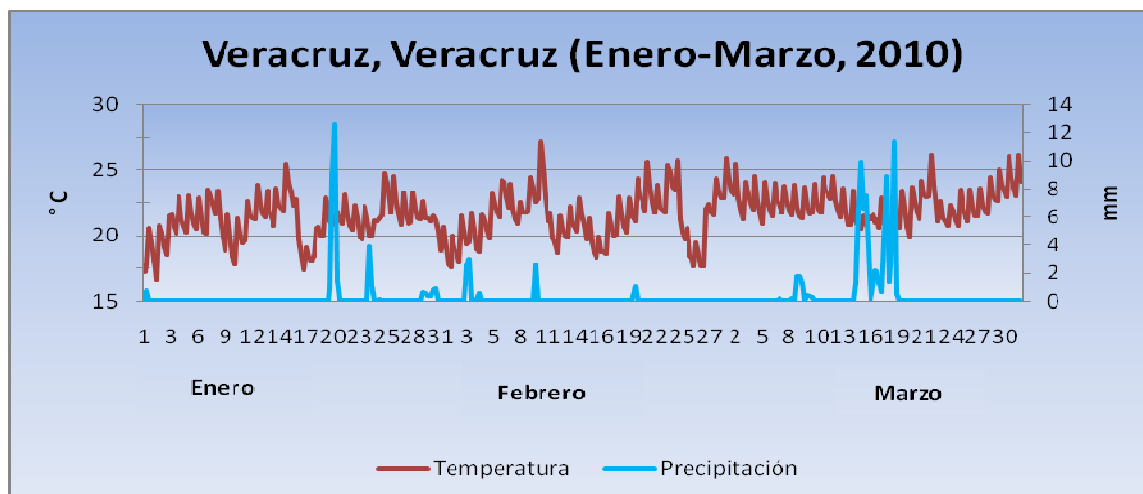
d)

Continuación de la figura 9.3

Meteogramas utilizados para la identificación de frentes fríos, simulación 2010

Las masas de aire pueden adquirir determinadas propiedades, siendo perfectamente diferenciables y reconocibles lejos de sus regiones mananciales. La consecuencia más importante de sus propiedades específicas se manifiesta en la densidad del aire, debido a que una de las masas es más fría y más seca, cuando se topan existe un salto brusco en las características del aire y, muchas veces, en la dirección del viento, o en su rapidez, o en ambas cosas, lo que resulta ser una superficie de discontinuidad denominada frente, el cual puede ser frío o cálido en función de que la masa polar o la tropical empuje más enérgicamente. La frecuencia de sistemas frontales fríos sobre territorio mexicano se incrementa rápidamente de septiembre a octubre alcanzando un máximo en invierno, por lo cual se decidió analizar el periodo enero-marzo para identificar la señal de frentes fríos por medio de meteogramas.

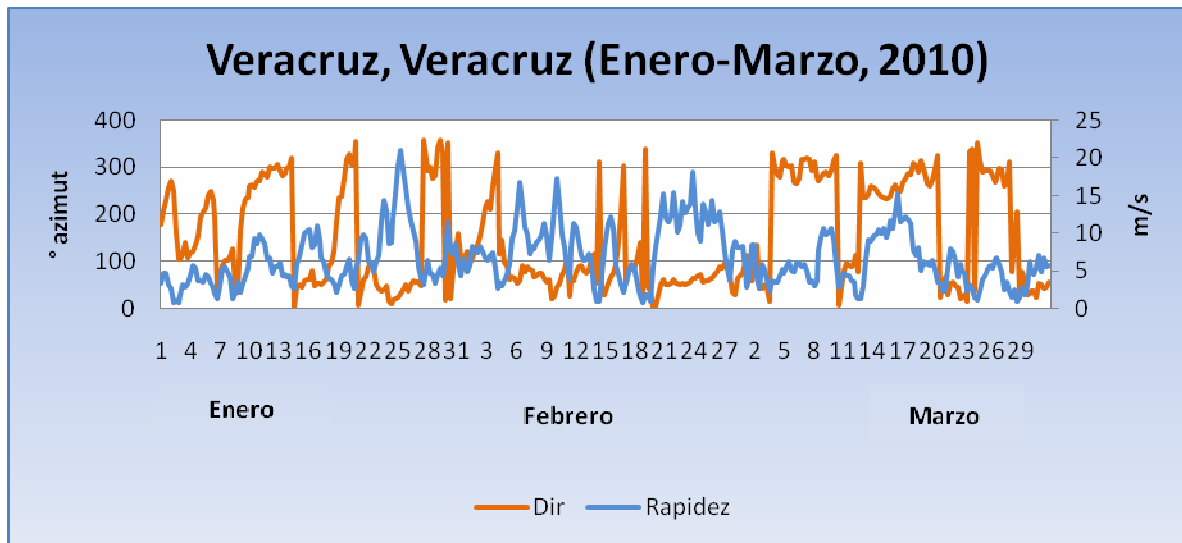
Debido a las condiciones asociadas con el paso de frentes fríos, se optó por estudiar las variables temperatura, precipitación, rapidez y dirección del viento para 9 ciudades las cuales son: Altamira, Chihuahua, Dos Bocas, Matamoros, Monterrey, Progreso, Toluca, Veracruz y Zacatecas. En las figuras 9.4a y 9.4c se muestra el análisis temporal de la temperatura y la precipitación de enero a marzo del año 2010, con el cual se pueden asociar descensos de temperatura con precipitaciones por arriba de los 10 mm en 24 horas, las cuales pudieran representar la señal de un frente frío ya que con el paso de la zona frontal, la actividad convectiva aumenta, así como el desarrollo de nublados con potencial de lluvia, mientras que el sistema de alta presión que le precede fomenta una disminución en la temperatura.



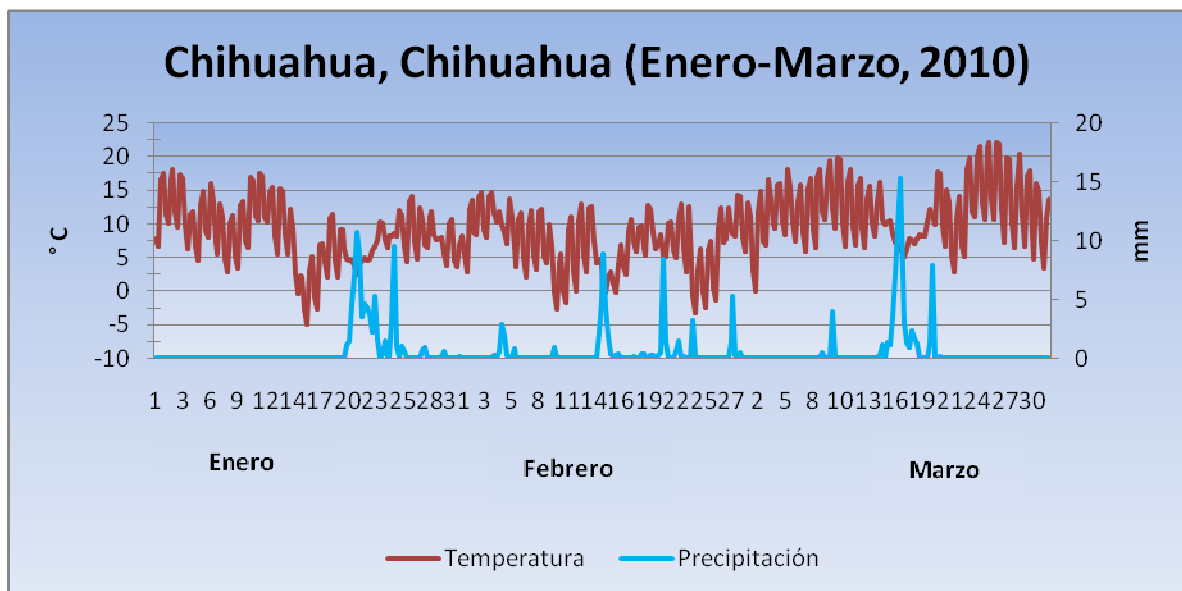
a)

Figura 9.4 – Series de tiempo que muestran el comportamiento de la temperatura y la precipitación de a) Veracruz y c) Chihuahua, así como la dirección y rapidez del viento en b) y d), para el periodo enero-marzo, 2010.

En las figuras 9.4b y 9.4d se muestra el análisis temporal de la dirección y rapidez del viento de enero a marzo del año 2010, con el cual se pueden identificar señales de frentes fríos, denotando intensidades de viento moderadas a fuertes con direcciones predominantes del norte, esto debido al intenso gradiente meridional de presión en la troposfera baja y también al giro de los vientos asociado al avance del sistema de alta presión.

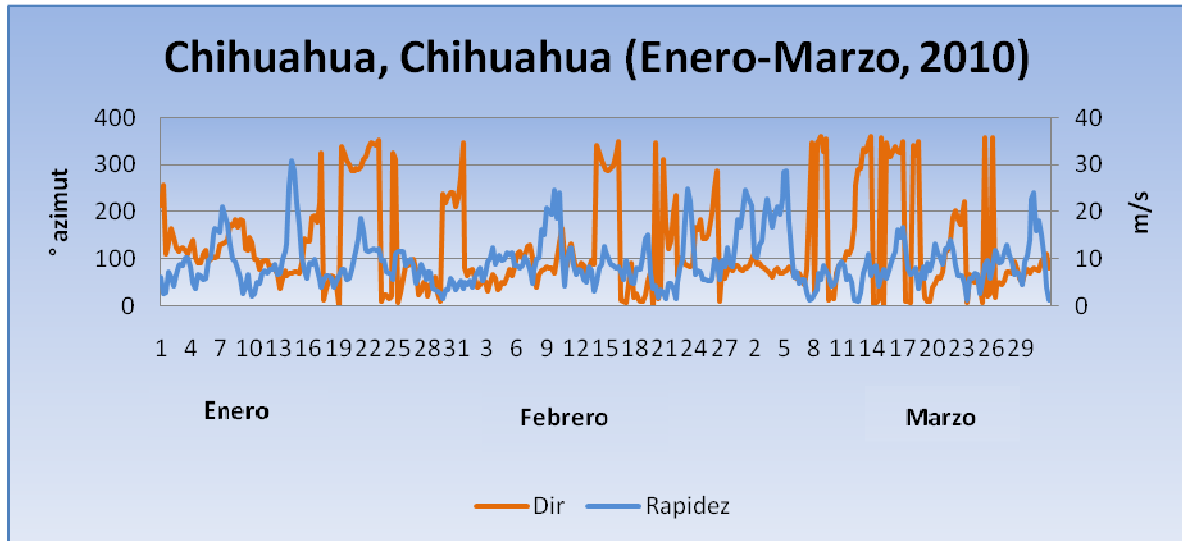


b)



c)

Continuación de la figura 9.4



d)

Continuación de la figura 9.4

Observaciones

- Se identifican precipitaciones asociadas al monzón de NA, vientos del este y la corriente en chorro subtropical.
- El modelo no reproduce adecuadamente la precipitación en regiones de la costa sur de México y Centroamérica. Es necesario verificar esta señal en los datos del modelo global (CCSM3).
- Detecta las altas presiones estacionarias del Atlántico y Pacífico, así como las bajas presiones relacionada con la zona de convergencia intertropical del Pacífico.
- Se observan patrones realistas de PNM.
- Con el análisis de meteogramas, se pueden identificar el paso de frentes fríos y nortes. Se recomienda automatizar la identificación de estos fenómenos.

9.2 Simulación para el año 1998, modelo MM5

Especificaciones de la corrida

- Modelo: MM5 con condiciones de frontera del modelo CCSM3.
- Escenario IPCC-A2.
- Dominio de la malla, proyección Lambert: 0°S-40°N, 60°O-130°O
- Intervalo de tiempo entre salidas: 6 horas
- Inicio y fin de la corrida: 1 de Enero - 31 de Diciembre, 1998.

Precipitación

Al igual que en la simulación para el año 2010 se analizó la lluvia acumulada tomando periodos de tiempo mensuales, semestrales y el anual. En las figuras 9.5a y 9.5b se presenta la lluvia acumulada para los meses de marzo y septiembre respectivamente donde el modelo reproduce adecuadamente el periodo y la intensidad de lluvias durante esos meses en la República Mexicana, captando la señal del monzón de NA, el flujo de humedad del este sobre el Caribe y sureste mexicano, así como en incremento de la ciclogénesis sobre el Pacífico. En la figura 9.5c se muestra la precipitación acumulada de julio a diciembre, captando eficientemente la señal de los fenómenos de verano y parte del invierno, pero a diferencia de la simulación del año 2010, la precipitación propuesta por la corrida es más realista en cuanto a las intensidades de precipitación que se presentan sobre el sur de México y sobre Centroamérica, lo cual es producto de la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical.

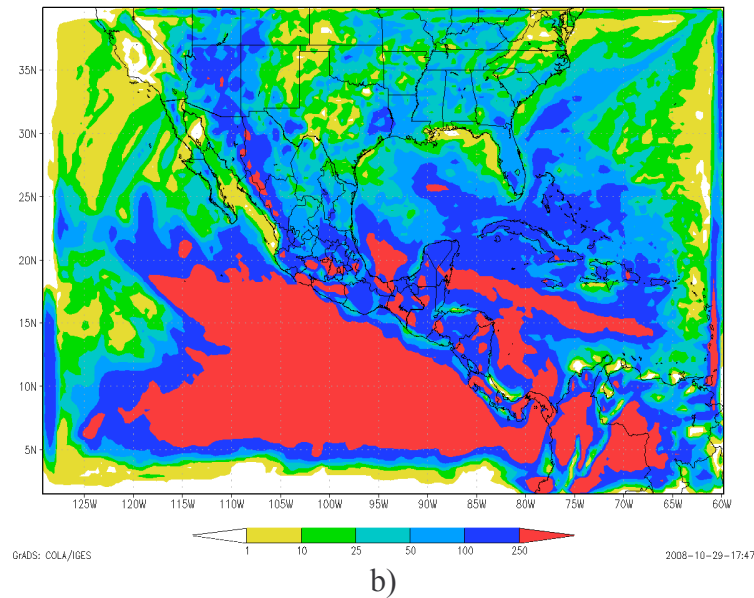
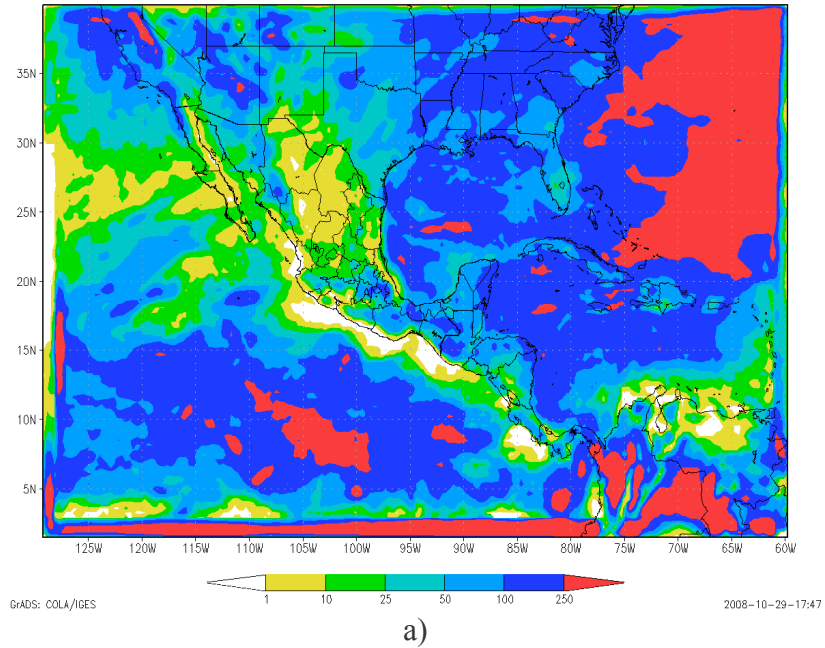
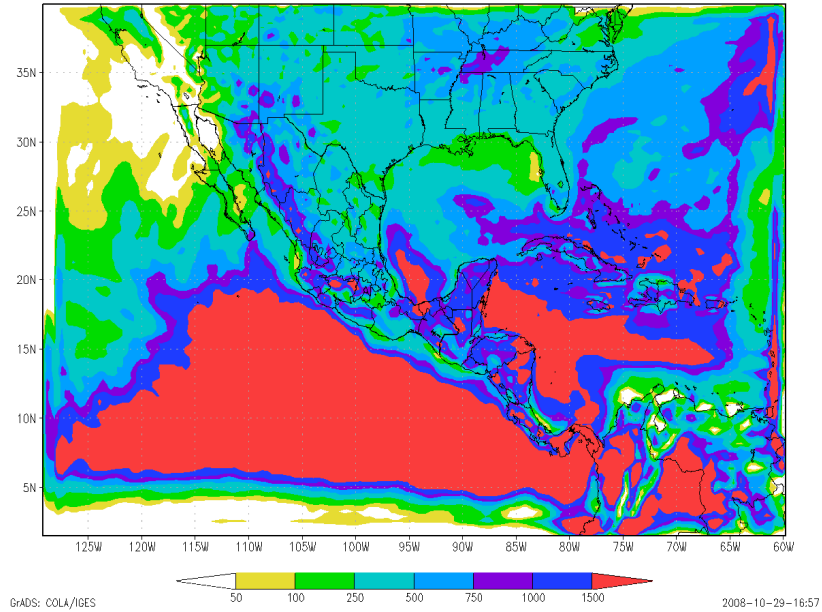


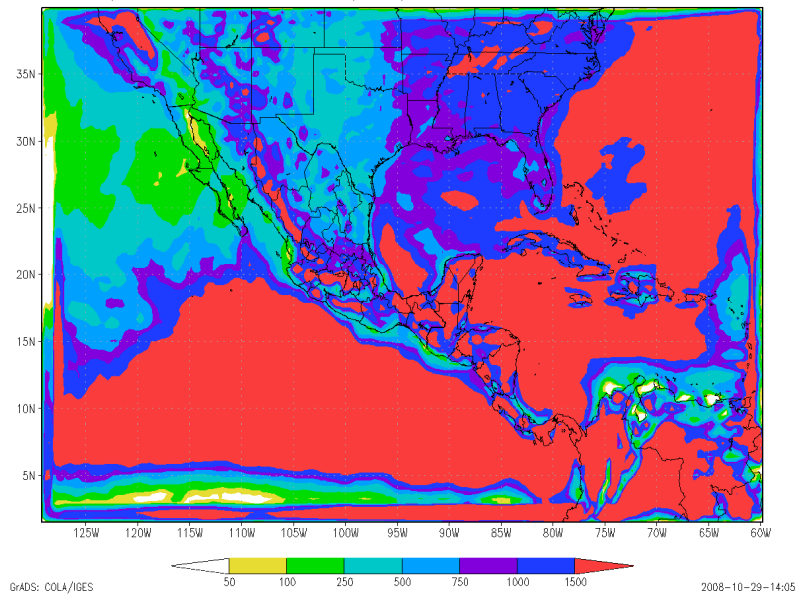
Figura 9.5 – Precipitación acumulada durante los meses de a) marzo, b) septiembre y c) de julio a diciembre del 1998, modelo MM5.

Precipitación acumulada (mm) de julio a diciembre, 1998



c)

Precipitación acumulada (mm) de enero a diciembre, 1998



d)

Continuación de la figura 9.5

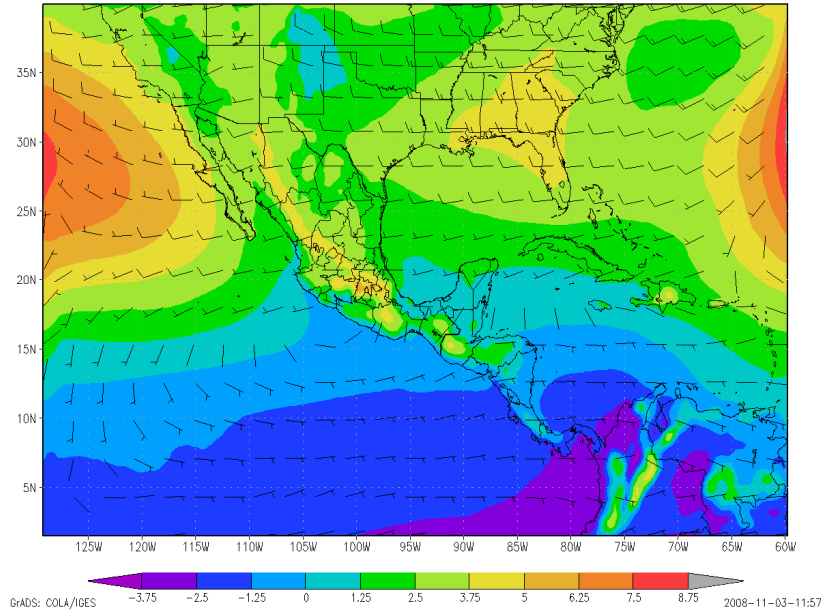
Al realizar la comparación de la precipitación acumulada durante 1998 (figura 9.5d) con la precipitación media registrada de 1941-2005 (figura 9.2b) se pueden identificar anomalías positivas durante 1998 sobre el sur y sureste de la República Mexicana, así como en la región del Monzón de NA, mientras que en el resto de México los valores se ajustan en su mayoría a los parámetros propuestos por la simulación.

Presión atmosférica a nivel del mar y viento a 2 metros sobre la superficie.

La figura 9.6 muestra las gráficas de vientos y presión a nivel del mar, donde 9.6a y 9.6b muestran las variables promedio para los meses de marzo y septiembre respectivamente, denotando valores de los anticiclones del Pacífico y Atlántico menos intensos en comparación con los resultados de la corrida del año 2010, identificando la región de ciclogénesis sobre el Pacífico y la región donde se ubica la Zona de Convergencia Intertropical. La circulación del este asociada a los alisios también es captada por la simulación así como la baja presión en forma de vaguada sobre la Península de Baja California para el caso del mes de septiembre.

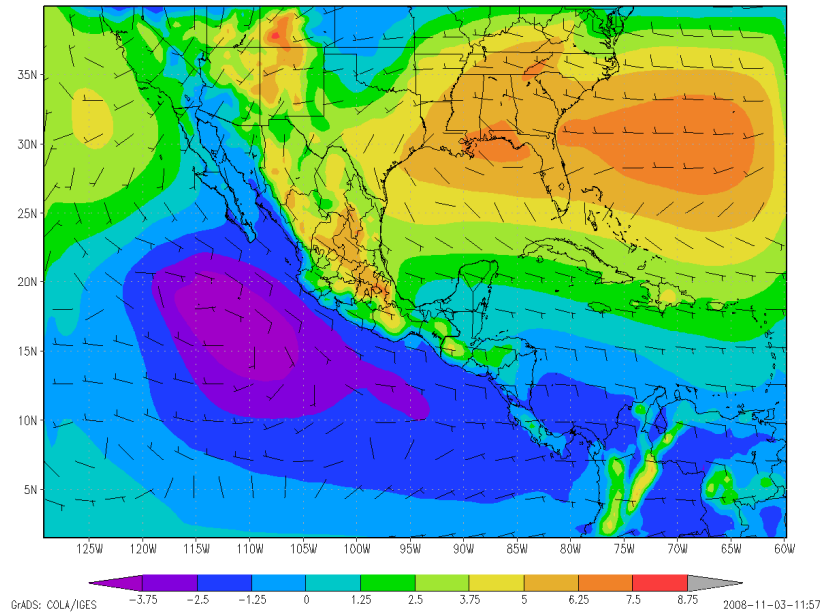
La figura 9.6c corresponde a la gráfica del periodo julio-diciembre de 1998, época en la que se tiene gran influencia del Océano pacífico, Océano Pacífico y Mar Caribe debido a la presencia de ciclones tropicales, sin embargo en un análisis más detallado, sobre el Atlántico no se logra identificar las características propias del desarrollo de alguno de estos fenómenos, lo que puede corresponder a desaciertos de la simulación o a errores en las condiciones iniciales.

Promedio de Presion a Nivel del Mar y Viento (2mts), marzo 1998



a)

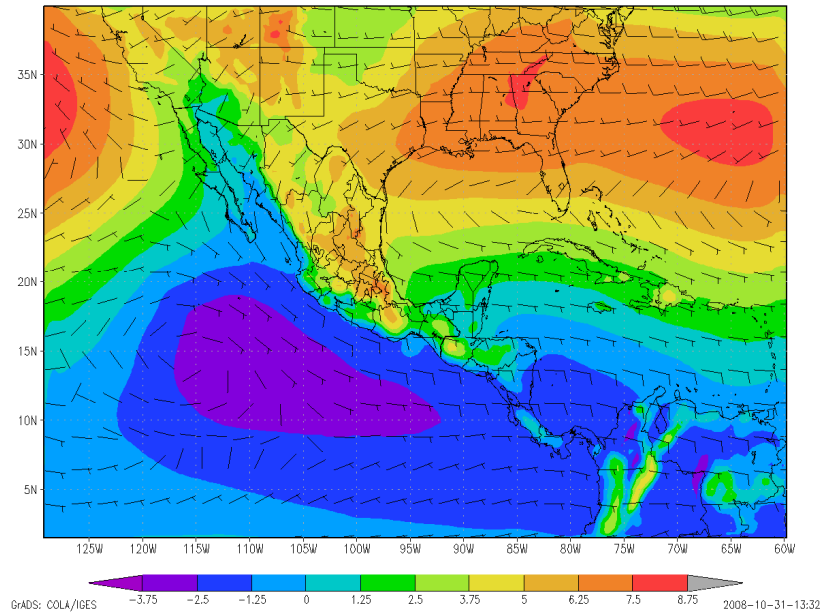
Promedio de Presion a Nivel del Mar y Viento (2mts), sept. 1998



b)

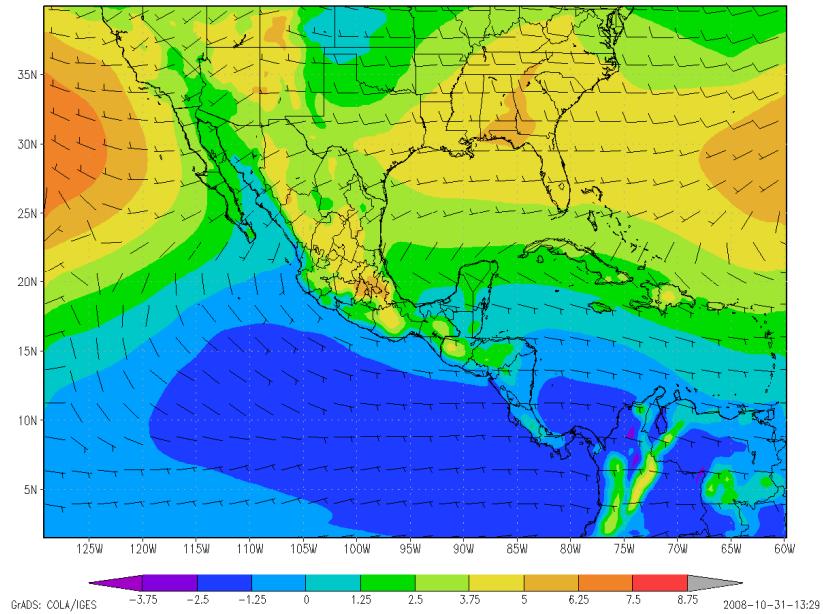
Figura 9.6 – Promedio de presión a nivel del mar y viento a 2 metros para los periodos de:
a) marzo, b) septiembre, c) julio-diciembre y d) enero-diciembre, 1998.

Prom. de Presion a Nivel del Mar y Viento (2mts), jul-dic 1998



c)

Prom. anual de Presion a Nivel del Mar y Viento (2mts), 1998



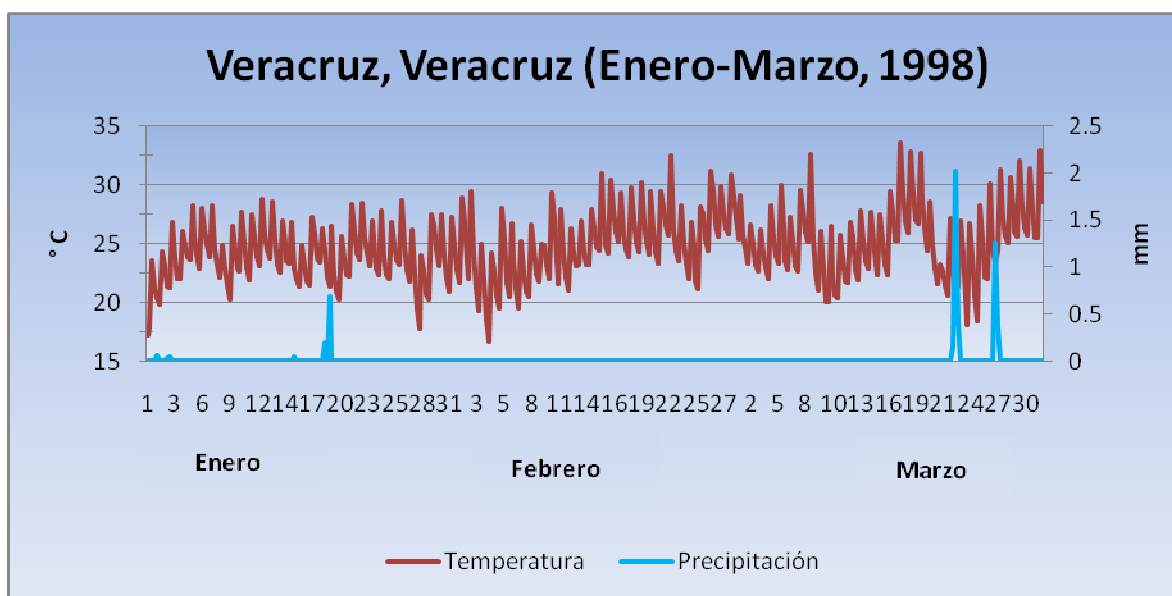
d)

Continuación de la figura 9.6

Meteogramas utilizados para la identificación de frentes fríos, simulación 1998

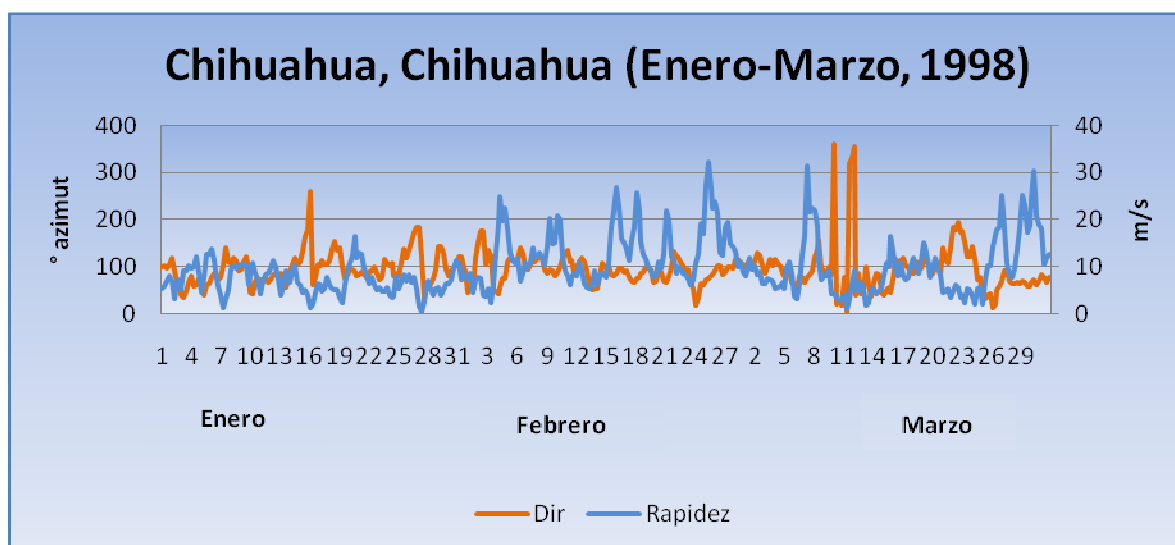
Se volvió a realizar el análisis de series de tiempo de variables meteorológicas (meteogramas) para las ciudades designadas en la simulación del año 2010, y de igual forma se utilizaron los periodos establecidos, de enero a marzo, graficando las variables de temperatura, precipitación, dirección y rapidez del viento. Para las gráficas de Veracruz (figuras 9.7a y 9.7b) se muestra una mayor variabilidad diaria en cuanto a las temperaturas y una reducción de la precipitación para dichos meses, dificultando la capacidad para identificar posibles sistemas frontales, mientras que en la gráfica de dirección y rapidez del viento se observa que ambas parecen no mantenerse constantes cuando cumplen con las características del paso de un frente frío, perdiendo la señal poco después de 24 horas.

En el caso de Chihuahua (figuras 9.7c y 9.7d) la variabilidad de la temperatura parece ser menos amplia que en la simulación del año 2010, mientras que la precipitación continúa presentando valores muy bajos a lo largo de los tres meses. La figura 9.7d por su parte muestra valores de la rapidez del viento superiores a los mostrados para la gráfica de Veracruz, presentando características que pudieran ser más claras para la identificación de frentes fríos.



a)

Figura 9.7 – Series de tiempo que muestran el comportamiento de la temperatura y la precipitación de a) Veracruz y c) Chihuahua, así como la dirección y rapidez del viento en b) y d) respectivamente, para el periodo enero-marzo, 1998.



d)
Continuación de la figura 9.7

Precipitación acumulada diaria para el mes de agosto

Para la identificación de ciclones tropicales por medio de la precipitación diaria se realizaron graficas de la lluvia acumulada cada 24 horas para el mes de agosto, encontrando señales correspondientes a vórtices en el Pacífico, lo cual no ocurrió para el caso del Atlántico.

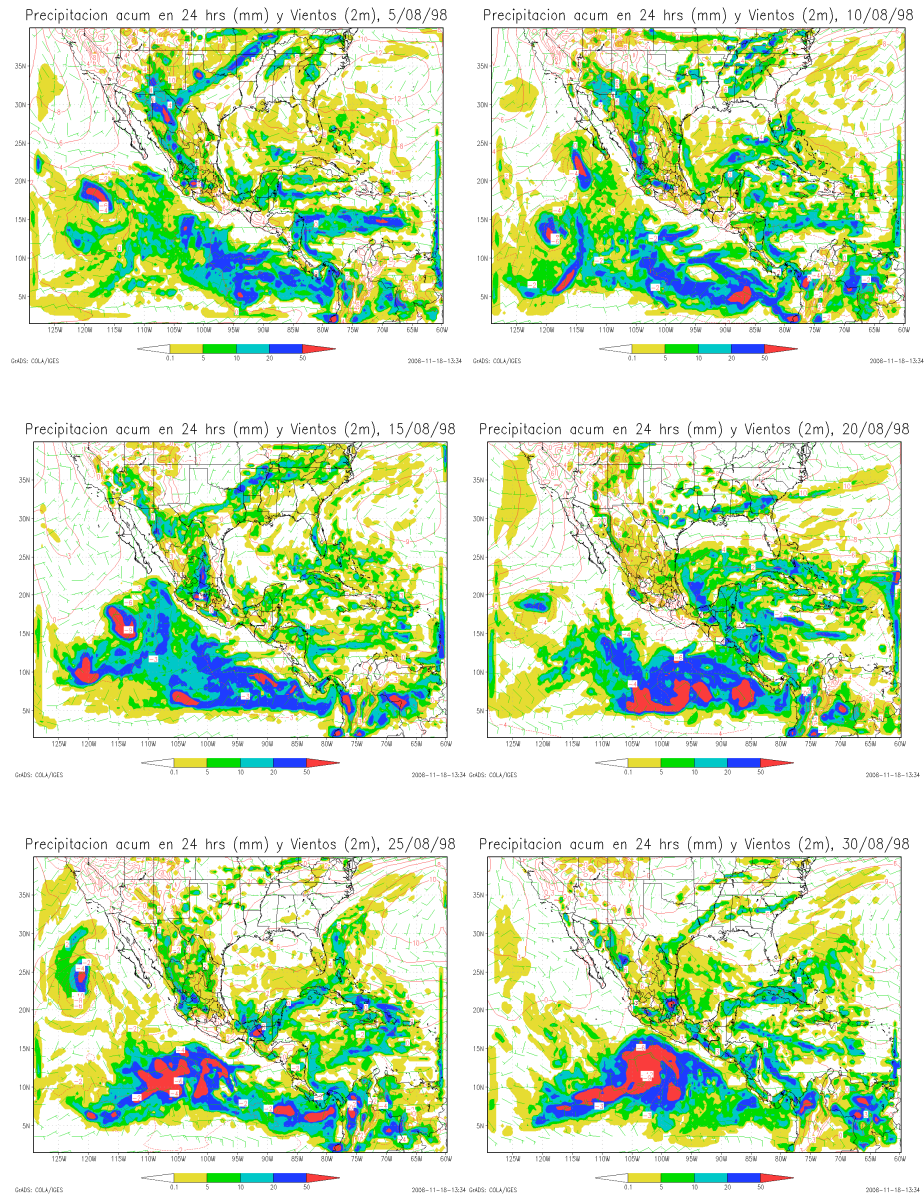


Figura 9.8 – Secuencia de imágenes que muestran la simulación de la precipitación acumulada en 24 horas durante distintos días del mes de agosto de 1998.

Observaciones

- Al igual que en la simulación del 2010, se identifican precipitaciones asociadas al monzón de NA, vientos del este y la corriente en chorro subtropical.
- El modelo reproduce de una manera más adecuada la precipitación en regiones de la costa sur de México y Centroamérica a diferencia de la simulación del 2010.
- A partir de un análisis diario para Agosto y Septiembre, meses en los que existe actividad ciclónica, se identifican la señal asociada a huracanes en el Océano Pacífico, sin embargo en el Océano Atlántico dicha señal se encuentra ausente.
- Detecta las altas presiones estacionarias del Atlántico y Pacífico, así como las bajas presiones relacionada con la zona de convergencia intertropical del Pacífico.
- Se observan patrones realistas de pnm.
- En el análisis de meteogramas, se encuentra señales menos intensas asociadas con el paso de frentes fríos y nortes.

10 CONCLUSIONES

En este informe se han descrito los resultados del proyecto de Identificación de modelos climáticos locales y globales adecuados para las condiciones de México. Las conclusiones principales se resumen a continuación:

10.1 *Análisis de tendencias climáticas*

Uno de los objetivos principales de este estudio era encontrar los “dos mejores modelos” que participaron en el 4to Reporte de Evaluación del IPCC, con base en la evaluación de la climatología de los modelos en cada una de las nueve zonas geográficas en que se dividió la República Mexicana (Anexo D), en las que se obtuvo la correlación y el error cuadrático medio de los modelos con respecto a la base de datos observados CRU para las variables de precipitación y temperatura. Cabe señalar que en el último reporte parcial de este proyecto, se realizó una comparación entre cuatro bases de datos, de la cual se decidió elegir la base de CRU (Anexo E).

Del proceso de validación de los modelos se concluyó, que para el período de referencia que comprende de 1961-1990, los modelos en las zonas norte y centro tienden a sobreestimar precipitación, y a subestimar la misma en las zonas del sur, sin embargo sí llegan a simular adecuadamente características particulares de cada zona como son la sequía intraestival de la región sur, y el monzón en el norte del país. Una observación importante es que la zona norte 3, es en la que peor simulan los modelos la precipitación.

Respecto a las tendencias estimadas por los modelos, en la zona norte son casi imperceptibles, ya que se mantienen alrededor de cero, mientras que conforme avanzamos hacia al sur, las tendencias de los modelos tienden a presentar mayores diferencias entre ellas, principalmente en la temporada climática de verano, donde de manera generalizada indican una disminución de precipitación para este período.

Los modelos que obtuvieron la mejor correlación y el menor error cuadrático medio fueron el modelo HADLEY, el IPCC como promedio de quince modelos y el ECHAM. Las mayores tendencias las presenta el modelo ECHAM, especialmente en la zona norte y centro, ya que en el sur se observa una tendencia que indica una disminución de la precipitación.

El presente estudio encuentra que el modelo ECHAM es el que coincide mejor con las tendencias que muestra la base de datos observados CRU para la zona sur del país, ya que para las zonas norte y centro, el modelo que mejor se ajusta a las tendencias de CRU es el HADLEY.

En la climatología de temperatura que presentan los modelos, de manera generalizada estos tienden a sobreestimar la misma en las zonas norte y centro, y subestimar para la región sur, sin embargo sí llegan a simular apropiadamente las características principales de la variabilidad interanual de temperatura para el país con base en la serie de datos observados de CRU. Es importante mencionar que la zona norte 3 es donde se observan las mayores diferencias de los modelos con CRU.

Las tendencias de los modelos son principalmente positivas, es decir, que para el período de referencia se observa un aumento de la temperatura en toda la República Mexicana, aunque las tendencias más grandes se presentan en el norte de país, así como también las diferencias mayores entre modelos y CRU.

De los dos modelos que se eligieron, el modelo HADLEY se ajusta mejor a las tendencias de temperatura de CRU en los meses de abril y octubre, para la zona norte, mientras que el modelo ECHAM lo hace para los meses de enero y julio, en las zonas del centro y sur. El promedio de los quince modelos representado como IPCC no muestra una tendencia significativa, ya que los valores son cercanos a cero.

Los escenarios con las tendencias de precipitación señalan una disminución de la misma, en los períodos de 2010-2039, disminuyendo aún más para el período 2040-2069 en las zonas centro y sur; por otro lado, en las zonas del norte, especialmente en el período 2010-2039, se aprecia un aumento en la precipitación. De manera general, de acuerdo a las simulaciones realizadas por los modelos, se espera que el período 2040-2069 sea el período más seco, ya que para el 2070-2098 los modelos simulan un ligero aumento de la precipitación en la mayor parte del país especialmente para el mes de octubre.

El modelo ECHAM así como el IPCC son los que señalan estas tendencias de precipitación, debido a que el modelo HADLEY presenta, en la mayoría de los meses y períodos, tendencias poco significativas.

En cuanto a los escenarios de tendencias de temperatura, los modelos simulan para los tres períodos de estudio valores positivos, que señalan por supuesto un aumento de la misma. El período 2040-2069 se estima que sea aumento de temperatura más rápidamente, con base en las tendencias de los modelos en toda la República Mexicana, pero con mayor intensidad en el sureste mexicano.

De los modelos ECHAM y HADLEY que se utilizaron para generar las tendencias de temperatura y del promedio de quince de ellos, se observa que el modelo HADLEY es el que presenta las más altas tendencias.

Una de las conclusiones más importantes que se obtuvo de la validación de los modelos, es que independientemente de la buena correlación y el bajo error cuadrático que hayan tenido los modelos con la base de datos observados para este caso CRU, no es un factor que necesariamente determine que el modelo elegido será el que mejor simule las tendencias de precipitación y/o temperatura, como sucedió con el modelo HADLEY para este estudio.

10.2 Modelación regional de clima:

- Uno de los resultados más importantes es el de haber desarrollado una estrategia de optimizar el manejo de grandes volúmenes de datos, desde su descarga, conjunción, transformación de coordenadas y de formato, para facilitar su lectura para el módulo “pregrid”.
- El desarrollo de un sistema de control de calidad del preprocesamiento de todos los datos al prepararlos para el MM5, aseguró detectar errores como la falta de datos ya sea en el tipo de variables y en los niveles requeridos. La programación shell permitió una revisión sistemática y objetiva de los datos obtenidos de INTERNET.
- Es la primera vez que se trabaja con el modelo NOAH acoplado al MM5, lo cual motivó a reconocer y resolver nuevos problemas en la preparación de los datos, tal como la forma de llamar adecuadamente a ciertas variables de datos de superficie para ser reconocidas por los programas de decodificación del módulo pregrid.
- La simple denominación inadecuada de la variable correspondiente a la temperatura de superficie del mar (TSM) hace que se fije el campo de inicialización durante toda la corrida ó bien la varíe en el tiempo, tal como corresponde a la realidad.
- Los requerimientos de espacio en disco duro, y de una gran velocidad de procesamiento paralelo son necesarios en primera instancia para realizar simulaciones climáticas, tal como las realizadas para este proyecto.
- Si bien fue fácil implementar, compilar y correr los programas de cada módulo del MM5, por otro lado resultó problemática la preparación de los datos de cualquier experimento en la cuenta de KanBalam, pues al correr cualquier proceso requirió ponerlo en cola aún sin ser compilado el programa para multiprocesamiento paralelo, de otra manera si la duración excedía los 30 minutos, este es eliminado por programas del sistema controlador de procesos.
- Durante el período de uso de KanBalam octubre-noviembre de 2008, ésta fue muy exigida por todos los usuarios y el arranque de procesos lanzados en cola de espera

alcanzaba hasta 3 días en ejecutarse, siendo una gran limitante que interfirió con la entrega completa de resultados.

- Las simulaciones obtenidas muestran que son de gran significado realista, pero requieren de un análisis climatológico profundo para evaluar sobre todo el período simulado para el siglo XX y luego el escenario de proyección para el siglo XXI.
- Es necesario adquirir un mejor servicio de cómputo no tan saturado o bien de uso exclusivo, es por esto que el IMTA está en condición de adquirir un equipo CLUSTER de mediana capacidad de cómputo, pero suficiente para avanzar significativamente en la obtención de los resultados esperados.

10.3 Conclusiones generales:

- **DESCARGA DE DATOS:** El IMTA tramitó su ingreso al CUDI (Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet), con el fin de tener acceso al sistema de Internet 2, con lo cual el IMTA tiene acceso directo a esta línea de comunicación, lo cual permite realizar las descargas de las bases de datos de modelos de clima de una forma mucho más ágil que la existente anteriormente. Estos son preprocesados y alimentan las corridas del modelo regional MM5.
- **COLABORACIÓN CON LA UNAM:** Se redactó un anexo técnico que sirvió como base para establecer un convenio de colaboración CONAGUA-UNAM, el cual tuvo por objetivo el uso de la computadora KanBalam para simulaciones de clima regionalizadas a la República Mexicana. También se han tenido acercamientos con investigadores del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (Dra. Graciela Raga), para establecer una colaboración con el objetivo de realizar posteriormente experimentos de reducción de escala dinámica y análisis de resultados.

11 ANEXO A – ANEXO TÉCNICO: GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONAL EN EL SISTEMA DE SUPERCÓMPUTO KANBALAM-UNAM

11.1 Antecedentes

Como parte del proyecto establecido entre el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y IMTA, se planteó la necesidad de usar un sistema de cómputo de alto rendimiento para generar los escenarios de cambio climático regional de México, en noviembre de 2007 y a través del departamento de supercomputo de DGSCA y del Centro de Ciencias de la Atmósfera fue posible realizar pruebas de desempeño computacional del modelo meteorológico de mesoescala MM5 (Mesoscale Model V. 5 Penn State Univ./NCAR) instalado y adecuado para correr en la supercomputadora KanBalam de la UNAM. El modelo MM5 fue alimentado con datos de Reanálisis de campos de cada 6 hrs. un dominio cuyas dimensiones cubren la región de México y mesoamerica, el tipo de experimentos consistieron en hacer simulaciones de la atmósfera extendidas a 6 meses, similares a las que se harían para reproducir el clima regional en un período observado o para una proyección de cambio climático regional.

Los detalles sobre el MM5 de cómo compilar el código y la forma de aumentar el escalamiento en el rendimiento de la paralelización, ver el documento mm5.pdf obtenido de:

(<http://www.super.unam.mx/index.php?op=manuales>) □ Benchmarking de MM5 en KanBalam

En el IMTA ya se cuenta con la experiencia de 4 años en saber configurar sistemas de cómputo de alto rendimiento llamados CLUSTER, y de implementar aplicaciones que corren en paralelo como los modelos MM5 y WRF (Weather Research Forecast NCAR, por sus siglas en inglés).

Los datos de Reanálisis fueron interpolados a 2 dominios que poseen las características siguientes:

DATOS	MIX No. nodos en Y	MJX No. de nodos en X	MKX No. niveles verticales	RESOLUCIÓN (KM)
I	200	350	23	20
II	120	200	23	40

Se hicieron las pruebas de rendimiento del modelo MM5 en KanBalam usando al menos dos conjuntos de datos, por dos razones:

1. Saber de forma precisa los tiempos necesarios para la preparación de los datos de entrada, así como los tiempos de cómputo para hacer simulaciones con diferentes resoluciones. Lo

que servirá de referencia en el caso de escoger otra escala si es necesario.

2. Definir con precisión el consumo de los recursos computacionales de KanBalam, como función de la capacidad de cómputo y el tiempo real para realizar el total de las metas en esta componente del proyecto.

El IMTA realizó simulaciones extendidas a 6 meses variando el número de procesadores desde 32 hasta 128.

DGSCA realizó las pruebas de rendimiento de las corridas cortas limitadas a 6 hrs y variando el número de 8 a 64 procesadores asignados a la ejecución de una simulación.

Las conclusiones de la etapa de pruebas de desempeño son:

- 1) Los pruebas de desempeño computacional obtenidos en KanBalam comprueban la factibilidad de realizar simulaciones climáticas con el modelo MM5.
- 2) Es posible realizar al menos un escenario de cambio climático usando la técnica de reducción de escala dinámicamente en un plazo inferior a un año.
- 3) Las pruebas de rendimiento realizadas, permitió confirmar y aprender, sobre el control que las variables PROCMIN_NS y PROCMIN_EW tienen sobre el escalamiento en la paralelización de un proceso del MM5, y por lo tanto obtener el mejor rendimiento conforme se requiere incrementar el número de procesadores asignados a la ejecución de un experimento de simulación.
- 4) Conforme a los resultados sobre el consumo de recursos de cómputo, tiempos de espera y el tiempo para obtener los resultados de un experimento, se recomienda asignar 64 procesadores al ejecutar un experimento de simulación.
- 5) Sería factible hacer en un tiempo real intermedio a los calculados, el escenario de cambio climático regional a 30 kms.

11.2 *Objetivo*

1. Implementar el modelo MM5 (módulos de preprocesamiento, dinámica y posprocesamiento) en la computadora KanBalam de la UNAM.
2. Con el MM5 generar la climatología regional de México correspondiente al siglo XX (1979-2002).
3. Generar al menos 2 escenarios de cambio climático regional usando la técnica de reducción de escala, consistente en simular la dinámica y física atmosférica con el modelo MM5, correspondiente a todo el siglo XXI.

11.3 Resultados

Usando los recursos de supercómputo distribuido de la UNAM, se acoplarán las salidas de un Modelo Climático de Circulación General de la Atmósfera CCSM3 (Community Climate System Model, NCAR) que servirán como condiciones de frontera del modelo de mesoescala MM5, aplicado a la generación de escenarios de cambio climático para la región de México.

Se obtendrán los escenarios de cambio climático regionales A2 y A1B con una resolución de 40 Kms, consistiendo en campos de temperatura, vientos, humedad relativa, en altura y cerca de la superficie, así como de la lluvia, la presión al nivel del mar entre otras, contando con salidas de cada 6 horas.

Se harán los análisis de impacto del cambio climático regional en México derivados de la técnica de reducción de escala al acoplar el modelo MM5 a las salidas del modelo CCSM. Bajo los esquemas A2 y A1B de los el cambio climático

11.4 Requerimientos

- 1) Los experimentos numéricos requerirán al menos de 1 000,000 de horas/cpu, conforme a las estimaciones hechas en noviembre de 2007, ver reporte.
- 2) La disponibilidad de usar al menos 128 procesadores con prioridad fija al encolar el proceso (acordada por DGSCA y el usuario SMN-IMTA).
- 3) Es necesario disponer de un servidor ó cuenta en DGSCA donde se nos permita descargar y procesar datos, además de preparar a estos para luego llevarlos a la supercomputadora donde se harán las corridas o experimentos en paralelo. Se requerirá un espacio en disco del orden de 1 a 1.5 TB, allí se instalarán los módulos de preprocesamiento del modelo MM5, y salvarán los resultados temporalmente hasta su respaldo.
- 4) En KanBalam se implementará el código de la física del modelo, donde se compilará y correrá en paralelo, esto requerirá al menos de un espacio de 100 GB considerando que los paquetes de datos por experimento entrada y salida será de ese orden.
- 5) Asistencia técnica en la implementación completa del modelo MM5 usando el compilador Pathscale, en el servidor de preprocesamiento y en KanBalam (el módulo de la física ya funciona en esta). Además de otras aplicaciones que sirvan para el posprocesamiento de los datos.
- 6) Acceso remoto para transferir datos y ejecutar procesos desde servidores localizados en el SMN y en el IMTA.

12 ANEXO B – NOMENCLATURA DEL ARCHIVO FINAL

cam2T85_201001_sr4a2.nc

modelo: cam2
resolución: T85
año: 2010
mes: 01
proviene: reportes especiales 4 IPCC
experimento: sresa2

Comando ncdump

Ver encabezado.

ncdump -h file_1.nc

comando: ncdump
opción para ver solo encabezado: -h
archivo al cual se vera su encabezado: file_1.nc

Ver tiempos.

ncdump -v time file_1.nc

comando: ncdump
opción para ver variable (en este caso time-tiempos): -v time
archivo al cual se vera la variable: file_1.nc

Comandos NCO.

Sustraer tiempos.

ncks -A -d time,51100.,51130.75 file_1.nc file_2.nc

comando: ncks -A
opción para sustraer tiempos: -d time
tiempo inicial:51100
tiempo final:51130.75
archivo a unir: file_1.nc
archivo resultado: file_2.nc

Unir archivos.

ncks -A file_1.nc file_2.nc

comando: ncks -A
archivo a unir: file_1.nc
archivo resultado: file_2.nc

13 ANEXO C – INFORME DE ACTIVIDADES, COMITÉ DE MEMBRESÍAS DEL CUDI

17 de abril de 2008

Informe de actividades Comité de Membresías
Del 21 de marzo del 2007 al 17 de Abril del 2008

El comité de membresías realizó entre marzo del 2007 a Abril del 2008 diversas actividades de promoción en varias universidades públicas y privadas e instituciones de Superior, así como algunos organismos y empresas privadas vinculadas con la educación superior y las telecomunicaciones.

Se envió información a instituciones interesadas en su integración a nuestra red y proporcionó asesoría sobre los requerimientos para su ingreso. Todo lo anterior con el apoyo de consejeros y personal del CUDI. Es menester mencionar el apoyo constante del Ing. Jose Antonio Ramirez y de Cecilia Castañeda Cuevas.

Durante este periodo también se integraron a CUDI los siguientes nuevos miembros:

- **Sun Microsystem de México, S.A. de C.V. Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal**
- **Universidad Autónoma de Sinaloa Universidad Autónoma de Zacatecas**
- **El Colegio de Sonora**
- **Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de México**
- **Instituto Mexicano de Tecnología del Agua**

En el transcurso de este período se han integrado los institutos Tecnológicos de:

- **Tuxtla Gutiérrez Reynosa**

Durante esta reunión se dará a conocer y resolver la admisión del:

- **Instituto Tecnológico Superior de Lerdo**
- **Universidad Latina**

Con ello la membresía de CUDI llegó a los 202 miembros incorporados.

Por otra parte, se envió información a 4 instituciones interesadas en su integración a nuestra red y proporcionó asesoría sobre los requerimientos para su ingreso. Todo lo anterior con el apoyo de consejeros y personal del CUDI.

LA TORRE DEL VIGIA A.R.

Centro de Innovación y Educación

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas Academia Mexicana de Cirugía

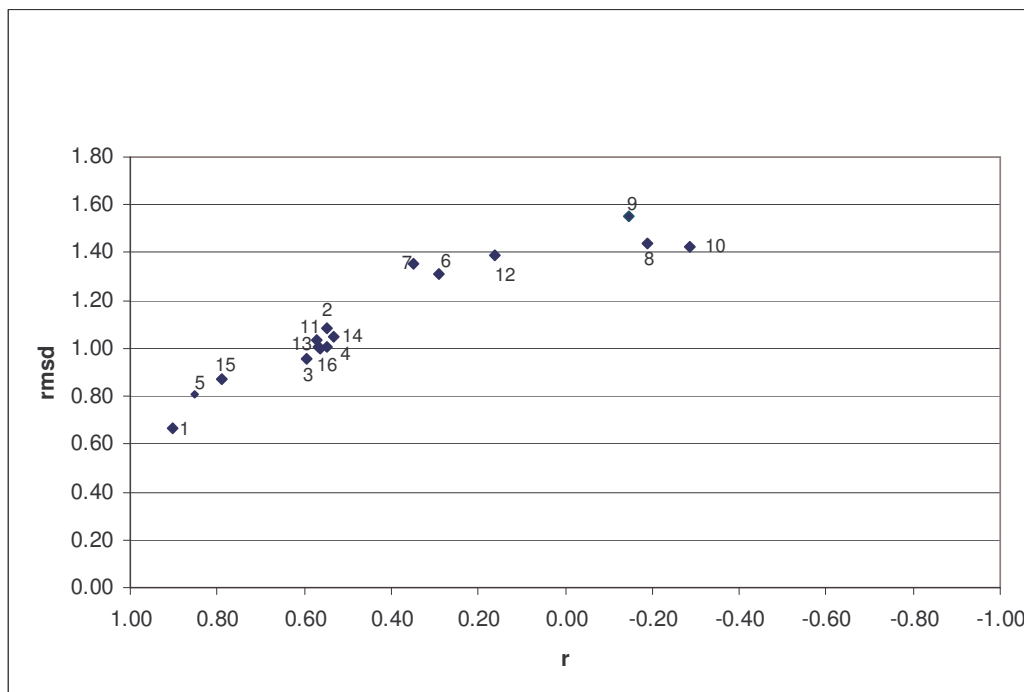
Universidad Tecnológica de Torreón

Atte. Pascual Hernández Guerra
Presidente del Comité de Membresías

14 ANEXO D – TABLAS Y GRAFICAS DE VALIDACIÓN DE MODELOS PARA CADA ZONA DE ESTUDIO.

Tabla D-1 – Tabla de validación de modelos para la zona norte uno.

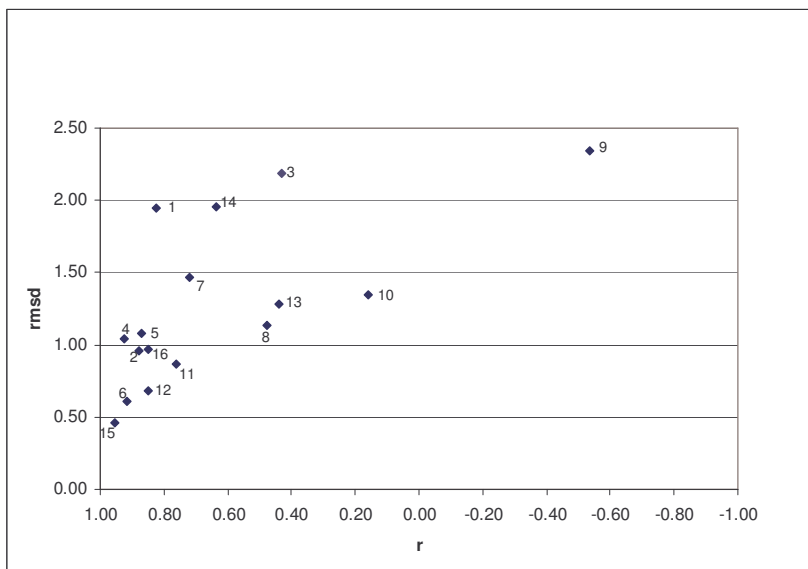
Numero	Modelo	Coefficiente de correlación		Error cuadrático medio		Total
1	BCCR_ BCM2_0	0.90	1	0.67	1	2
2	CCCMA CGCM 3_1	0.55	9	1.08	10	19
3	CNRM_CM3	0.59	4	0.96	4	8
4	CSIRO MK3_0	0.55	8	1.01	7	15
5	MPI_ECHAM5	0.85	2	0.81	2	4
6	MIUB_ECHO_G	0.29	12	1.31	11	23
7	GFDL_CM2	0.35	11	1.36	12	23
8	GFDL1_CM2_1	-0.19	15	1.44	15	30
9	INMCM3_0	-0.15	14	1.55	16	30
10	IPSL_CM4	-0.29	16	1.43	14	30
11	MIROC3_2_MEDRES	0.57	5	1.03	8	13
12	MRI CGCM2_3_2a	0.16	13	1.39	13	26
13	NCAR_CCSM3_0	0.57	6	1.00	5	11
14	NCAR_PCM1	0.53	10	1.05	9	19
15	UKMO_HADCM3	0.79	3	0.87	3	6
16	IPCC	0.56	7	1.00	6	13



Gráfica D-1 – Gráfica de correlación (r) y error cuadrático (rmsd) de los modelos para la zona norte uno.

Tabla D-2 – Tabla de validación de modelos para la zona norte dos.

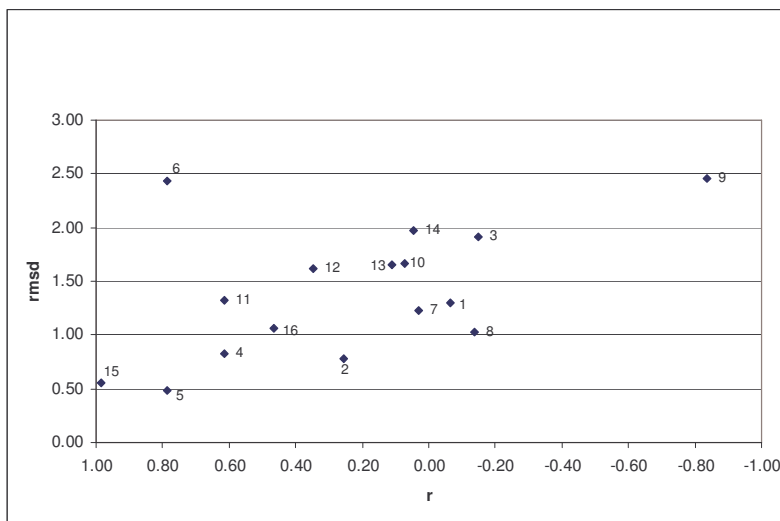
Numero	Modelo	Coeficiente de correlación		Error cuadrático medio		Total
1	BCCR_BCM2_0	0.82	8	1.94	13	21
2	CCCMA CGCM 3_1	0.88	4	0.95	5	9
3	CNRM CM3	0.43	14	2.18	15	29
4	CSIRO MK3_0	0.92	2	1.04	7	9
5	MPI ECHAM5	0.87	5	1.08	8	13
6	MIUB_ECHO_G	0.91	3	0.61	2	5
7	GFDL CM2	0.72	10	1.47	12	22
8	GFDL1 CM2_1	0.48	12	1.14	9	21
9	INMCM3_0	-0.54	16	2.34	16	32
10	IPSL CM4	0.16	15	1.34	11	26
11	MIROC3_2_MEDRES	0.76	9	0.87	4	13
12	MRI CGCM2_3_2a	0.85	6	0.69	3	9
13	NCAR CCSM3_0	0.44	13	1.28	10	23
14	NCAR PCM1	0.64	11	1.95	14	25
15	UKMO_HADCM3	0.95	1	0.46	1	2
16	IPCC	0.85	7	0.96	6	13



Gráfica D-2 – Gráfica de correlación (r) y error cuadrático (rmsd) de los modelos para la zona norte dos.

Tabla D-3 – Tabla de validación de modelos para la zona norte tres.

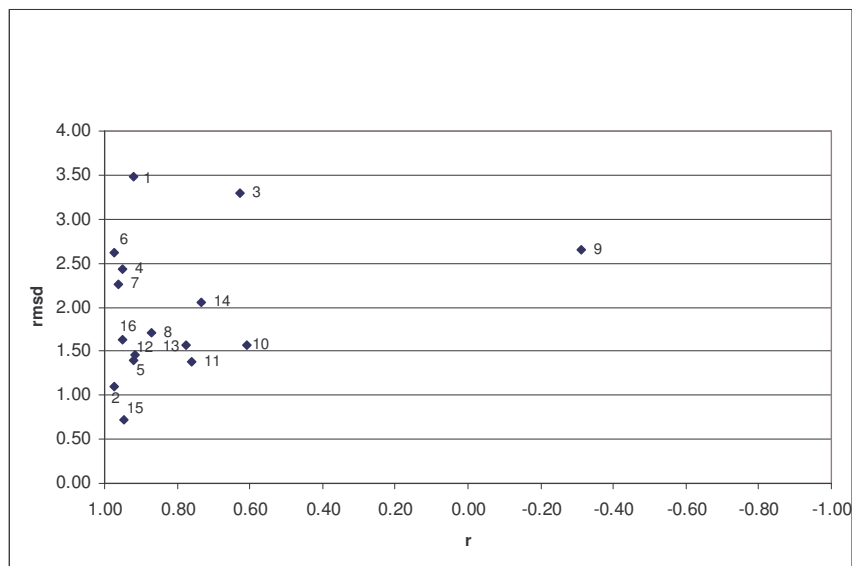
Numero	Modelo	Coefficiente de correlación		Error cuadrático medio		Total
1	BCCR_BCM2_0	-0.07	13	1.30	8	21
2	CCCMA CGCM 3_1	0.26	8	0.77	3	11
3	CNRM_CM3	-0.15	15	1.91	13	28
4	CSIRO MK3_0	0.61	4	0.83	4	8
5	MPI ECHAM5	0.79	2	0.49	1	3
6	MIUB ECHO_G	0.79	3	2.44	15	18
7	GFDL_CM2	0.03	12	1.22	7	19
8	GFDL1_CM2_1	-0.14	14	1.03	5	19
9	INMCM3_0	-0.84	16	2.46	16	32
10	IPSL_CM4	0.07	10	1.66	12	22
11	MIROC3_2_MEDRES	0.61	5	1.32	9	14
12	MRI CGCM2_3_2a	0.35	7	1.62	10	17
13	NCAR_CCSM3_0	0.11	9	1.65	11	20
14	NCAR_PCM1	0.05	11	1.98	14	25
15	UKMO_HADCM3	0.99	1	0.55	2	3
16	IPCC	0.46	6	1.06	6	12



Gráfica D-3 – Gráfica de correlación (r) y error cuadrático (rmsd) de los modelos para la zona norte tres.

Tabla D-4 – Tabla de validación de modelos para la zona centro uno.

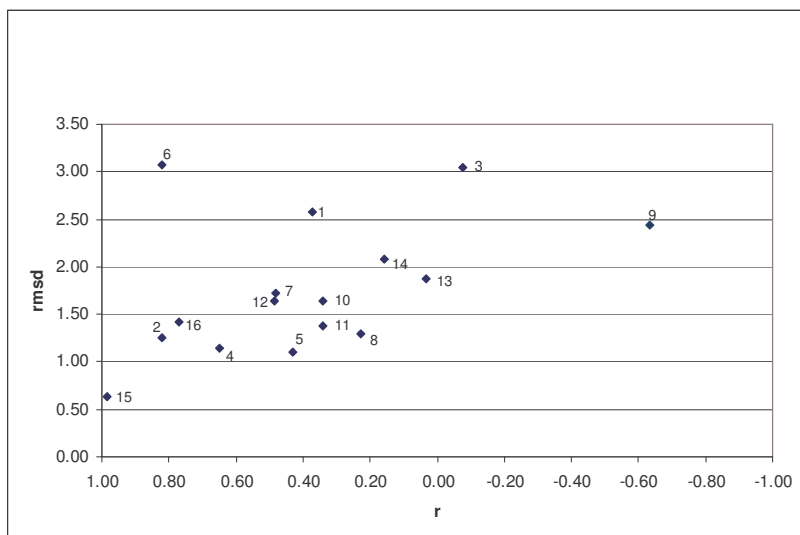
Numero	Modelo	Coefficiente de correlación		Error cuadrático medio		Total
1	BCCR_BCM2_0	0.92	9	3.48	16	25
2	CCCMA CGCM 3_1	0.98	1	1.09	2	3
3	CNRM_CM3	0.63	14	3.29	15	29
4	CSIRO MK3_0	0.95	5	2.43	12	17
5	MPI ECHAM5	0.92	7	1.39	4	11
6	MIUB ECHO_G	0.97	2	2.62	13	15
7	GFDL_CM2	0.96	3	2.26	11	14
8	GFDL1_CM2_1	0.87	10	1.72	9	19
9	INMCM3_0	-0.31	16	2.66	14	30
10	IPSL_CM4	0.61	15	1.57	6	21
11	MIROC3_2_MEDRES	0.76	12	1.38	3	15
12	MRI CGCM2_3_2a	0.92	8	1.46	5	13
13	NCAR_CCSM3_0	0.77	11	1.58	7	18
14	NCAR_PCM1	0.73	13	2.05	10	23
15	UKMO_HADCM3	0.94	6	0.73	1	7
16	IPCC	0.95	4	1.63	8	12



Gráfica D-4 – Gráfica de correlación (r) y error cuadrático (rmsd) de los modelos para la zona centro uno.

Tabla D-5 – Tabla de validación de modelos para la zona centro dos.

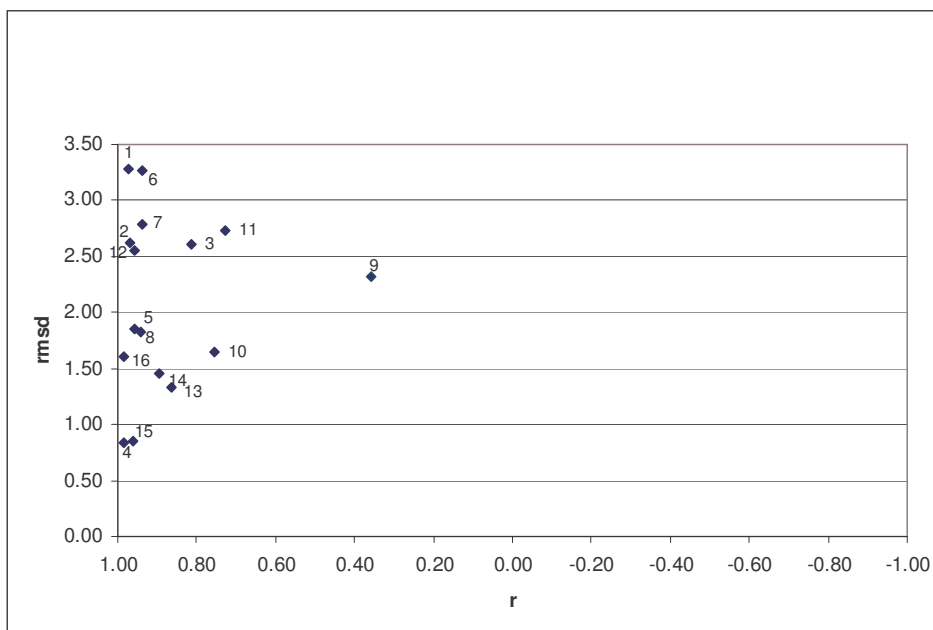
Numero	Modelo	Coefficiente de correlación		Error cuadrático medio		Total
1	BCCR_BCM2_0	0.37	9	2.58	14	23
2	CCCMA CGCM_3_1	0.82	2	1.26	4	6
3	CNRM_CM3	-0.08	15	3.04	15	30
4	CSIRO MK3_0	0.65	5	1.14	3	8
5	MPI ECHAM5	0.43	8	1.11	2	10
6	MIUB ECHO_G	0.82	3	3.07	16	19
7	GFDL_CM2	0.48	7	1.73	10	17
8	GFDL1_CM2_1	0.23	12	1.29	5	17
9	INMCM3_0	-0.63	16	2.43	13	29
10	IPSL_CM4	0.34	11	1.65	9	20
11	MIROC3_2_MEDRES	0.34	10	1.38	6	16
12	MRI CGCM2_3_2a	0.49	6	1.65	8	14
13	NCAR_CCSM3_0	0.03	14	1.88	11	25
14	NCAR_PCM1	0.16	13	2.08	12	25
15	UKMO_HADCM3	0.99	1	0.63	1	2
16	IPCC	0.77	4	1.42	7	11



Gráfica D-5 – Gráfica de correlación (r) y error cuadrático (rmsd) de los modelos para la zona centro dos.

Tabla D-6 – Tabla de validación de modelos para la zona centro tres.

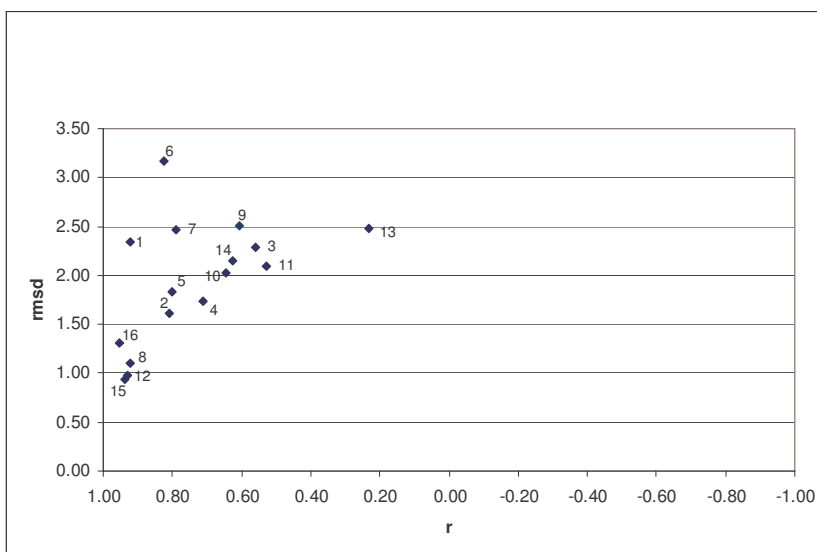
Numero	Modelo	Coefficiente de correlación		Error cuadrático medio		Total
1	BCCR_BCM2_0	0.97	4	3.29	15	19
2	CCCMA CGCM 3_1	0.97	3	2.62	12	15
3	CNRM_CM3	0.81	13	2.61	11	24
4	CSIRO MK3_0	0.98	2	0.83	1	3
5	MPI ECHAM5	0.94	8	1.83	7	15
6	MIUB ECHO_G	0.94	9	3.27	16	25
7	GFDL_CM2	0.94	10	2.78	14	24
8	GFDL1_CM2_1	0.96	6	1.85	8	14
9	INMCM3_0	0.36	16	2.33	9	25
10	IPSL_CM4	0.76	14	1.65	6	20
11	MIROC3_2_MEDRES	0.73	15	2.73	13	28
12	MRI CGCM2_3_2a	0.96	7	2.56	10	17
13	NCAR_CCSM3_0	0.86	12	1.32	3	15
14	NCAR_PCM1	0.90	11	1.46	4	15
15	UKMO_HADCM3	0.96	5	0.85	2	7
16	IPCC	0.98	1	1.60	5	6



Gráfica D-6 – Grafica de correlación (r) y error cuadrático (rmsd) de los modelos para la zona centro tres.

Tabla D-7 – Tabla de validación de modelos para la zona sur uno.

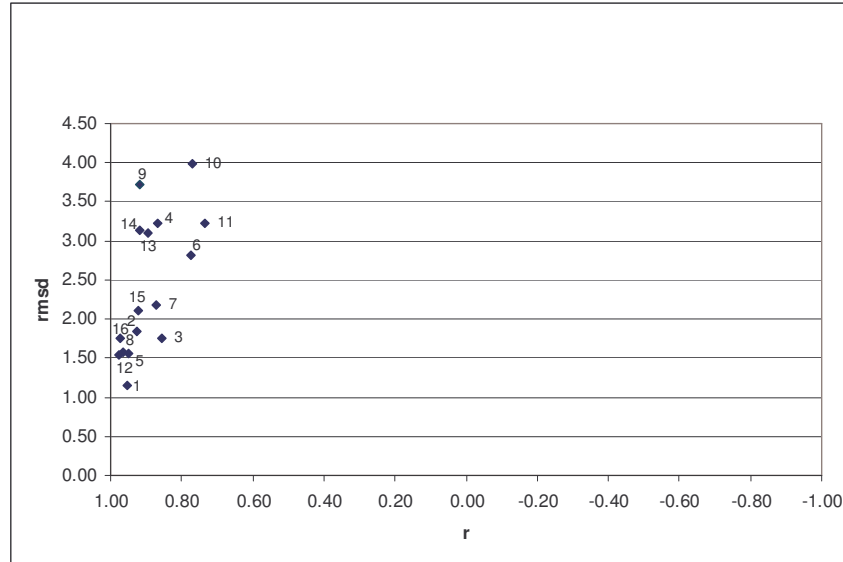
Numero	Modelo	Coeficiente de correlación		Error cuadrático medio		Total
1	BCCR_BCM2_0	0.92	5	2.34	12	17
2	CCCMA CGCM 3_1	0.81	7	1.61	5	12
3	CNRM CM3	0.56	14	2.28	11	25
4	CSIRO MK3_0	0.71	10	1.73	6	16
5	MPI ECHAM5	0.80	8	1.84	7	15
6	MIUB ECHO_G	0.82	6	3.18	16	22
7	GFDL CM2	0.79	9	2.46	13	22
8	GFDL1 CM2_1	0.92	4	1.10	2	6
9	INMCM3_0	0.61	13	2.50	15	28
10	IPSL CM4	0.65	11	2.03	8	19
11	MIROC3_2 MEDRES	0.53	15	2.09	9	24
12	MRI CGCM2_3_2a	0.93	3	0.97	1	4
13	NCAR CCSM3_0	0.23	16	2.48	14	29
14	NCAR PCM1	0.63	12	2.16	10	22
15	UKMO HADCM3	0.94	2	1.27	3	5
16	IPCC	0.95	1	1.32	4	5



Gráfica D-7 – Gráfica de correlación (r) y error cuadrático (rmsd) de los modelos para la zona sur uno.

Tabla D-8 – Tabla de validación de modelos para la zona sur dos.

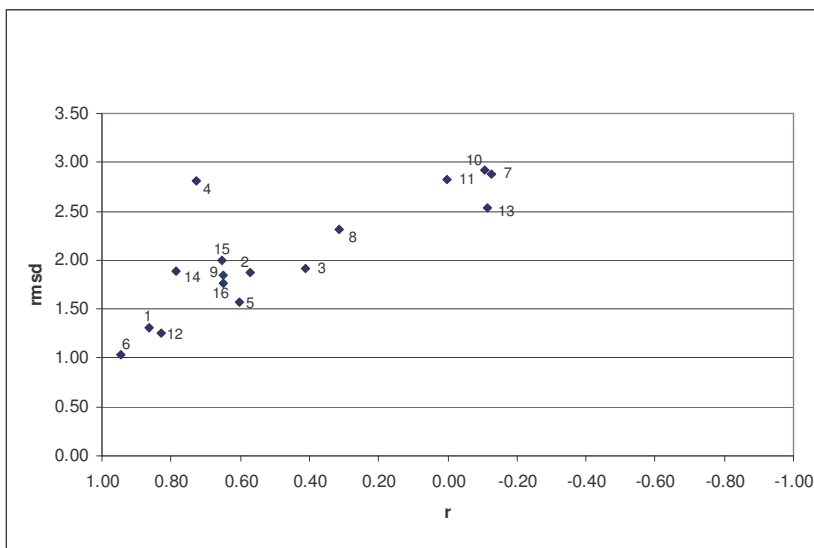
Numero	Modelo	Coeficiente de correlación		Error cuadrático medio		Total
1	BCCR_BCM2_0	0.95	4	1.15	1	5
2	CCCMA CGCM 3_1	0.92	6	1.85	7	13
3	CNRM CM3	0.86	13	1.76	6	19
4	CSIRO MK3_0	0.87	12	3.22	13	25
5	MPI ECHAM5	0.95	5	1.56	3	8
6	MIUB ECHO G	0.77	14	2.81	10	24
7	GFDL CM2	0.87	11	2.19	9	20
8	GFDL1 CM2_1	0.96	3	1.57	4	7
9	INMCM3_0	0.92	9	3.73	15	24
10	IPSL CM4	0.77	15	3.99	16	31
11	MIROC3_2 MEDRES	0.73	16	3.23	14	30
12	MRI CGCM2_3 2a	0.98	1	1.54	2	3
13	NCAR CCSM3_0	0.89	10	3.10	11	21
14	NCAR PCM1	0.92	8	3.14	12	20
15	UKMO HADCM3	0.92	7	2.12	8	15
16	IPCC	0.97	2	1.75	5	7



Gráfica D-8 – Gráfica de correlación (r) y error cuadrático (rmsd) de los modelos para la zona sur dos.

Tabla D-9 – Tabla de validación de modelos para la zona sur tres.

Numero	Modelo	Coeficiente de correlación		Error cuadrático medio		Total
1	BCCR_BCM2_0	0.86	2	1.31	3	5
2	CCCMA CGCM 3 1	0.57	10	1.87	7	17
3	CNRM CM3	0.41	11	1.91	9	20
4	CSIRO MK3_0	0.73	5	2.82	13	18
5	MPI ECHAM5	0.60	9	1.57	4	13
6	MIUB ECHO_G	0.95	1	1.04	1	2
7	GFDL_CM2	-0.13	16	2.88	15	31
8	GFDL1_CM2_1	0.31	12	2.31	11	23
9	INMCM3_0	0.65	7	1.85	6	13
10	IPSL_CM4	-0.11	14	2.92	16	30
11	MIROC3_2_MEDRES	0.00	13	2.82	14	27
12	MRI CGCM2_3_2a	0.83	3	1.25	2	5
13	NCAR CCSM3_0	-0.12	15	2.54	12	27
14	NCAR_PCM1	0.79	4	1.89	8	12
15	UKMO HADCM3	0.65	8	2.00	10	18
16	IPCC	0.65	6	1.76	5	11



Gráfica D-9 – Grafica de correlación (r) y error cuadrático (rmsd) de los modelos para la zona sur tres.

Numero	Modelo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	total
1	BCCR_BCM2_0	1	9	12	14	12	10	8	2	2	70
2	CCCMA CGCM 3_1	9	4	4	1	2	5	5	6	8	44
3	CNRM_CM3	4	15	15	15	16	13	14	8	11	111
4	CSIRO MK3_0	8	3	3	9	3	1	7	14	9	57
5	MPI ECHAM5	2	6	2	3	4	6	6	5	7	41
6	MIUB ECHO_G	12	2	8	7	10	14	10	13	1	77
7	GFDL_CM2	11	11	9	6	8	12	11	10	16	94
8	GFDL1_CM2_1	15	10	10	11	9	4	4	4	12	79
9	INMCM3_0	16	16	16	16	15	15	15	12	6	127
10	IPSL_CM4	14	14	13	12	11	11	9	15	15	114
11	MIROC3_2_MEDRES	6	8	6	8	7	16	13	16	13	93
12	MRI CGCM2_3_2a	13	5	7	5	6	9	1	1	3	50
13	NCAR_CCSM3_0	5	12	11	10	14	7	16	11	14	100
14	NCAR_PCM1	10	13	14	13	13	8	12	9	5	97
15	UKMO_HADCM3	3	1	1	2	1	3	3	7	10	31
16	IPCC	7	7	5	4	5	2	2	3	4	39

15 ANEXO E

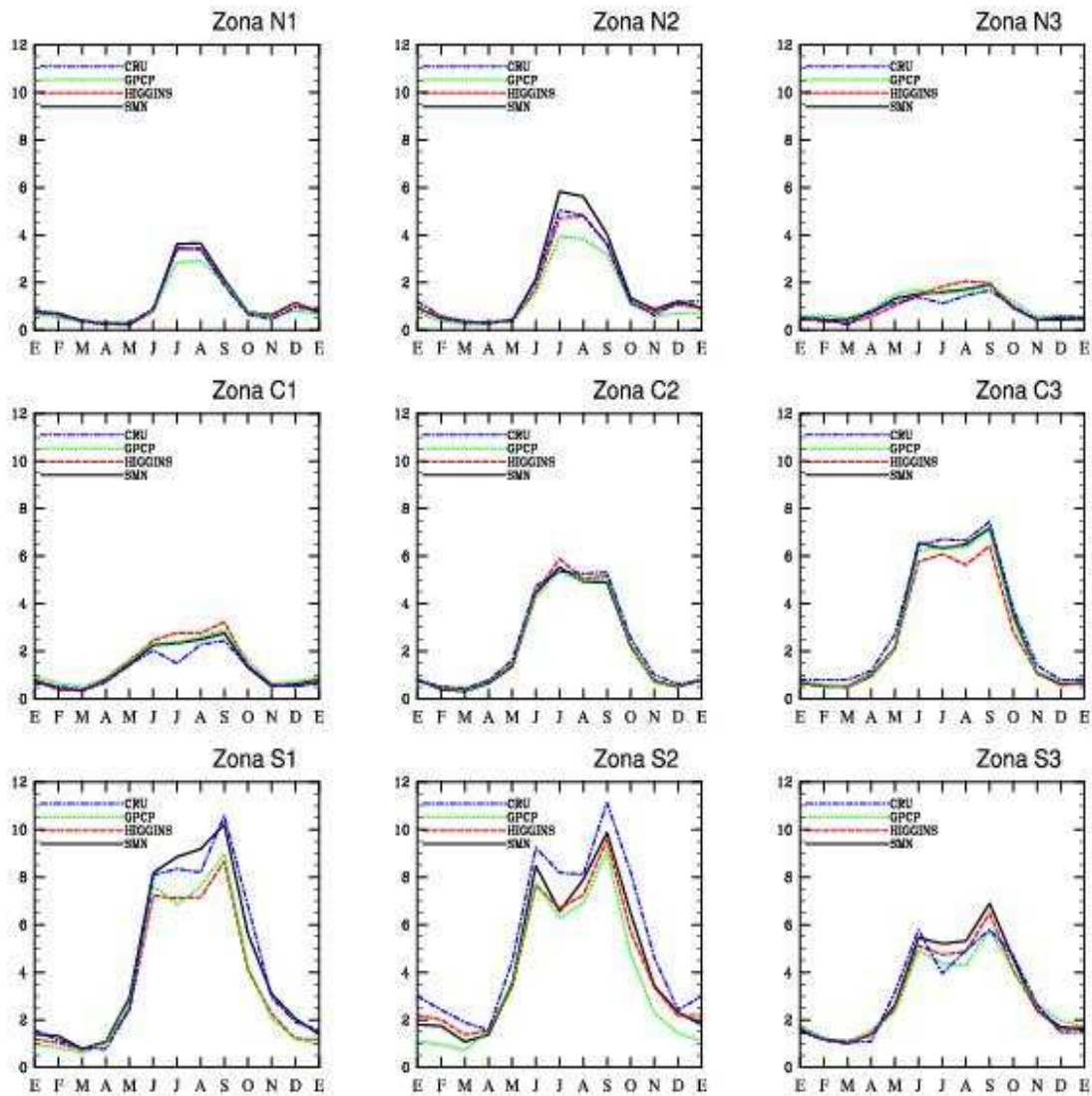


Figura E-1 – Promedio climatológico mensual de la precipitación (mm/día) para las cuatro bases de datos (GPCP, CRU, CPC y SMN) durante el periodo de 1980 a 1999.

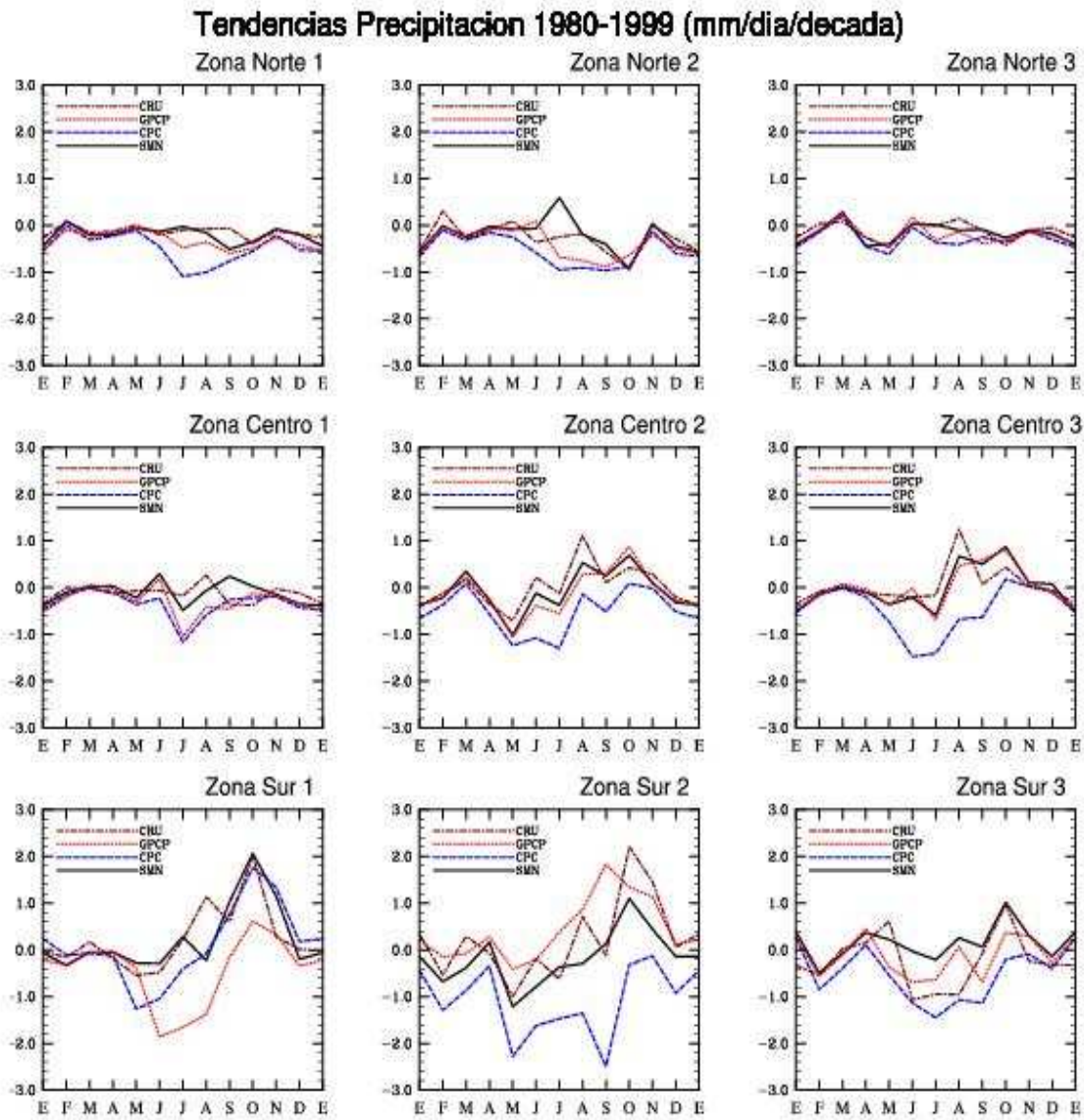
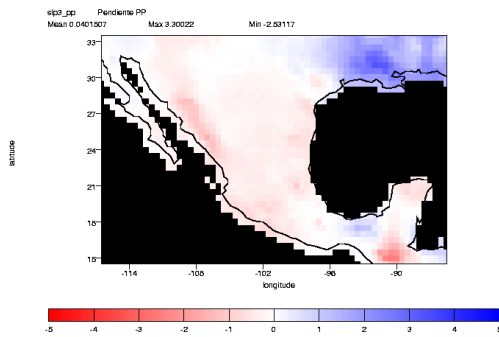


Figura E-2 – Tendencia mensual de la precipitación (mm/día/década) para las cuatro bases de datos (GPCP, CRU, CPC y SMN) durante el periodo de 1980 a 1999.

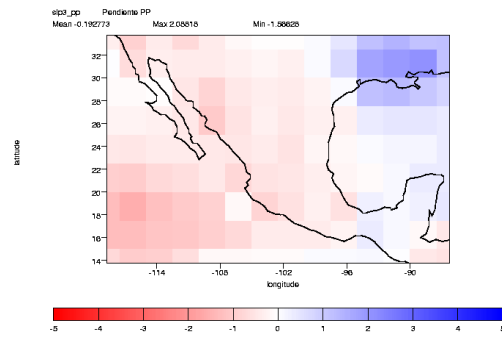
GRAFICAS Y MAPAS DE LAS BASES DE DATOS EN ORIGINAL Y MALLA TRANSFORMADA

ENERO
(Resolución_original_latitud-longitud)

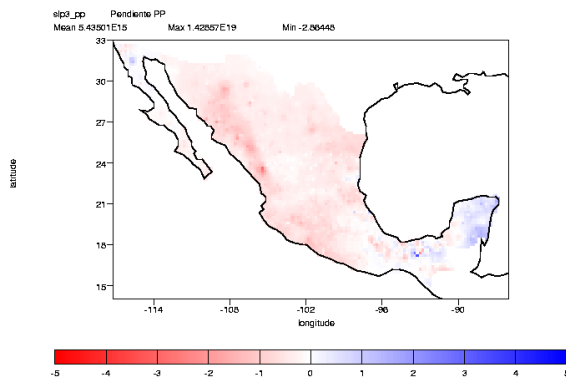
CRU



GPCP



SMN



CPC

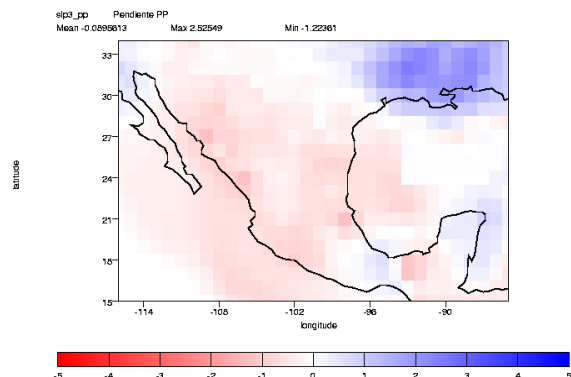
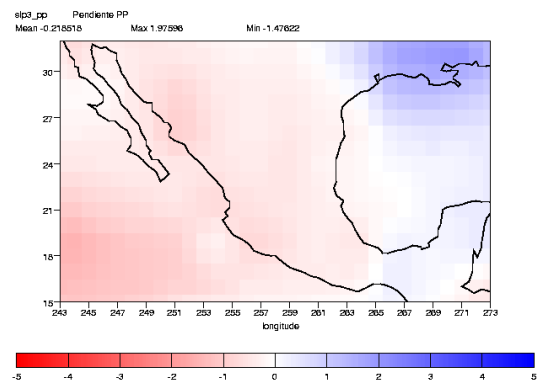
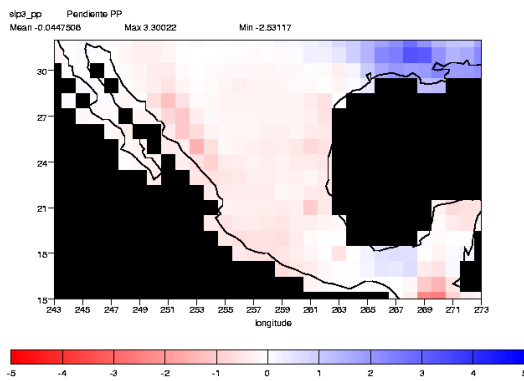


Figura E-3 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para las cuatro bases de datos (GPCP, CRU, CPC y SMN) durante el periodo de 1980 a 1999.

ENERO
(Resolución $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ latitud-longitud)

CRU

GPCP



SMN

CPC

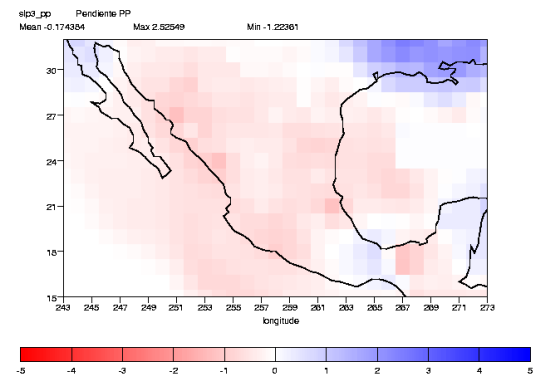
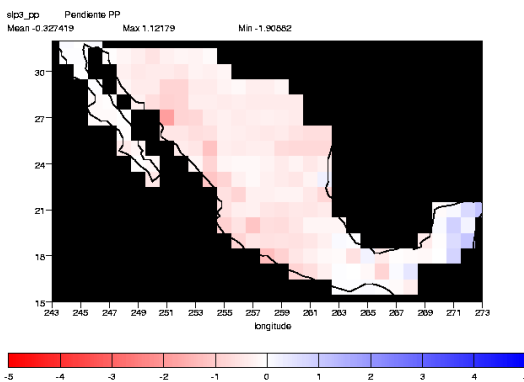


Figura E-4 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para las cuatro bases de datos (GPCP, CRU, CPC y SMN) durante el periodo de 1980 a 1999.

ABRIL
(Resolución_original_latitud-longitud)

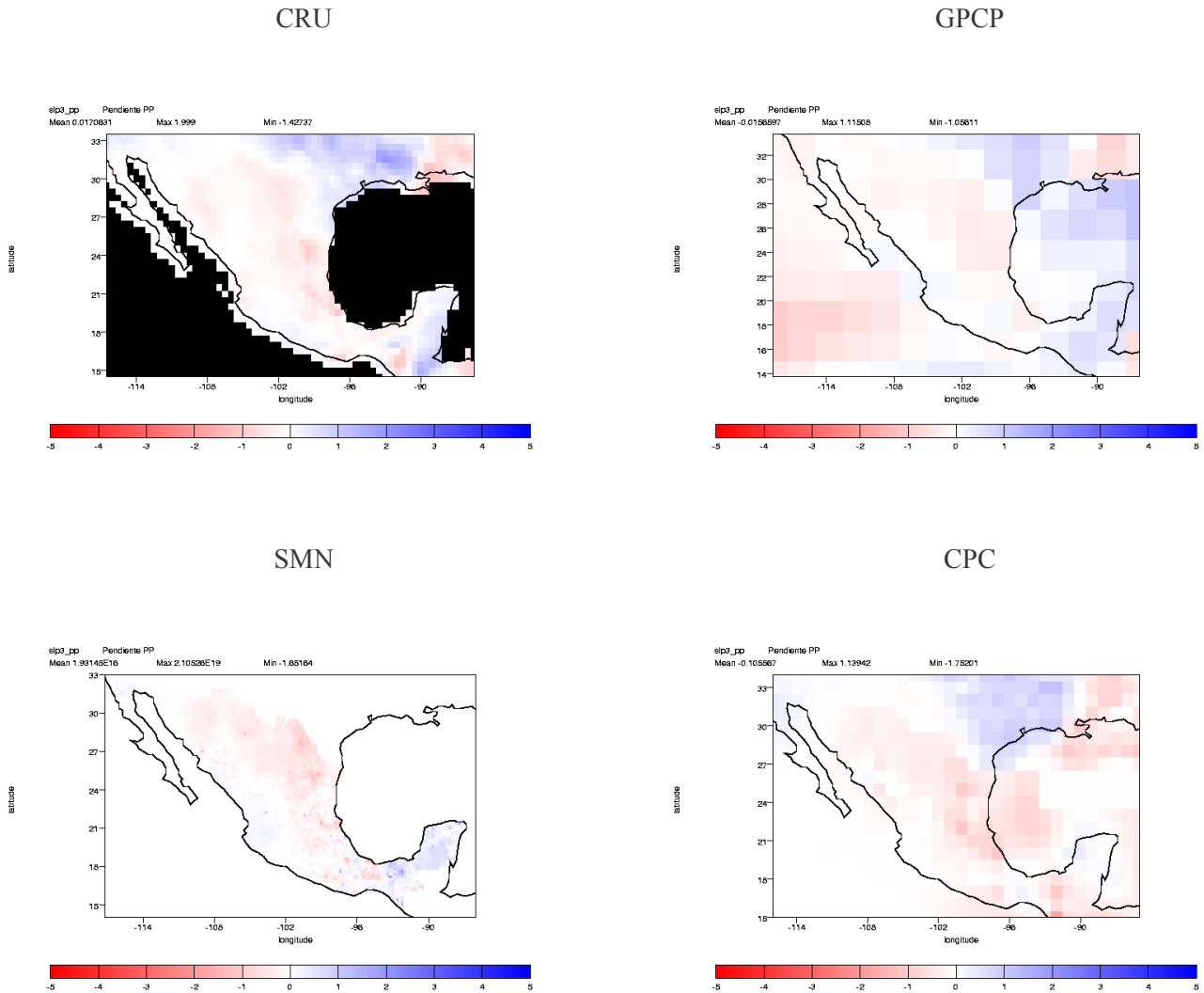
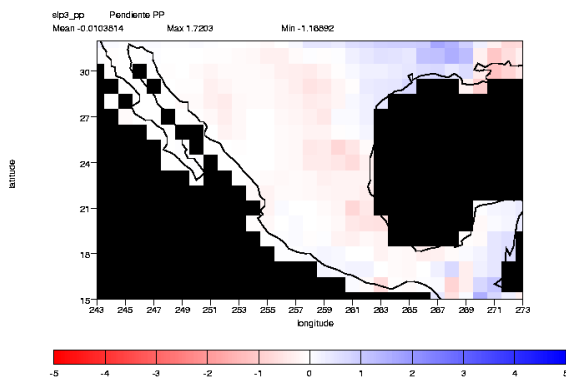


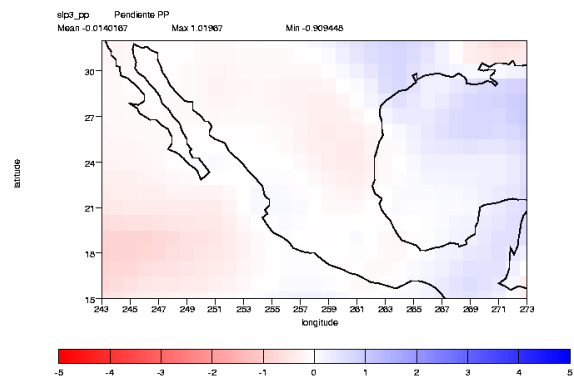
Figura E-5 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para las cuatro bases de datos (GPCP, CRU, CPC y SMN) durante el periodo de 1980 a 1999.

ABRIL
(Resolución $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ latitud-longitud)

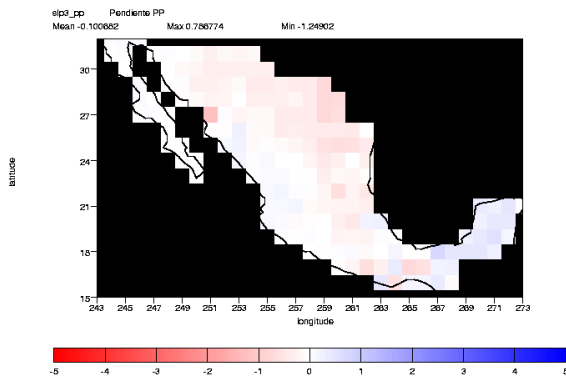
CRU



GPCP



SMN



CPC

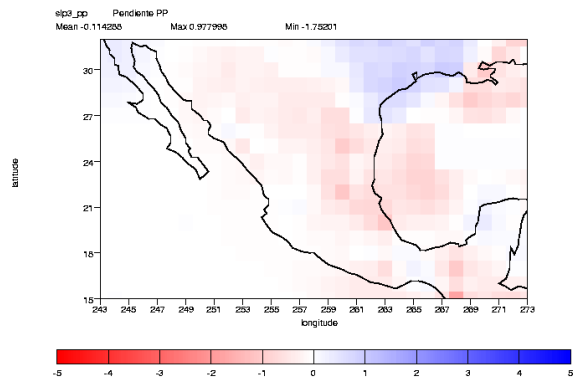


Figura E-6 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para las cuatro bases de datos (GPCP, CRU, CPC y SMN) durante el periodo de 1980 a 1999.

JULIO
(Resolución_original_latitud-longitud)

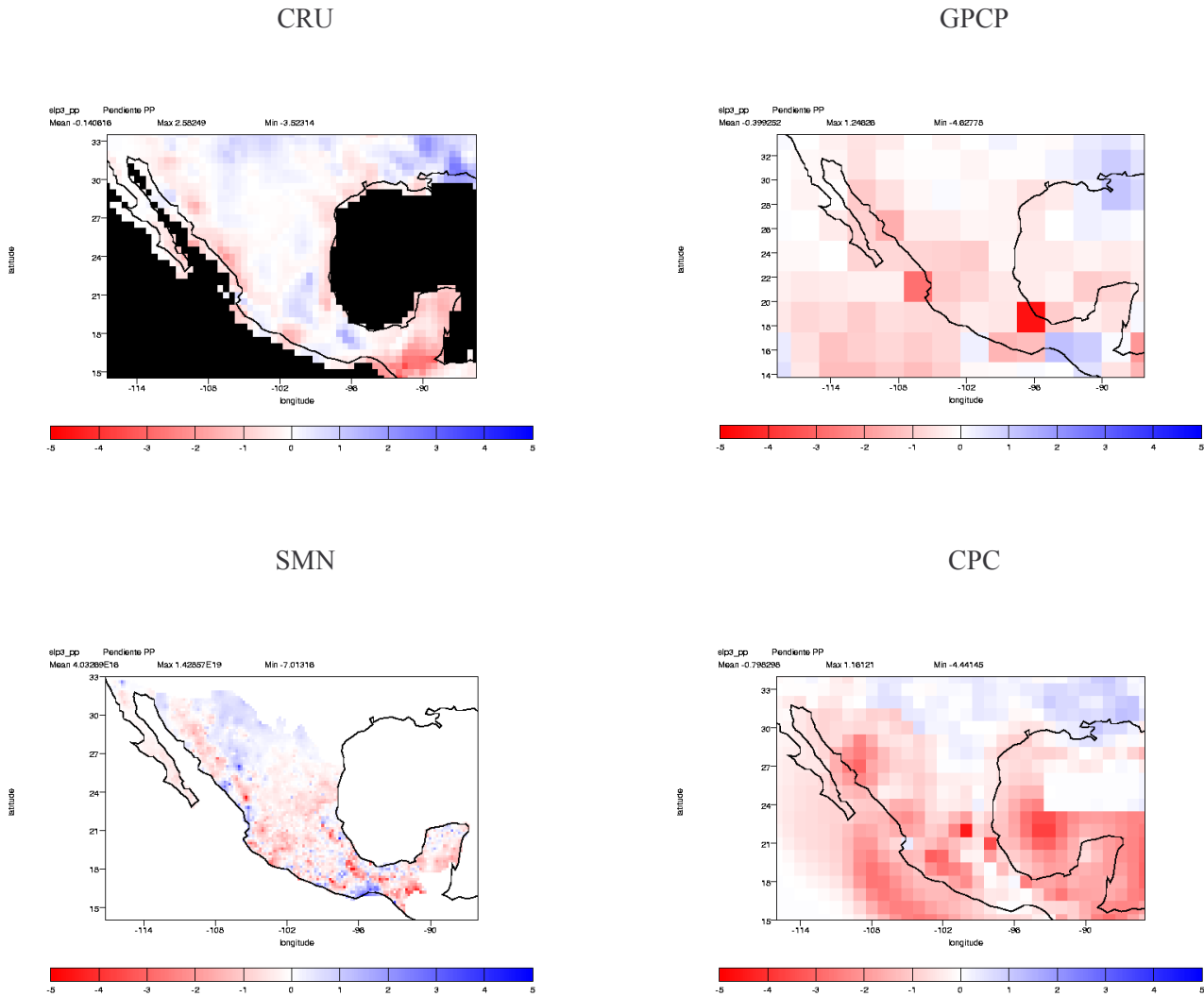
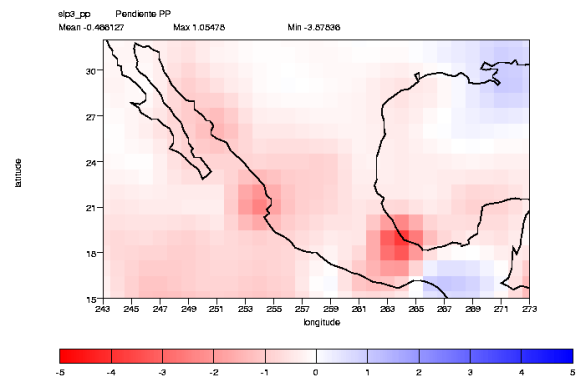
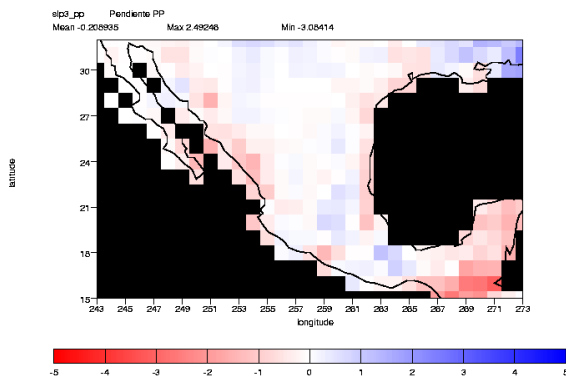


Figura E-7 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para las cuatro bases de datos (GPCP, CRU, CPC y SMN) durante el periodo de 1980 a 1999.

JULIO
(Resolución $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ latitud-longitud)

CRU

GPCP



SMN

CPC

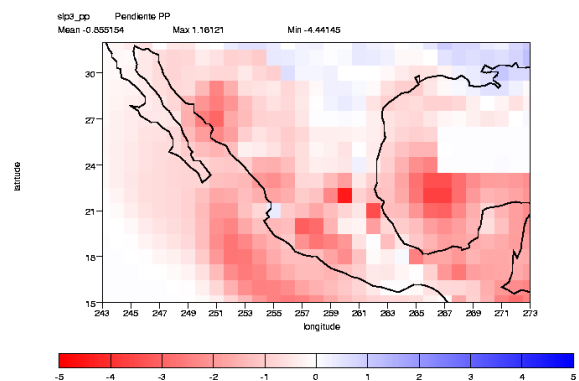
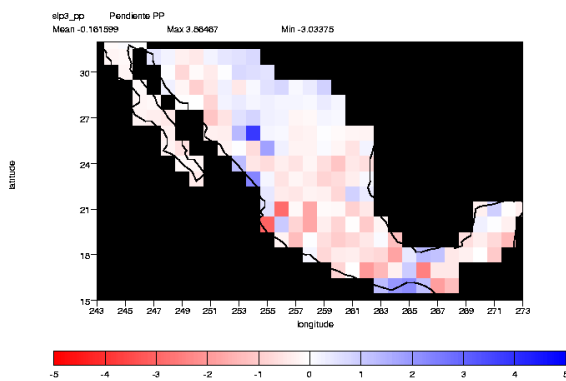


Figura E-8 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para las cuatro bases de datos (GPCP, CRU, CPC y SMN) durante el periodo de 1980 a 1999.

OCTUBRE
(Resolución_original_latitud-longitud)

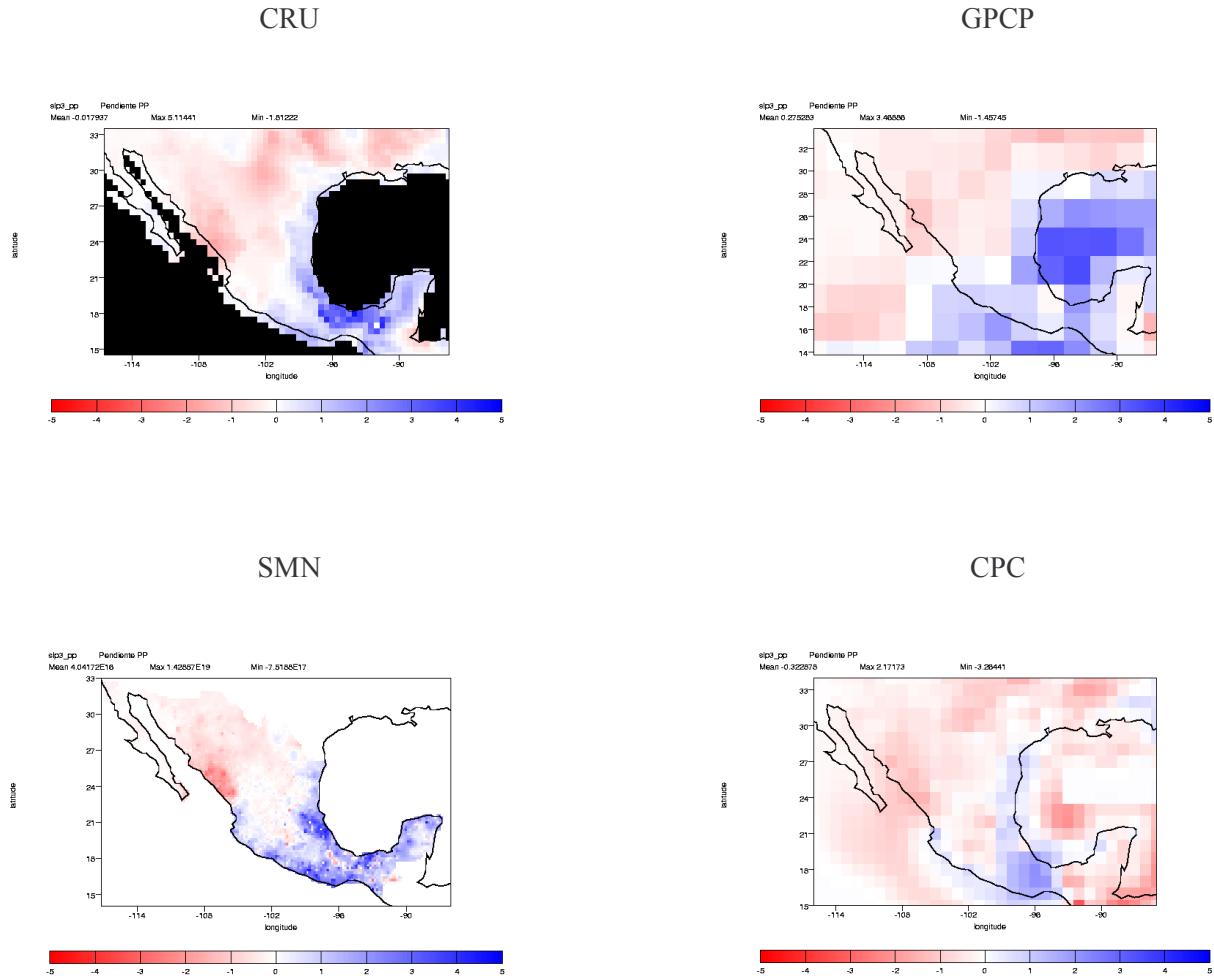
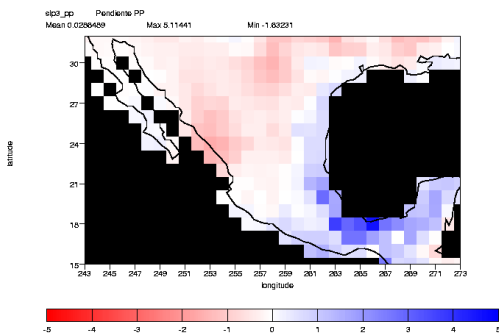


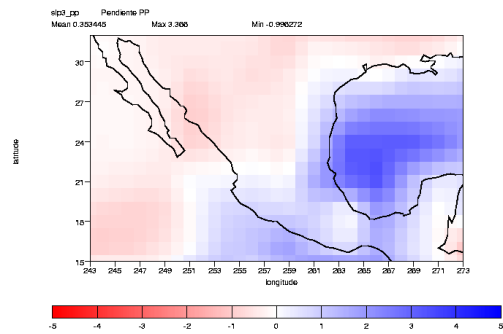
Figura E-9 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para las cuatro bases de datos (GPCP, CRU, CPC y SMN) durante el periodo de 1980 a 1999.

OCTUBRE
(Resolución $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ latitud-longitud)

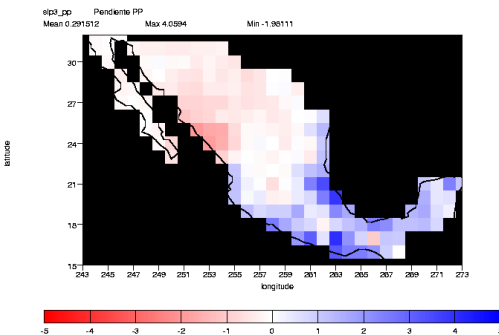
CRU



GPCP



SMN



CPC

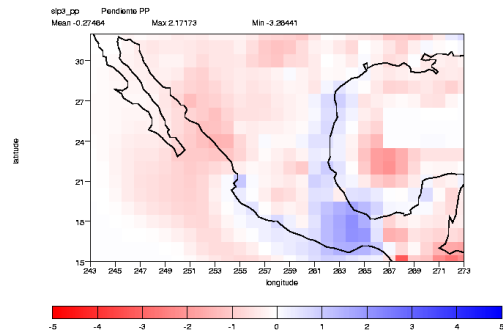


Figura E-10 – Tendencia lineal de la precipitación (mm/día/década) para las cuatro bases de datos (GPCP, CRU, CPC y SMN) durante el periodo de 1980 a 1999.

16 REFERENCIAS

Ammann, C. M., G. A. Meehl, W. M. Washington, and C. S. Zender, 2003: A monthly and latitudinally varying volcanic forcing dataset in simulations of 20th century climate. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1657, doi:10.1029/2003GL016875.

Barth, M. C., P. J. Rasch, J. T. Kiehl, C. M. Benkovitz, and S. E. Schwartz, 2000: Sulfur chemistry in the National Center for Atmospheric Research Community Climate Model: Description, evaluation, features and sensitivity to aqueous chemistry. *J. Geophys. Res.*, 105, 1387–1415.

Bonan, G. B., and S. Levis, L. Kergoat, and K. W. Oleson, 2001: Landscapes as patches of plant functional types: An integrating approach for climate and ecosystem models. *Global Biogeochem. Cycles*, 16, 5.1–5.23.

Boville, B. A., P. J. Rasch, J. J. Hack, and J. R. McCaa, 2006: Representation of clouds and precipitation processes in the Community Atmosphere Model (CAM3). *J. Climate*, 19, 2184–2198.

Boville, B. A., and P. R. Gent, 1998: The NCAR Climate System Model, version one. *J. Climate*, 11, 1115–1130.

Brandt, R. E., S. G. Warren, T. C. Grenfell, and A. P. Worby, 2005: Surface albedo of the Antarctic sea ice zone. *J. Climate*, 18, 3606–3622.

Briegleb, B. P., C. M. Bitz, E. C. Hunke, W. H. Lipscomb, M. M. Holland, J. L. Schramm, and R. E. Moritz, 2004: Scientific description of the sea ice component in the Community Climate System Model, Version Three. Tech. Rep. NCAR/TN-463_STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 78 pp.

Caballero G. J. (2005). Predictibilidad de nortes en aguas mexicanas. Tesis de Maestría en ciencias de la tierra (Física de la atmósfera), Instituto de Geofísica, Centro de Ciencias de la Atmósfera, México, D.F. 89 pg.

Collins, W. D., and Coauthors, 2006a: The formulation and atmospheric simulation of the community Atmosphere Model version 3 (CAM3). *J. Climate*, 19, 2144-2161.

Collins, W. D., J. M. Lee-Taylor, D. P. Edwards, and G. L. Francis, 2006b: Effects of increased near-infrared absorption by water vapor on the climate system. *J. Geophys. Res.*, in press.

Collins, W. D., and Coauthors, 2004: Description of the NCAR Community Atmosphere Model (CAM3). Tech. Rep NCAR/TN-464+STR, National Center of Atmospheric Research, Boulder, CO, 226 pp.

Collins, W. D., J. K. Hackney, and D. P. Edwards, 2002a: A new parameterization for infrared emission and absorption by water vapor in the National Center for Atmospheric Research Community Atmosphere Model. *J. Geophys. Res.*, 107, 8028, doi:10.1029/2000JD000032.

Collins, W. D., P. J. Rasch, B. E. Eaton, D. W. Fillmore, J. T. Kiehl, T. C. Beck, and C. S. Zender, 2002b: Simulation of aerosol distributions and radiative forcing for INDOEX: Regional climate impacts. *J. Geophys. Res.*, 107, 4664, doi:10.1029/2001JD001365.

Collins, W. D., 2001: Parameterization of generalized cloud overlap for radiative calculations in general circulation models. *J. Atmos. Sci.*, 58, 3224–3242.

Connolley, W. M., J. M. Gregory, E. C. Hunke, and A. J. McLaren, 2004: On the consistent scaling of terms in the sea-ice dynamics equation. *J. Phys. Oceanogr.*, 34, 1776–1780.

Craig, A. P., R. L. Jacob, B. Kauffman, T. Bettge, J. Larson, E. Ong, C. Ding, and Y. He, 2005: Cpl6: The new extensible, high-performance parallel coupler for the Community Climate System Model. *Int. J. High Perform. C.*, 19, 309–327.

Danabasoglu, G., W. G. Large, J. J. Tribbia, P. R. Gent, B. P. Briegleb, and J. C. McWilliams, 2006: Diurnal coupling in the tropical oceans of CCSM3. *J. Climate*, 19, 2347–2365.

Dickinson, R. E., K. W. Oleson, G. Bonan, F. Hoffman, P. Thornton, M. Vertenstein, Z.-L. Yang, and X. Zeng, 2006: The community Land Model and its climate statistics as a component of the Community Climate System Model. *J. Climate*, 19, 2302–2324.

Drake, J. B., P. W. Jones, and G. R. Carr, 2005: Overview of the software design of the CCSM. *Int. J. High Perform. C.*, 19, 177–186.

Giorgi, Filippo, 1989: Simulation of regional Climate Using a Limited Area Model Nested in a General Circulation Model, *J. Climate*, 3, 941–963.

Haylock, M. R., T. C. Peterson, L. M. Alves, T. Ambrizzi, Y. M. T. Anunciação, J. Baez, V. R. Barros, M. A. Berlatto, M. Bidegain, G. Coronel, V. Corradi, V. J. Garcia, A. M. Grimm, D. Karoly, J. A. Marengo, M. B. Marino, D. F. Moncunill, D. Nechet, J. Quintana, E. Rebello, M. Rusticucci, J. L. Santos, I. Trebejo, and L. A. Vincent, 2006. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature, *Journal of Climate*, Vol.19, (8), 1490–1512.

IPCC, 2001. "*Climate Change 2001: The Scientific Basis*". Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 881 pp.

IPCC, 2007. "*Technical Summary, Climate Change 2007: The Physical Science Basis*". Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge y Nueva York, 2007. URL: <http://www.ipcc.ch/>

Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, Roy Jenne, and Dennis Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project, Bull. Amer. Meteor. Soc. 3, 437-471.

Kharin, V. V., Francis W. Zwiers, Xuebin Zhang, and Gabriele C. Hegerl, 2007. Changes in Temperature and Precipitation Extremes in the IPCC Ensemble of Global Coupled Model Simulations, *Journal of Climate*, Vol.20, (8), 1419–1444.

Kiehl, J. T., and P. R. Gent, 2004: The Community Climate System Model, version 2. J. Climate, 17, 3666–3682.

Libscomb, W. H., and E. C. Hunke, 2004: Modeling sea-ice transport using incremental remapping. Mon. Wea. Rev., 132, 1341–1354.

Lin, S.-J., 2004: A vertically Lagrangian finite-volume dynamical core for global models. Mon. Wea. Rev., 132, 2293–2307.

Lin, S.-J., and R. B. Rood, 1996: Multidimensional flux-form semi- Lagrangian transport schemes. Mon. Wea. Rev., 124, 2046–2070.

Livezey, R. E., Konstantin Y. Vinnikov, Marina M. Timofeyeva, Richard Tinker, and Huug M. van den Dool, 2007. Estimation and Extrapolation of Climate Normals and Climatic Trends, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol.46, (11), 1759–1776.

Lobato, R., 2001; Implementación del modelo de mesoescala MM5 en el servidor SGI-CRAY del SMN, IMTA informe final.

Magaña, Víctor O. y José Luis Pérez, 1998: Modelación de Mesoescala en el Estudio de la dinámica Atmosférica Regional de México, GEOUNAM. V. 5, No.1,33-39.

Meehl, G. A., Francis Zwiers, Jenni Evans, Thomas Knutson, Linda Mearns, and Peter Whetton, 2000. Trends in Extreme Weather and Climate Events: Issues Related to Modeling Extremes in Projections of Future Climate Change, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol.81, (3), 427–436.

Montero, Martín J. y José Luis Pérez, 2006: IMTA, reporte técnico.

Ohlmann, J. C., 2003: Ocean radiant heating in climate models. *J. Climate*, 16, 1337–1351.

Oleson, K. W., and Coauthors, 2004: Technical description of the Community Land Model (CLM). Tech. Rep. NCAR/TN-461_STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 174 pp.

Oleson, K. W., G. B. Bonan, C. Schaaf, F. Gao, Y. Jin, and A. Strahler, 2003: Assessment of global climate model land surface albedo using MODIS data. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1443, doi:10.1029/2002GL016749.

Peixoto, J.P. y A.H. Oort, 1991. *Physics of Climate*. American Institute of Physics, New York, 520 pp.

Pérez, J. Luis, 2001: Variabilidad Climática Regional del altiplano Central de México, tesis de maestría, UNAM.

Pérez, J. Luis, 2004: Servicios Ambientales del lago de Chapala, IMTA reporte técnico.

Perovich, D. K., T. C. Grenfell, B. Light, and P. V. Hobbs, 2002: Seasonal evolution of the albedo of multiyear Arctic sea ice. *J. Geophys. Res.*, 107, 8044, doi:10.1029/2000JC000438.

Rasch, P. J., W. D. Collins, and B. E. Eaton, 2001: Understanding the Indian Ocean Experiment (INDOEX) aerosol distributions with an aerosol assimilation. *J. Geophys. Res.*, 106, 7337–7356.
Schmidt, G. A., C. M. Bitz, U. Mikolajewicz, and L. B. Tremblay, 2004: Ice-ocean boundary conditions for coupled models. *Ocean Modell.*, 7, 59–74.

Rasch, P. J., M. C. Barth, J. T. Kiehl, S. E. Schwartz, and C. M. Benkovitz, 2000: A description of the global sulfur cycle and its controlling processes in the National Center for Atmospheric Research Community Climate Model, Version 3. *J. Geophys. Res.*, 105, 1367–1385.

Rodríguez, O., y R. Lobato; 2001: Balance de Humedad y Reciclamiento de Lluvia para el Monzón Mexicano, memorias del XXX congreso Nacional de Meteorología.

Salinas, J. Antonio, 2001: Estudio de efectos climáticos por uso de suelo y cobertura vegetal en el Noroeste de México, IMTA, reporte técnico.

Smith, R. D., and P. R. Gent, 2002: Reference manual for the Parallel Ocean Program (POP), ocean component of the Community Climate System Model (CCSM2.0 and 3.0). Tech. Rep. LA-UR-02-2484, Los Alamos National Laboratory. [Available online at <http://www.ccsm.ucar.edu/models/ccsm3.0/pop>.]

Smith, R. D., S. Kortas, and B. Meltz, 1995: Curvilinear coordinates for global ocean models. Tech. Rep. LA-UR-95-1146, Los Alamos National Laboratory, 50 pp.

Wehner, M., 2005. Changes in daily precipitation and surface air temperature extremes in the IPCC AR4 models. *US CLIVAR Variations*, 3, 5-9.

Weisheimer, A. y T.N. Palmer, 2005. Changing frequency of occurrence of extreme seasonal temperatures under global warming. *Geophys. Res. Lett.*, 32, doi:10.1029/2005GL023365.

Williamson, D. L., 2002: Time-split versus process-split coupling of parameterizations and dynamical core. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 2024–2041.

Yeager, S. G., C. A. Shields, W. G. Large, and J. J. Hack, 2006: The low-resolution CCSM3. *J. Climate*, 19, 2545–2566.

Zhai P., Xuebin Zhang, Hui Wan, and Xiaohua Pan, 2005. Trends in Total Precipitation and Frequency of Daily Precipitation Extremes over China, *Journal of Climate*, Vol.18, (7), 1096–1108.

<http://www.mmm.ucar.edu/mm5/overview.html>

<http://www.cudi.edu.mx/>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Internet2>

<http://www.monografias.com/trabajos13/idos/idos.shtml>