

***EVALUACIÓN DE LOS MODELOS GLOBALES DEL CLIMA UTILIZADOS PARA LA
GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO CON EL CLIMA PRESENTE
EN COLOMBIA***

Andrea Rodríguez Roa
Lic. En Física, candidata a MSc. en Meteorología

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO CONCEPTUAL	3
1.1 EL IPCC Y CAMBIOS OBSERVADOS EN EL CLIMA.....	3
1.2 MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES.....	5
1.2.1 Ejecución de los Modelos Climáticos.....	6
1.3 EVALUACIÓN DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS	7
1.3.1 Evaluación de los modelos empleados en el AR4-IPCC.....	9
1.4 DATOS DE REFERENCIA.....	10
1.4.1 Proyecto CMAP	10
1.4.2 Reanálisis ERA-40	10
2. ASPECTOS METODOLÓGICOS	11
2.1 DATOS.....	11
2.2 ÁREA DE ESTUDIO	12
2.3 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	12
2.3.1 Correlación	13
2.3.2 Sesgo (BIAS).....	13
2.3.3 Error cuadrático medio (RMSE)	14
2.3.4 Error cuadrático medio corregido (RMSE-corr)	14
2.3.5 Clasificación de los Modelos	14
2.4 DIAGRAMA DE TAYLOR.....	14
2.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.....	16
2.5.1 Distribución del Sesgo.....	16
2.6 PROMEDIOS DE LOS ESTADÍSTICOS	16
2.7 REPRESENTACIÓN DEL CICLO ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN	16
2.8 EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE REFERENCIA CON DATOS DE ESTACIONES EN COLOMBIA	17

3.	RESULTADOS	18
3.1	EVALUACIÓN DE VIENTO Y PRESIÓN.....	18
3.1.1	Evaluación Regional Anual	18
-	Diagramas de Taylor Regional Anual	19
3.1.2	Evaluación Regional Estacional	22
3.1.3	Distribución Espacial Anual.....	25
-	Velocidad en Superficie.....	25
-	Velocidad a 850hPa	28
-	Velocidad a 200hPa	30
-	Presión al nivel del mar	33
3.1.4	Distribución Espacial Estacional	34
-	Velocidad en Superficie.....	34
-	Velocidad a 850 hPa	36
-	Velocidad a 200hPa	38
3.2	EVALUACIÓN DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN.....	39
3.2.1	Evaluación Regional Anual	39
-	Diagramas de Taylor Regional Anual	41
3.2.2	Evaluación Regional Estacional	43
3.2.3	Distribución Espacial Regional.....	44
3.2.4	Evaluación Nacional Anual.....	47
-	Diagramas de Taylor Nacional.....	48
3.2.5	Evaluación Nacional Estacional	49
3.2.6	Evaluación Nacional Mensual	51
3.2.7	Distribución Espacial Nacional	51
3.3	PROMEDIO DE ESTADÍSTICO	55
3.3.1	Promedio Regional Anual.....	55
3.3.2	Promedio Regional Estacional	57

3.3.3	Promedio Nacional Anual.....	58
3.3.4	Promedio Nacional Estacional	59
3.4	REPRESENTACIÓN DEL CICLO ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN	60
3.5	EVALUACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA DE LOS REANÁLISIS CON DATOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	66
-	Diagrama de Taylor.....	68
-	Distribución Espacial del sesgo	69
CONCLUSIONES.....		73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Patrón geográfico del calentamiento en superficie para todo el globo. Fuente: (IPCC, 2007).....	4
Figura 2. Representación conceptual de un modelo de circulación general atmósfera-océano. Fuente: (CRU, 2010)	6
Figura 3. Periodos de intervención de cada simulación para la ejecución de los Modelos Climáticos. Fuente: (Castro, 2007)	7
Figura 4. Áreas de estudio seleccionadas, regional (32°N a 35°S y 27°W a 107°W) y nacional (15°N a 5°S y 67°W a 82.5°W).....	12
Figura 5. Ejemplo de un diagrama de Taylor que muestra la comparación de las simulaciones de la precipitación anual de ocho modelos climáticos con respecto a las observaciones. Fuente: (Taylor K. , 2001).....	15
Figura 6. Diagramas de Taylor anual de presión y magnitud del viento en superficie, 200hPa y 850 hPa.....	20
Figura 7. Diagramas de Taylor anual de las componentes zonal y meridional del viento en superficie, a 200 hPa y a 850 hPa	22
Figura 8. Distribución de la intensidad y dirección del viento en superficie promediada a nivel anual para el dominio regional.....	26
Figura 9. Error medio o sesgo del viento en superficie para el dominio regional.....	27
Figura 10. Distribución de la intensidad y dirección del viento a 850hPa promediada a nivel anual para el dominio regional.	29
Figura 11. Error medio o sesgo del viento a 850hPa para el dominio regional.....	30
Figura 12. Distribución de la intensidad y dirección del viento en 200hPa	32
Figura 13. Error medio del viento en 200hPa anual en el periodo de referencia de los modelos seleccionados a nivel nacional anual	33
Figura 14. Error medio de la presión anual en el periodo de referencia de los modelos seleccionados a nivel regional anual.	34
Figura 15. Vector e intensidad de viento en superficie en las cuatro estaciones señaladas para el dominio regional.	36
Figura 16. Vector e intensidad de viento a 850 hPa en las cuatro estaciones señaladas para el dominio regional.	37
Figura 17. Vector e intensidad de viento a 200 hPa en las cuatro estaciones señaladas para el dominio regional	39

Figura 18. Diagramas de Taylor anual de precipitación y temperatura para el dominio regional.....	42
Figura 19. Error medio de la precipitación anual en el periodo de referencia de los modelos seleccionados a nivel regional anual.....	46
Figura 20. Error medio de la temperatura anual en el periodo de referencia de los modelos seleccionados a nivel regional anual.	47
Figura 21. Diagramas de Taylor anual de precipitación y temperatura para el dominio nacional	49
Figura 22. Error medio de la precipitación anual en el periodo de referencia de los modelos seleccionados a nivel nacional anual.....	53
Figura 23. Error medio de la temperatura anual en el periodo de referencia de los modelos seleccionados a nivel nacional anual.....	55
Figura 24. Promedio de los estadísticos de correlación, RMSE, BIAS y RMSE-corr de los campos de presión, temperatura y precipitación, en el caso regional-anual.	57
Figura 25. Promedio del RMSE de los campos de presión, temperatura y precipitación, en el caso regional-estacional.....	58
Figura 26. Promedio de los estadísticos de correlación, RMSE, BIAS y RMSE-corr de los campos de presión, temperatura y precipitación, en el caso nacional-anual.....	59
Figura 27. Promedio del RMSE de los campos de presión, temperatura y precipitación, en el caso nacional-estacional	60
Figura 28. Ciclo anual de precipitación promediada sobre todos los puntos de rejilla en el área Nacional. El ciclo marcado en color negro corresponde a los valores de referencia CMAP y las restantes la de los 20 modelos a evaluar.	61
Figura 29. Ciclo anual de precipitación promediada sobre todos los puntos de rejilla en el área Nacional. El ciclo marcado en color negro corresponde a los valores de referencia CMAP y las restantes a los modelos CCSM-30, ECHO-G, MPIECH-5, UKHADCM3 y MRI-232A sobresalientes en las evaluaciones previas.	61
Figura 30. Ciclo anual de precipitación promediada sobre cada punto de rejilla de las regiones naturales de Colombia. El ciclo marcado en color negro corresponde a los valores de referencia CMAP y las restantes la de los 20 modelos a evaluar.	64
Figura 31. Ciclo anual de precipitación promediada sobre todos los puntos de rejilla de las regiones naturales de Colombia. El ciclo marcado en color negro corresponde a los valores de referencia CMAP y las restantes a los modelos CCSM-30, ECHO-G, MPIECH-5, UKHADCM3 y MRI-232A sobresalientes en las evaluaciones previas.....	66
Figura 32. Diagramas de Taylor anual de precipitación y temperatura para el dominio nacional con respecto a los datos observados en estaciones llevados a una rejilla común.	69

Figura 33. Error medio de la precipitación anual y mensual en el periodo de referencia entre los datos observados y el proyecto CMAP..... 72

Figura 34. Error medio de la temperatura anual en el periodo de referencia entre los datos observados y el proyecto CMAP..... 72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Proyecciones de cambios de la temperatura y aumento del nivel del mar en el siglo XXI con los diferentes escenarios y sus respectivas incertidumbres. Fuente: (IPCC, 2007).....	4
Tabla 2. Modelos implementados en el AR4 del IPCC.....	9
Tabla 3. Variables disponibles en los modelos aplicados por el IPCC.....	9
Tabla 4. Modelos MCGAAO implementados en esta investigación	11
Tabla 5. Clasificación de los 20 modelos a nivel regional anual a partir de los campos de viento y presión.	19
Tabla 6. Clasificación de los 20 modelos a nivel regional para el DJF	23
Tabla 7. Clasificación de los 20 modelos a nivel regional para MAM	23
Tabla 8. Clasificación de los 20 modelos a nivel regional para JJA.....	24
Tabla 9. Clasificación de los 20 modelos a nivel regional para SON.....	24
Tabla 10. Clasificación de los MCG a nivel regional anual a partir de los campos precipitación y temperatura.....	41
Tabla 11. Clasificación de los MCG a nivel regional para los trimestres DJF y MAM a partir de los campos precipitación y temperatura.....	43
Tabla 12. Clasificación de los MCG a nivel regional para los trimestres JJA y SON a partir de los campos precipitación y temperatura	44
Tabla 13. Clasificación de los MCG a nivel nacional anual a partir de los campos precipitación y temperatura.....	48
Tabla 14. Clasificación de los MCG a nivel nacional para las estaciones DJF y MAM a partir de los campos precipitación y temperatura	50
Tabla 15. Clasificación de los MCG a nivel nacional para los trimestres JJA y SON a partir de los campos precipitación y temperatura	50
Tabla 16. Clasificación de los 20 modelos y el proyecto CMAP de la precipitación a nivel nacional anual con respecto a datos observados en estaciones llevados a una rejilla común.....	67
Tabla 17. Clasificación de los 20 modelos y el proyecto CMAP de la precipitación mensual para el primer semestre del año en el dominio nacional anual con respecto a datos observados en estaciones llevados a una rejilla común.....	68

Tabla 18. Clasificación de los 20 modelos y el proyecto CMAP de la precipitación mensual para el segundo semestre del año en el dominio nacional anual con respecto a datos observados en estaciones llevados a una rejilla común..... 68

EVALUACIÓN DE LOS MODELOS GLOBALES DEL CLIMA UTILIZADOS PARA LA GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO CON EL CLIMA PRESENTE EN COLOMBIA

RESUMEN

Se han evaluado las salidas de viento en superficie, 850 hPa, 200 hPa, presión media del nivel del mar, precipitación y temperatura, medias anuales, trimestrales y mensuales de 20 modelos del AR4-IPCC frente a los datos de los proyectos CMAP y reanálisis ERA40 a una resolución de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, con el objetivo de analizar la capacidad de los Modelos Climáticos Globales para representar el clima actual de Colombia y elegir un grupo de modelos con el mejor comportamiento, que serán útiles en la reducción de escala, y permitirán una representación más precisa de los posibles escenarios futuros sobre el territorio Nacional. Esta selección se realizó clasificando los modelos mediante la utilización de algunos procedimientos usados por la comunidad científica tales como las métricas o estadísticos, el diagrama de Taylor, la distribución espacial y la representación del ciclo anual. La evaluación de las simulaciones de los modelos también se desarrolló para datos observados directamente de estaciones meteorológicas de precipitación y temperatura llevadas a un punto de rejilla común. En el trabajo se desatacan los resultados del modelo ECHAM5 del Max Planck Institute for Meteorology (Alemania), en la simulación del clima presente en Colombia por lo cual se recomienda su implementación.

INTRODUCCIÓN

Como es sabido, el cambio climático del planeta en los últimos años se ha convertido en uno de los mayores problemas del mundo, una evidencia de ello son los resultados de los estudios realizados por el Panel intergubernamental de Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC), dados a conocer en sus informes de evaluación, en donde se anuncia la peligrosa influencia de las actividades humanas sobre el clima actual y las probables dificultades futuras.

En el último o cuarto informe de evaluación del IPCC (AR4) del 2007, se recogió el estado del conocimiento científico en cuanto a los cambios observados en el clima, sus efectos, las causas y los posibles escenarios climáticos, éstos declaran los aumentos observados de la temperatura media global del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos polares, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar.

Por esta razón, en el esfuerzo de predecir las tendencias futuras, la comunidad científica ha implementado modelos globales de circulación general (MCGs) que representan los procesos físicos de la atmosfera, el océano, la criosfera y la superficie de la tierra, simulando numéricamente la dinámica del sistema climático. Los MCGs corresponden a las herramientas más avanzadas actualmente, disponibles para simular la respuesta del sistema climático global y el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2009). Sin embargo, los modelos numéricos no son siempre exactos, pues los diferentes documentos publicados indican que no todos los modelos utilizados en el IPCC describen el clima actual con una precisión similar, en consecuencia, es importante señalar que los mejores modelos para una determinada región no son siempre buenos para otra y que la habilidad de los modelos es diferente dependiendo de la variable meteorológica que se desea examinar. Por tanto, antes de implementar un MCG para establecer escenarios del clima futuro, es necesario realizar una evaluación previa de la habilidad del modelo en la representación del clima actual.

En este sentido, el IDEAM pretende, en este estudio, analizar la capacidad de los Modelos Climáticos Globales para representar el clima actual de Colombia teniendo en cuenta los campos de viento para diferentes niveles, la presión media del nivel del mar, como indicadores de la circulación atmosférica y la precipitación y temperatura media global como resultado de estos patrones de circulación. Los modelos a evaluar en este trabajo son los implementados en el AR4 del IPCC, de los cuales se pretende elegir un grupo de modelos con el mejor comportamiento del clima presente para el País, que serán útiles en la reducción de escala, y permitirán una representación más precisa de los posibles escenarios futuros sobre el territorio Nacional.

En total se evaluarán 20 modelos de los 22 utilizados por el IPCC, estos serán el BCCR-BCM2.0 del Bjerknes Centre for Climate Research (Noruega), el CGCM3.1(T47) del Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (Canadá), el CSIRO-MK3.0 del centro CSIRO Atmospheric Research (Australia), el CNRM-CM3 del Météo-France, Centre National de Recherches Météorologiques (Francia), el ECHO-G del Meteorological Institute of the University of Bonn, Meteorological Research Institute of KMA, and Model and Data group (Alemania y Korea), el GFDL-CM2.0 y GFDL-CM2.1 del US Dept. of Commerce, NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA), el GISS-EH y GISS-ER del NASA/Goddard Institute for Space Studies (USA), el FGOALS-g1.0 V del LASG/Institute of Atmospheric Physics (China), el INM-CM3.0 del Institute for Numerical Mathematics

(Russia), el IPSL-CM4 del Institut Pierre Simon Laplace (France), el MIROC3.2 (medres) y MIROC3.2(HIRES) del Center for Climate System Research (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC) (Japón), el MRI-CGCM2.3.2 del Meteorological Reserach Institute (Japón), el ECHAM5/MPI-OM del Max Planck Institute for Meteorology (Alemania), el CCSM3 Y PCM del National Center for Atmospheric Research (USA), y el UKMO-HadCM3 y UKMO-HadGEM1 del Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Met Office (Reino Unido).

Para tal objetivo, se implementarán diferentes técnicas utilizadas por la comunidad científica en la evaluación y ponderación de los diferentes resultados de las simulaciones de los modelos con la realidad meteorológica, entre los que se encuentran las métricas o estadísticos como la correlación, el error cuadrático medio, el sesgo y el error cuadrático medio corregido, junto con sus promedios; el diagrama de Taylor; la distribución espacial del sesgo y la representación del ciclo anual de la precipitación.

De esta manera, el desarrollo de los métodos anunciados permitirá la evaluación de los modelos globales del clima utilizados para la generación de escenarios de cambio climático con el clima presente en Colombia.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1 EL IPCC Y CAMBIOS OBSERVADOS EN EL CLIMA

El IPCC o Intergovernmental Panel of Climate Change o Panel Intergubernamental de Cambio Climático es un grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático establecido conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 1988 (UNFCCC, 1998).

El Grupo de Trabajo I del AR4 del IPCC, indica que los progresos científicos obtenidos en el conocimiento de los controladores humanos y naturales del cambio climático, el cambio climático observado, los procesos y las atribuciones climáticas, y las estimaciones del cambio climático futuro, desde el Tercer Informe de Evaluación (TIE), están sustentados por una cantidad considerable de datos nuevos e integrales, análisis más perfeccionados de los datos, adelantos en el conocimiento de los procesos y de su **simulación en modelos** (IPCC, 2007)

En el mismo informe del IPCC se muestra que al estimar los combustibles fósiles estos siguen siendo la principal fuente de energía hasta el año 2030, las proyecciones futuras de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) tendrán un aumento entre el 25% y 90% (CO₂ - equivalente).

De continuar las emisiones de GEI a una tasa igual o mayor al presente, el calentamiento aumentaría y muy probablemente durante el siglo XXI el sistema climático experimentaría numerosos cambios, mayores a los observados en el siglo XX.

Las proyecciones muestran, para toda una serie de escenarios de emisiones IE-EE, que en las próximas décadas se presentará un aumento de la temperatura de aproximadamente 0.2 °C. Inclusive en el caso ideal en el que se logrará mantener la concentración de los GEI y aerosoles en los niveles del año 2000, se esperaría un futuro calentamiento cercano a 0.1 °C por década.

Más aun, las proyecciones del calentamiento y sus consecuencias, como el aumento del nivel de mar para el siglo XXI, dependen de los escenarios de emisiones. Teniendo en cuenta cada uno de los escenarios, los futuros cambios de la temperatura y aumento del nivel del mar para el periodo 2090-2099, serán los presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Proyecciones de cambios de la temperatura y aumento del nivel del mar en el siglo XXI con los diferentes escenarios y sus respectivas incertidumbres. Fuente: (IPCC, 2007)

Caso	Cambio de Temperatura (°C en 2090-2099 respecto a 1980-1999) ^a		Aumento del Nivel del Mar (m en 2090-2099 respecto a 1980-1999)
	Mejor estimación	Rango de probabilidad	Rango basado en modelos excluyendo futuros cambios dinámicos rápidos en la circulación del hielo
Concentraciones constantes del año 2000 ^b	0.6	0.3 – 0.9	NA
Escenario B1	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
Escenario A1T	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
Escenario B2	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
Escenario A1B	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
Escenario A2	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
Escenario A1FI	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

De acuerdo a los escenarios estimados, las posibles consecuencias de los cambios de la temperatura y del nivel del mar, serían:

- a) Un aumento máximo de temperatura sobre los continentes y en gran parte de las latitudes septentrionales altas, además de un aumento mínimo sobre el océano austral y partes del Atlántico Norte.

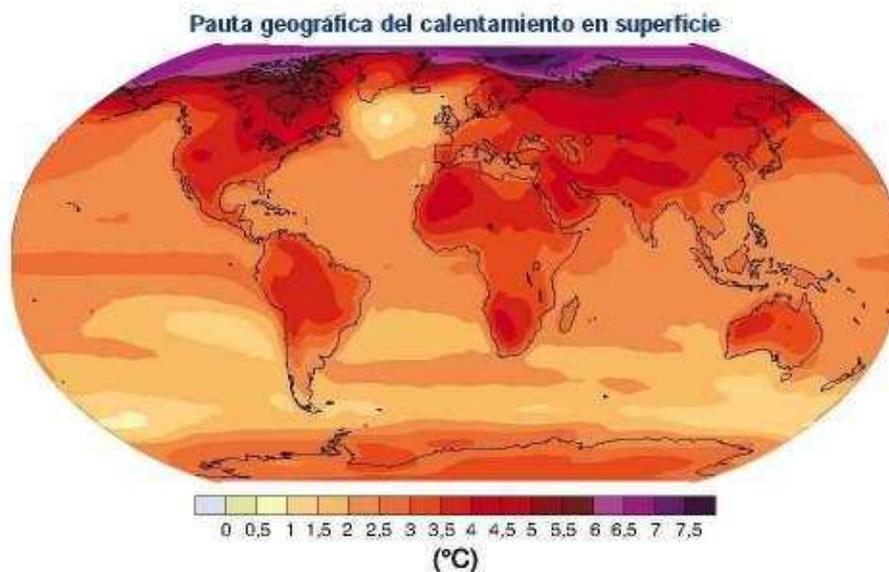


Figura 1. Patrón geográfico del calentamiento en superficie para todo el globo. Fuente: (IPCC, 2007)

- b) Una reducción de la superficie de cobertura de nieve en gran parte de las regiones de permafrost, y en menor extensión de los hielos marinos. Al final de los veranos en los años del siglo XXI, los hielos marinos de la región ártica desaparecerán casi por completo.
- c) Olas de calor y precipitaciones intensas con mayor frecuencia
- d) Una gran probabilidad del crecimiento de la intensidad de los ciclones tropicales

- e) Un desplazamiento de las trayectorias de los ciclones extratropicales hacia los polos, con las consiguientes alteraciones en los patrones de viento, precipitación y temperatura.
- f) Aumentos en las precipitaciones en latitudes altas y probablemente reducciones en gran parte de las regiones terrestres subtropicales.

Hacia mediados del siglo XXI se proyecta que la escorrentía fluvial anual y la disponibilidad de agua tenderán a aumentar en latitudes altas y en algunas zonas lluviosas tropicales, mientras que en algunas regiones secas de latitudes medias y en los trópicos, la tendencia es a disminuir. Numerosas áreas semiáridas, como la cuenca mediterránea, el sur de África, el noreste del Brasil y el oeste de los Estados Unidos, experimentarán disminución de los recursos hídricos.

Simultáneamente, el IPCC en su cuarto informe comunica algunos ejemplos de impactos regionales proyectados, para el caso de Latino América, hasta mediados del siglo XXI los incrementos de la temperatura y las disminuciones de la humedad del suelo, causaran una renovación gradual de los bosques tropicales por las sabanas en el este de la Amazonia. La vegetación semiárida estaría siendo remplazada por vegetación de tierras áridas.

Por otra parte, se podría esperar pérdidas de diversidad biológica importantes, con la desaparición de especies en gran parte de América Latina Tropical, al igual que una disminución en la productividad de ciertos cultivos principales y la productividad ganadera, esto traería consecuencias desfavorables para la seguridad alimentaria.

De esta manera, con las alteraciones en los patrones de precipitación y la desaparición de los glaciares se perjudicaría considerablemente la disponibilidad de agua para el consumo humano, agrícola e hidroeléctrico.

1.2 MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES

Al momento de realizar proyecciones de los cambios e impactos futuros sobre el clima es importante calcular los efectos de todos los procesos fundamentales que actúan en el sistema climático. Estos procesos, se pueden representar por medio de algoritmos matemáticos desarrollados a través de un programa informático, denominado "Modelo" o "Modelo Climático", (como el caso es representar el comportamiento del planeta, se denomina "Modelo Climático Global")

Los modelos climáticos Globales o también denominados Modelos de Circulación General (MCGs) son la herramienta disponible más avanzada actualmente, para simular la respuesta del sistema climático global al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero. Los MCGs corresponden por tanto, a modelos numéricos que representan los procesos climáticos, donde se vinculan procesos físicos, químicos y biológicos de la atmósfera, el océano, la criósfera y la superficie terrestre, en sus interacciones y funciones de retroalimentación. Actualmente los modelos de circulación general acoplados Océano -Atmósfera (MCGAAO) ofrecen la más completa representación del sistema climático.

Las expresiones matemáticas que configuran un MCG se pueden analizar por separado dentro de las tres principales partes de que constan estos modelos:

- g) La dinámica del sistema del clima que describe el movimiento a gran escala de las masas de aire y el transporte de la energía y momentum.
- h) La física del sistema climático y la transmisión de la radiación a través de la atmósfera, la termodinámica y la evaporación.
- i) Otros factores en los que se encuentran la interacción océano-atmósfera, la topografía, y parámetros que representan la dinámica de la vegetación.

Estas expresiones se basan en las leyes físicas de la conservación de energía y masa, junto con las relaciones empíricas fundadas en características y tendencias observadas, tales como fórmulas que relacionen temperatura y humedad con la formación de la nube (BVSDE, 2010)

Estos modelos representan el clima implementando rejillas de tres dimensiones sobre el globo, así se puede observar en la Figura 2. Usualmente tienen una resolución horizontal entre los 250 Km y 600 Km y entre 10 a 20 capas verticales para la atmósfera y hasta 30 para los océanos. Resolución muy gruesa en cuanto a la escala a la cual se dan las estimaciones de impacto y a los procesos físicos que se desarrollan a una escala de subrejilla, como los relacionados en la generación de nubes o la convección oceánica. Para esto se utiliza la técnica de parametrización, que permite representar procesos que no es posible resolver explícitamente como consecuencia de la resolución espacial o temporal del modelo, mediante relaciones existentes entre el flujo a mayor escala resuelto por el modelo y el efecto, promediado en área a lo largo del tiempo, de tales procesos de escala subreticular (IPCC, 2007).

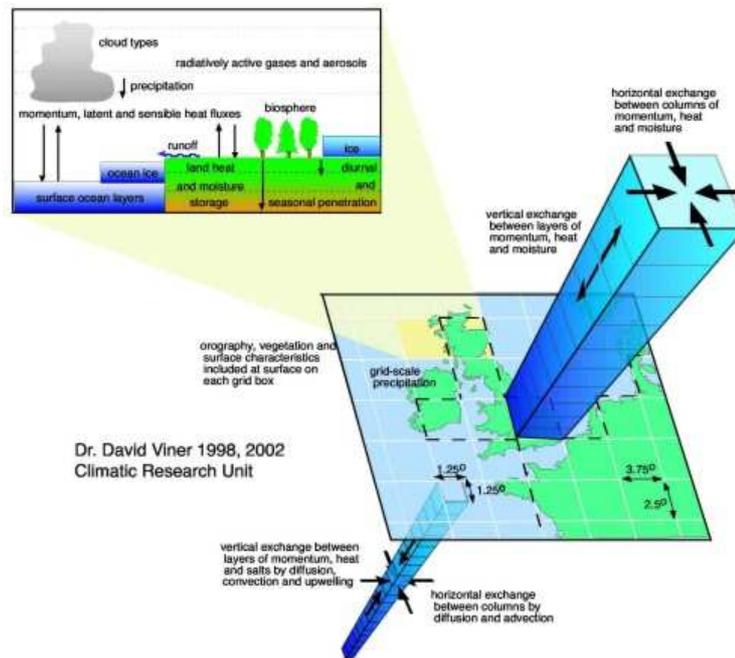


Figura 2. Representación conceptual de un modelo de circulación general atmósfera-océano. Fuente: (CRU, 2010)

1.2.1 Ejecución de los Modelos Climáticos

La ejecución de los Modelos Climáticos Globales consta de tres partes: spin-up y control, el periodo de validación y finalmente la creación de los escenarios. Según (Castro, 2007)

las etapas de intervención de cada simulación para la ejecución del modelo se muestran en la *Figura 3* y se explican debajo de la gráfica.

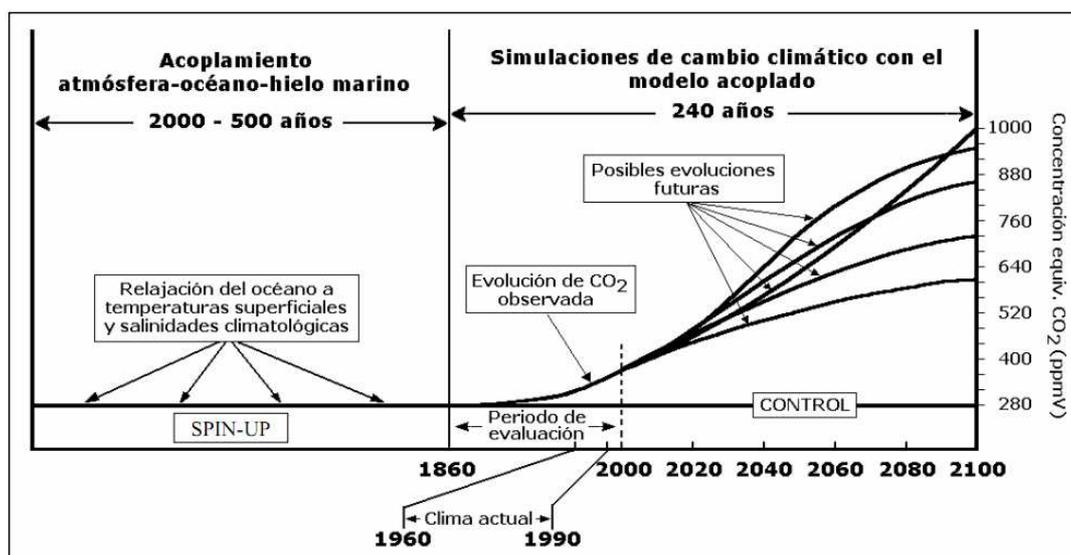


Figura 3. Periodos de intervención de cada simulación para la ejecución de los Modelos Climáticos. Fuente: (Castro, 2007)

Spin y Control: Simulación de cientos de años con $[CO_2] = 280$ ppm constante hasta que océano -atmósfera-hielo se acoplan (SPIN-UP). Una simulación continua así, hasta el año 2100 (CONTROL) para examinar la variabilidad interna del modelo.

Periodo de Evaluación: Otra simulación de 1860 a 2000 con el incremento observado de gases de efecto invernadero y sulfatos para evaluar la capacidad del modelo de reproducir la tendencia observada de la temperatura global. El “clima actual” (1960-90) se toma como referencia para derivar escenarios de cambio climático.

Escenarios: Simulaciones desde 2000 suponiendo diversas evoluciones de emisiones de gases de efecto invernadero y sulfatos. Para construir los escenarios, se calcula la diferencia entre la simulación de “clima actual” y la de cualquier periodo futuro.

1.3 EVALUACIÓN DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS

Los modelos de circulación general son la herramienta básica para entender y hacer la atribución de las variaciones climáticas pasadas y para las proyecciones. La seguridad en los modelos se debe establecer teniendo en cuenta diversos criterios y según el IPCC a partir de su tercer informe de evaluación (TIE) se han generado avances importantes en cada uno de esos campos, produciendo una mayor confianza en los modelos.

Todos los esfuerzos desarrollados alrededor de los modelos han generado una evaluación más integral, abarcando múltiples perspectivas tales como:

- *Las proyecciones climáticas que hacen los modelos para diferentes escalas y periodos.* Las proyecciones del clima se hacen para varios decenios o un plazo más largo. Para las proyecciones climáticas, los forzamientos tienen una gran importancia porque en ellos se

incluyen el forzamiento, tanto de la energía solar que llega a la Tierra, como la de las partículas de materia que se encuentran en la atmósfera en consecuencia de las erupciones volcánicas y las concentraciones de gases de efecto invernadero de origen. Debido a que el área de interés de las proyecciones va de lo mundial a lo regional y a lo local, la escala de tiempo de interés se acorta y la amplitud de la variabilidad vinculada al tiempo se incrementa en relación a la señal del cambio climático a largo plazo. Esto dificulta aún más la detección de la señal de cambio climático en escalas menores.

-*La formulación de modelos.* La formulación de los MCGAAO se han ampliado a través de una resolución espacial mejorada y avances en los esquemas numéricos y de parametrización. En muchos modelos se han incluido otros procesos, de los cuales el más importante para el forzamiento es la modelación de los aerosoles. Actualmente gran parte de los modelos mantienen un clima estable sin utilizar ajustes de flujo.

- *Capacidad de simulación del Clima actual.* Las simulaciones en el clima presente se han evaluado y presentan una muy buena aproximación a la realidad meteorológica en cuanto a las variables de presión del nivel del mar y temperatura de la superficie, pero existen deficiencias especialmente en lo concerniente a las precipitaciones tropicales. Aun cuando se mantienen deficiencias significativas en la simulación de nubes, algunos modelos han mostrado mejoras en la simulación de ciertos regímenes de nubes como los estratocumulus de origen marino. La simulación de fenómenos extremos es aceptable, en especial la temperatura extrema, pero, en sentido general, los modelos simulan muy poco la precipitación en sus casos más extremos. La simulación de ciclones tropicales ha mejorado, de ahí que la frecuencia y distribución de los mismos se pueden simular con éxito. Se han logrado simulaciones mejoradas para la estructura de masa de agua, la circulación de retorno longitudinal, y la transferencia de calor del océano. Sin embargo, hay modelos sesgados a la hora de hacer la simulación del océano Antártico, mientras que hay cierto nivel de incertidumbre en la incorporación del modelo de calor oceánico durante los cambios climáticos (IPCC, 2007).

- *El clima y la predicción estacional mediante el uso de modelos climáticos.* Se han comprobado algunos modelos climáticos, para conocer la capacidad de predicción del valor inicial en escalas de tiempo que van desde las predicciones meteorológicas (varios días), hasta las de las variaciones estacionales climáticas, siempre y cuando se hayan iniciado con observaciones apropiadas. Aunque la capacidad de predicción de los modelos según este modo de funcionamiento no implica necesariamente que ofrecerán una respuesta correcta a los cambios en los agentes de forzamiento climático, tales como los gases de efecto invernadero, sí incrementan la confianza, ya que sí representan adecuadamente algunos procesos y teleconexiones fundamentales del sistema climático (IPCC, 2007).

La evaluación de un modelo usualmente es entendida como el proceso por medio del cual se analizan las capacidades y restricciones del modelo, comparando los resultados de éste con las observaciones es posible realizar proyecciones más óptimas. Por esta razón, usualmente en la elección de un MCG para establecer escenarios regionalizados y futuras proyecciones de impacto, se evalúa la habilidad del mismo para reproducir el clima actual, Aunque su validación frente a éste no tiene porque garantizar una buena simulación del futuro (Rodríguez, 2006), se considera un criterio sólido y objetivo. Mientras más cercanas a las observaciones sean las simulaciones del clima presente, mayor certidumbre se tendrá en las proyecciones.

1.3.1 Evaluación de los modelos empleados en el AR4-IPCC

El proyecto CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project, 2005-2006) – Proyecto de intercomparación de Modelos de Clima Programa, Mundial de investigación del clima (WCRP) – es una compilación de simulaciones del clima pasado, presente y futuro, donde se implemento los MCGs. El objetivo de éste, como el AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project), ha sido comparar y evaluar los resultados de diferentes modelos de forma sistemática y tratar de reconocer las causas de sus diferencias. El CMIP3 se diseño como soporte a la investigación y a la preparación y elaboración del Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del IPCC. Para este proyecto contribuyeron 17 grupos de modelización de 12 países con un total de 23 modelos, que muestra la Tabla 2.

Tabla 2. Modelos implementados en el AR4 del IPCC

IPCC I.D.	Center and Location	Atmosphere Resolution
BCCR-BCM2.0	Bjerknes Centre for Climate Research (Norway)	T63 L31
CGCM3.1(T47)	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (Canada)	T47 L31
CGCM3.1(T63)		T63 L31
CSIRO-Mk3.0	CSIRO Atmospheric Research (Australia)	T63 L18
CNRM-CM3	Météo-France, Centre National de Recherches Météorologiques (France)	T42 L45
ECHO-G	Meteorological Institute of the University of Bonn, Meteorological Research Institute of KMA, and Model and Data group (Germany and Korea)	T30 L19
GFDL-CM2.0	US Dept. of Commerce, NOAA	N45 L24
GFDL-CM2.1	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA)	N45 L24
GISS-AOM		90 × 60 L12
GISS-EH	NASA/Goddard Institute for Space Studies (USA)	72 × 46 L17
GISS-ER		72 × 46 L17
FGOALS-g1.0	LASG/Institute of Atmospheric Physics (China)	128 × 60 L26
INM-CM3.0	Institute for Numerical Mathematics (Russia)	72 × 45 L21
IPSL-CM4	Institut Pierre Simon Laplace (France)	96 × 72 L19
MIROC3.2(medres)	Center for Climate System Research (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC) (Japan)	T42 L20
MIROC3.2(hires)		T106 L56
MRI-CGCM2.3.2	Meteorological Research Institute (Japan)	T42 L30
ECHAM5/MPL-OM	Max Planck Institute for Meteorology (Germany)	T63 L32
CCSM3		T85 L26
PCM	National Center for Atmospheric Research (USA)	T42 L18
UKMO-HadCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Met Office (UK)	96 × 72 L19
UKMO-HadGEM1		N96 L38

Cada modelo cuenta con diferentes datos de ciertas variables climáticas, las cuales se resumen en la Tabla 3. La disponibilidad de las variables depende del modelo pues no todos las contienen por completo.

Tabla 3. Variables disponibles en los modelos aplicados por el IPCC

Variable I.D.	Description	Reference 1/Reference 2	Domain
ta	Temperature, °C	ERA40/NCEP-NCAR	200,850 hPa
ua	Zonal wind, m/s	ERA40/NCEP-NCAR	200,850 hPa
va	Meridional wind, m/s	ERA40/NCEP-NCAR	200,850 hPa
zg	Geopotential height, m	ERA40/NCEP-NCAR	500 hPa
hus	Specific humidity, kg/kg	AIRS/ERA40	400, 850 hPa
psl	Sea level pressure, Pa	ERA40/NCEP-NCAR	Ocean-only
uas	Surface (10m) zonal wind speed, m/s	ERA40/NCEP-NCAR	Ocean-only
vas	Surface (10m) meridional wind speed, m/s	ERA40/NCEP-NCAR	Ocean-only
ts	Sea surface temperature, °C	ERSST/HadISST	Ocean-only; equatorward of 50°
tauu	Ocean surface zonal wind stress, Pa	ERA40/NCEP-NCAR	Ocean-only
tauv	Ocean surface meridional wind stress, Pa	ERA40/NCEP-NCAR	Ocean-only
hfls	Ocean surface latent heat flux, W/m ²	SOC/ERA40	Ocean-only
hfss	Ocean surface sensible heat flux, W/m ²	SOC/ERA40	Ocean-only
rlut	Outgoing longwave radiation, W/m ²	ERBE/CERES	Ocean-only
rsut	TOA reflected shortwave radiation, W/m ²	ERBE/CERES	
rhutes	TOA longwave clear-sky radiation, W/m ²	ERBE/CERES	Equatorward of 60°
rsutcs	TOA shortwave clear-sky radiation, W/m ²	ERBE/CERES	Equatorward of 60°
rlwcrf	Longwave cloud radiative forcing, W/m ²	ERBE/CERES	Equatorward of 60°
rswcrf	Shortwave cloud radiative forcing, W/m ²	ERBE/CERES	Equatorward of 60°
pr	Total precipitation, mm/day	GPCP/CMAP	
clt	Total cloud cover, %	ISCCP-D2/ISCCP-C2	
prw	Precipitable water, g/kg	RSS/NVAP	

La evaluación desarrollada en el AR4-IPCC se enfocó principalmente en analizar la capacidad general de los modelos de la Tabla 2, considerando su comportamiento a nivel global medio. Más aun en un estudio a nivel regional no es suficiente tener una estimación global media, por lo que es de gran importancia considerar la evaluación para la zona específica y a diferentes escalas temporales.

1.4 DATOS DE REFERENCIA

1.4.1 Proyecto CMAP

El CPC Merged Analysis of Precipitation (“CMAP”) es una técnica que produce análisis pentadales y mensuales de precipitación global en las que las observaciones de pluviómetros se combinan con las estimaciones de precipitación de varios algoritmos basados en imágenes de satélite (Infrarrojos y microondas). Los análisis se han construido sobre una cuadrícula de 2.5° x 2.5° de latitud y longitud para un periodo de 21 años que abarcan desde 1979 al 2000. Este nuevo conjunto de datos contiene la distribución de la precipitación con total cobertura mundial y una mejor calidad en comparación con las fuentes de datos individuales.

Los valores son obtenidos de cinco tipos de estimaciones por satélite (GPI, OPI, dispersión de SSM / I, emisión de SSM / I y MSU). También existe una base de datos en la que además de estas estimaciones se combina con los valores de precipitación del reanálisis NCEP/NCAR.

1.4.2 Reanálisis ERA-40

ERA40 es un reanálisis del ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts) de la atmosfera mundial y condiciones de la superficie para 45 años, durante el periodo comprendido entre septiembre de 1957 a agosto de 2002. Se implementaron varias fuentes de las observaciones meteorológicas, incluyendo las radiosondas, globos, aviones, boyas y satélites. Estos datos fueron corridos con el modelo del ECMWF con una resolución de 40 Km. Los datos se almacenan en formato GRIB.

El principio de un reanálisis tiene profundas raíces en ciencias observacionales y es regularmente ejecutada dentro de la comunidad de investigación climática. La disponibilidad de mejores métodos de analizar datos pasados, una mejor comprensión de errores de observación y tendencias, nuevas fuentes de observación, ha conducido a una nueva versión mejorada de análisis del clima.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1 DATOS

Se utilizó los datos de 20 modelos climáticos globales tomados de la base de datos WCRP-CMIP3 (PCMDI, 2004) de las variables: viento en superficie (10m), viento a 850 hPa, viento a 200 hPa y presión a nivel del mar, como indicadores de la circulación atmosférica y por consiguiente, de la consistencia física del modelo. También se consideraron las variables de precipitación y temperatura en superficie, las cuales son resultado de la física del modelo y corresponden a las variables que usualmente se implementan para definir el clima de una región, además la precipitación hace parte de una prueba rigurosa de la habilidad del modelo ya que estos tienen un menor rendimiento en la simulación de ésta.

En la *Tabla 4* se muestran los 20 modelos utilizados en la evaluación y el nombre que se le dio en el desarrollo del trabajo.

Tabla 4. Modelos MCGAAO implementados en esta investigación

MODELO	NOMBRE UTILIZADO
BCCR-BCM2.0	BCCRBCM2
CCSM3	CCSM-30
CGCM3.1(T47)	CCCMA-31
CNRM-CM3	CNRM-CM3
CSIRO-Mk3.0	CSIRO-30
ECHAM5/MPI-OM	MPIECH-5
ECHO-G	ECHO---G
FGOALS-g1.0	FGOALS1G
GFDL-CM2.0	GFDLCM20
GFDL-CM2.1	GFDLCM21
GISS-EH	GISS—EH
GISS-ER	GISS—ER
INM-CM3.0	INMCM-30
IPSL-CM4	IPSL_CM4
MIROC3.2(hires)	MIROC-HI
MIROC3.2(medres)	MIROCMED
MRI-CGCM2.3.2	MRI-232A
PCM	NCARPCM1
UKMO-HadCM3	UKHADCM3
UKMO-HadGEM1	UKHADGEM

Los datos de referencia de las variables de viento, presión y temperatura pertenecen al grupo de datos del reanálisis ERA-40 (ECMWF, 2008), mientras que la precipitación fue tomada del proyecto CMAP (NOAA, 2009). Los datos son promedios mensuales y están a una resolución de 2.5°x 2.5°.

Igualmente se utilizaron datos promediados mensualmente de 1596 y 437 estaciones del IDEAM de precipitación y temperatura respectivamente, que cubren el territorio Colombiano.

La evaluación se realizó para un periodo de 30 años de datos, considerando el promedio tanto anual como estacional, que corresponden a los trimestres Diciembre, Enero, Febrero (DJF), Marzo, Abril, Mayo (MAM), Junio, Julio, Agosto (JJA) y Septiembre, Octubre, Noviembre (SON), para las variables de viento, presión y temperatura. En cuanto a la precipitación el periodo evaluado fue de 20 años conforme a la disponibilidad de datos y a escala anual, estacional y mensual.

2.2 ÁREA DE ESTUDIO

La evaluación se realiza para dos dominios, uno considerado como regional (área entre los 32°N a 35°S y 27°W a 107°W), que comprende una zona más extensa que el territorio Colombiano. Esto con el fin de especificar los MCGs que permitan dar condiciones iniciales y de frontera para el desarrollo de la regionalización dinámica en la generación de escenarios futuros. El segundo, denominado como nacional, se definió entre los límites de los 15°N a los 5°S y los 67.5°W a los 82.5°W, para dar razón de los modelos más apropiados para el país, proporcionando el grupo recomendado para el desarrollo de la regionalización estadística en la generación de escenarios.

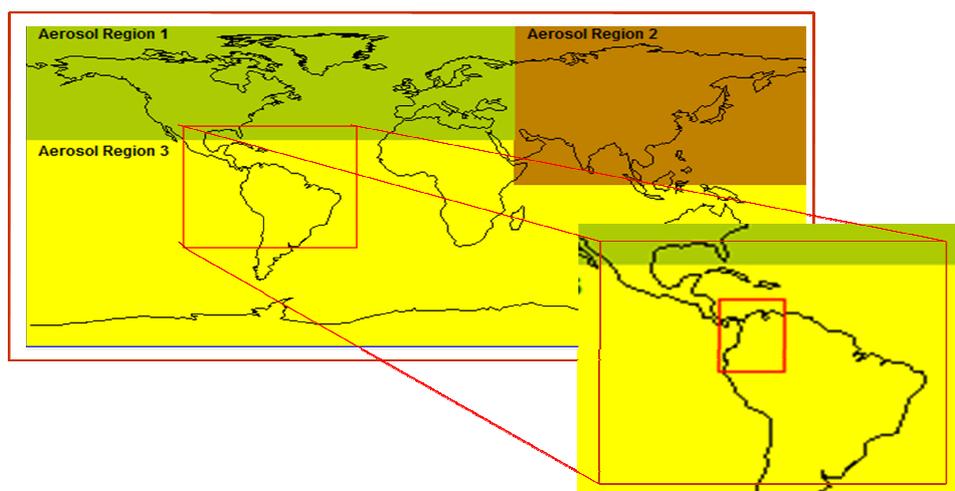


Figura 4. Áreas de estudio seleccionadas, regional (32°N a 35°S y 27°W a 107°W) y nacional (15°N a 5°S y 67°W a 82.5°W)

La evaluación del viento para los diferentes niveles de la atmósfera se realizó únicamente a nivel regional.

2.3 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

En el conocimiento de la confiabilidad de los MCGs se debe cuantificar objetivamente el acuerdo entre los modelos y los datos de referencia u observaciones, utilizando diferentes métricas o estadísticos, que corresponden a cantidades escalares que de forma objetiva miden la calidad de la simulación del modelo.

Aunque la necesidad de determinar ciertas métricas se ha experimentado en la comunidad de modelización hasta la actualidad, no se ha desarrollado ningún protocolo de evaluación. La mayoría de estudios científicos donde se cuantifica el análisis se selecciona la implementación de estadísticos simples como el error cuadrático medio, el error absoluto medio o el sesgo, entre otros.

Para el caso del presente trabajo se ha optado por utilizar la correlación, el error cuadrático medio, el sesgo y el error cuadrático medio corregido.

2.3.1 Correlación

Es una medida del "grado de ajuste," o semejanza, entre los valores del modelo y los patrones observados. La correlación valora el rango entre -1 y 1, donde 1 representa la correlación perfecta y cero ninguna correlación. La correlación se calcula sobre las n localizaciones, en donde f denota el valor del modelo y O denota la observación.

$$c = \frac{\frac{1}{n} \sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f}) \times (O_n - \bar{O})}{\left[\frac{1}{n} \sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})^2 \times \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N (O_n - \bar{O})^2 \right]^{1/2}}$$

2.3.2 Sesgo (BIAS)

El error del sesgo es una medida de la fiabilidad del modelo. Para un conjunto de N datos del modelo, la medida de fiabilidad es el error medio, definido como:

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - O_n)$$

El error de sesgo es el promedio de la diferencia entre el valor del modelo (f_n) y la observación (O_n), donde N es el número total de datos comparados del modelo. Debido a que $BIAS$ carece del término en valor absoluto o al cuadrado, se permite la cancelación de errores individuales positivos y negativos, poniendo en evidencia solamente el exceso (METED, 2010).

El $BIAS$ representa la desviación promedio entre los datos del modelo y las observaciones. Si $BIAS$ es positivo, los valores del modelo tienden a superar a los observados, mientras que si el sesgo es negativo sucede lo contrario.

El error de sesgo, generalmente se utiliza para evaluar la magnitud de la sobrestimación o subestimación de variables, tales como: temperatura, precipitación, presión, etc. Los valores negativos representan una subestimación o subvaloración, los valores positivos representan un sobrestimación o sobrevaloración y un valor cero significa que no hay sesgo.

En algunos casos se elimina el sesgo en los valores del modelo, mediante substracción del $BIAS$ a los datos individuales del modelo.

2.3.3 Error cuadrático medio (RMSE)

El error cuadrático medio es la raíz cuadrada del promedio del cuadrado de las diferencias ajustadas individuales entre el valor del modelo (f_n) y la observación (O_n), donde N es el número total de comparaciones (METED, 2010).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - O_n)^2 \right]^{1/2}$$

Es la medida de la exactitud, mide la distancia promedio.

2.3.4 Error cuadrático medio corregido (RMSE-corr)

El RMSE-corr, es el error cuadrático medio después de una corrección aplicada al campo de la media del modelo para eliminar cualquier sesgo (Wigley, 2008). Se relaciona con el RMSE por:

$$(RMSE - corr)^2 = (RMSE)^2 - BIAS^2$$

2.3.5 Clasificación de los Modelos

En este punto se consolidan los resultados de los estadísticos anteriores, de todos los modelos, en tablas, y mediante un código terciario, en el que se utilizarán los colores verde, amarillo y rojo se clasificarán los modelos. En este sentido el color verde designará al tercio de los modelos que más se aproximan a las observaciones, el rojo al tercio que peor simulan lo observado y el amarillo al tercio intermedio. De esta manera, este código permitirá que los modelos relativamente asertivos sobresalgan frente a los que no, ubicándolos de tal manera que sea posible una visualización de los modelos con mayor habilidad en verde, intermedia en amarillo y no recomendados en rojo.

2.4 DIAGRAMA DE TAYLOR

El diagrama de Taylor se utiliza para mostrar la calidad de las predicciones del modelo, con respecto a los valores de referencia. La similitud entre dos parámetros se cuantifica en términos de su correlación, la diferencia centrada de la raíz cuadrática media (RMSE) y la amplitud de sus variaciones, que es representada por su desviación estándar. Estos diagramas son especialmente útiles en la medición de la habilidad relativa de muchos modelos diferentes.

En la Figura 5 se muestra un ejemplo de un diagrama de Taylor que ilustra la manera en que se utiliza para resumir la habilidad con que ocho modelos climáticos globales simulan el patrón espacial de la precipitación media anual. A cada modelo considerado se le asigna una letra y la posición de cada una de estas en el diagrama cuantifica que tan cerca está las simulaciones de la precipitación observada, que se señala como "observed" (Taylor K. , 2001).

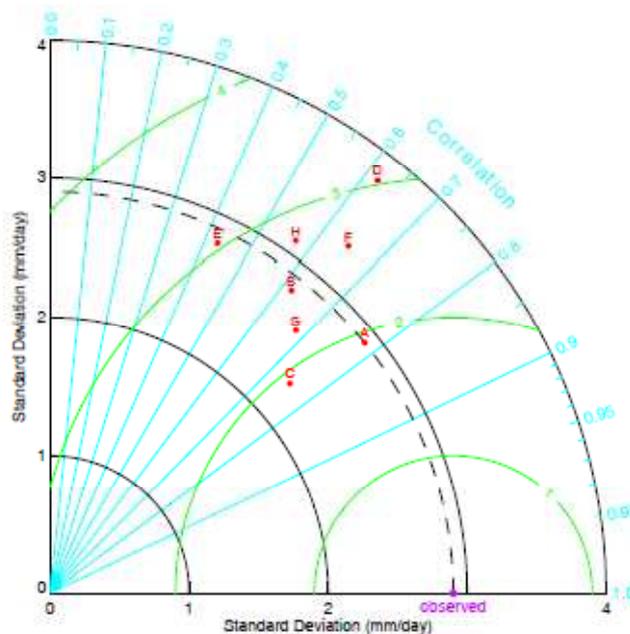


Figura 5. Ejemplo de un diagrama de Taylor que muestra la comparación de las simulaciones de la precipitación anual de ocho modelos climáticos con respecto a las observaciones. Fuente: (Taylor K. , 2001)

Con respecto a la Figura 5, el modelo representado con la letra F, tiene un valor de correlación de 0,65 correspondiente a las observaciones, el cual se está midiendo con la escala azul aguamarina que se nombra como correlation. Los valores de RMSE están indicados por los contornos verdes y para el caso del modelo F es aproximadamente de 2,6 mm/día. La desviación estándar del modelo es proporcional a la distancia radial respecto al punto de origen, visualizado en los arcos negros, luego para el modelo F la desviación estándar es de aproximadamente 3.3 mm/día, valor mayor que la desviación estándar de los datos observados, que se indican con el arco de líneas discontinuas y es de 2,9 mm/día (Taylor K. , 2001).

Por lo tanto se puede concluir que las simulaciones de los modelos que se encuentran más cerca del punto indicado como "Observed" en el eje x serán las que concuerdan mejor, ya que estos modelos tendrán relativamente una alta correlación y bajo RMSE. Los modelos cercanos al arco de líneas discontinuas serán los que tienen la desviación estándar correctos (simulan la amplitud de las variaciones).

Es importante mencionar que la desviación estándar es usada para medir la capacidad de los modelos en la simulación de modos de variabilidad climática. Los valores bajos de la desviación estándar indican que la variabilidad entre un año y otro es muy parecida, por lo cual no hay una representación importante de los modos de variabilidad mientras que si son altos indican una buena representación.

Continuando con el ejemplo de la Figura 5 se puede afirmar que los modelos A y C, en general corresponden a los mejores modelos ya que son los más próximos a las observaciones, cada uno con aproximadamente los mismo valores de RMSE y A con un valor de correlación ligeramente mayor y desviación estándar igual que la observación, mientras que el modelo C tiene muy poca variabilidad espacial (con una desviación

estándar de 2,3 mm/día en comparación con el valor observado de 2,9 mm/día). En cuanto a los modelos menos recomendados se encontrarían el E y el D con grandes valores de RMSE y menores correlaciones, aunque el modelo E tenga muy cerca sus desviación estándar al observado.

En el diagrama de Taylor los estadísticos están relacionados por medio de la siguiente ecuación:

$$E'^2 = \sigma_f^2 + \sigma_r^2 - 2\sigma_f\sigma_r R$$

Donde R es coeficiente de correlación entre la simulación y la referencia, E' representa el valor de RMSE entre estos mismos y σ_f y σ_r son las varianzas de la simulación y la referencia respectivamente.

2.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

Se grafica la distribución espacial de cada una de las series de datos promediados de las diferentes variables consideradas de tal manera que se compare la climatología observada o de referencia frente a los promedios simulados por los modelos en cada punto de rejilla.

2.5.1 Distribución del Sesgo

Se construye la distribución espacial del sesgo que corresponde a la magnitud de los errores medios (BIAS) para cada punto de rejilla, esto permite visualizar las zonas donde los modelos tienden a sobrestimar o subestimar una variable. Para el caso de vientos, presión y temperatura se determina como:

$$\text{BIAS} = \text{Modelo} - \text{Observado}$$

Y para la precipitación, en porcentaje:

$$\text{BIAS} = (100(\text{modelo-observado})/\text{observado})$$

2.6 PROMEDIOS DE LOS ESTADÍSTICOS

Se promediaron los estadísticos de correlación, RMSE, BIAS y RMSE-corr por separado de las variables precipitación, temperatura y presión (indicador de la circulación atmosférica) de cada modelo. Los resultados para cada estadístico se muestran en una grafica con los modelos ordenados por su promedio, lo cual permite observar los modelos con mayores correlaciones y menores errores teniendo en cuenta estos tres campos.

La metodología se desarrolla para el dominio regional y nacional, en los tiempos anual y estacional pero para este último solo se estimo el RMSE.

2.7 REPRESENTACIÓN DEL CICLO ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN

Se graficó el ciclo anual medio de la precipitación promediando los datos mensuales tanto para los datos observados como para los datos de la simulaciones del modelo, de tal

manera que se puedan comparar el comportamiento de las fluctuaciones de esta variable sobre el curso del año.

2.8 EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE REFERENCIA CON DATOS DE ESTACIONES EN COLOMBIA

Para poder evaluar los datos puntuales de las estaciones con los resultados del proyecto CMAP, ERA-40 y las simulaciones de los MCGs, se obtuvieron los datos mensuales de precipitación y temperatura y por medio de un algoritmo se estimó el promedio de los datos de las estaciones que se encontraran dentro de la rejilla. Este promedio da como resultado un valor en el punto de rejilla de las series originales de las estaciones. Para la precipitación se realizó a nivel anual y mensual, mientras que para la temperatura solo anual, ya que ésta no varía en gran magnitud mensualmente.

3. RESULTADOS

3.1 EVALUACIÓN DE VIENTO Y PRESIÓN

Las variaciones en la presión llevan a la generación del viento, este a su vez constituye uno de los elementos fundamentales en el campo del conocimiento atmosférico ya que permite identificar el estado dinámico del aire. La presión atmosférica y el viento por tanto, contribuyen a explicar el clima de una región, presentándose como indicadores de la circulación atmosférica, que permiten analizar, como primer acercamiento, la representación de la física y la dinámica de los modelos climáticos.

3.1.1 Evaluación Regional Anual

La Tabla 5 resume la clasificación de los 20 modelos mediante el código tercílico con respecto a la presión, magnitud del viento en superficie, 200 hPa y 850 hPa y sus correspondientes posiciones para cada estadístico y variable. La magnitud del viento se ha determinado mediante las componentes zonal y meridional de cada nivel. Es importante mencionar que para la velocidad en superficie no se obtuvieron datos de los modelos CCSM-30 y NCARPCM1, por consiguiente ocupan los últimos lugares en esta variable.

Recordando que el color verde clasifica el modelo en un nivel superior, el amarillo en medio y el rojo en inferior, los modelos con mayor cantidad de estadísticos en color verde tendrán una mejor simulación de las variables que los resaltados en rojo. Teniendo en cuenta, tanto el viento en los diferentes niveles, como la presión, se pueden destacar de la Tabla 5 los modelos que representan con mayor correlación y menores errores RMSE, RMSE- corregido y BIAS son el UKHADGEM, MPECH-5, UKHADCM3, MRI-232A, BCCRBCM2 y el ECHO—G, mientras que el GISS-EH, GISS-ER, INMCM-30, CSIRO-30, IPSL-CM4 y el FGOALS1G, corresponden al grupo de modelos con menores correlaciones y mayores errores. Aunque gran cantidad de los estadísticos del CCSM-30 y el NCARPCM1, están marcados en color rojo, no se incluyeron en este último grupo, ya que no se tiene datos para la velocidad en superficie, más aún, su representación (de las restantes variables) con respecto a los demás modelos, no se ubican tampoco en los primeros lugares.

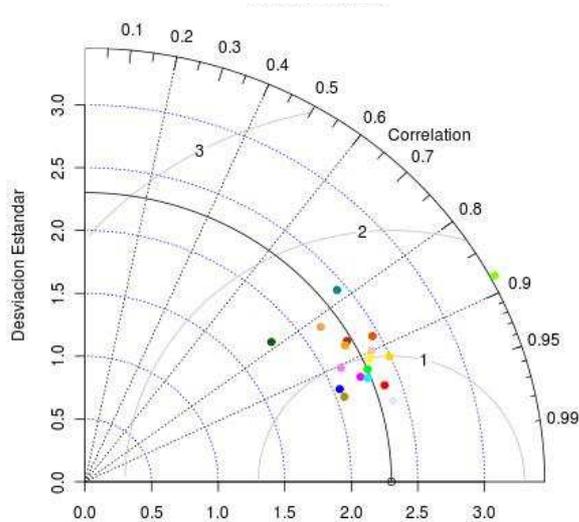
Tabla 5. Clasificación de los 20 modelos a nivel regional anual a partir de los campos de viento y presión.

MODELO	velocidad en superficie				presión a nivel del mar				viento_200hPa				viento_850hPa			
	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr
BCCRBCM2	3	4	14	2	2	1	8	1	14	10	9	15	5	4	3	4
CCMA-31	11	11	10	11	19	15	3	17	10	11	15	13	4	8	14	7
CCSM-30	19	19	19	19	6	11	9	14	11	12	17	10	17	17	15	18
CNRM-CM3	10	8	13	8	4	5	16	4	15	13	2	14	13	12	7	13
CSIRO-30	15	9	5	14	15	16	7	18	20	7	7	19	18	19	17	17
ECHO-G	6	14	7	6	8	7	12	6	8	14	19	6	7	6	10	6
FGOALS1G	18	17	15	17	12	6	5	10	6	8	14	5	10	11	8	12
GFDL20	7	5	6	7	14	14	17	13	3	5	12	4	9	9	13	9
GFDL21	9	10	12	10	7	10	18	7	4	1	8	2	12	14	16	10
GISS-EH	17	16	17	16	18	20	20	12	18	18	5	17	16	13	12	14
GISS-ER	16	15	11	15	20	19	19	15	16	19	16	20	14	10	1	11
INMCM-30	12	18	18	18	9	9	13	9	19	17	3	18	19	20	19	20
IPSL-CM4	14	12	8	12	16	12	15	11	2	20	20	8	11	18	20	15
MIROC-HI	8	6	3	9	11	17	4	19	7	16	18	12	8	7	11	8
MIROCMED	13	13	1	13	13	18	10	20	1	2	10	1	15	16	18	16
MPIECH-5	2	2	9	3	3	2	6	2	13	4	4	11	6	5	2	5
MRI-232A	4	7	16	4	5	4	14	3	12	9	11	9	3	3	4	3
NCARPCM1	20	20	20	20	17	13	2	16	17	15	6	16	20	15	5	19
UKHADCM3	5	3	4	5	10	8	11	8	5	6	13	3	2	2	9	2
UKHADGEM	1	1	2	1	1	3	1	5	9	3	1	7	1	1	6	1

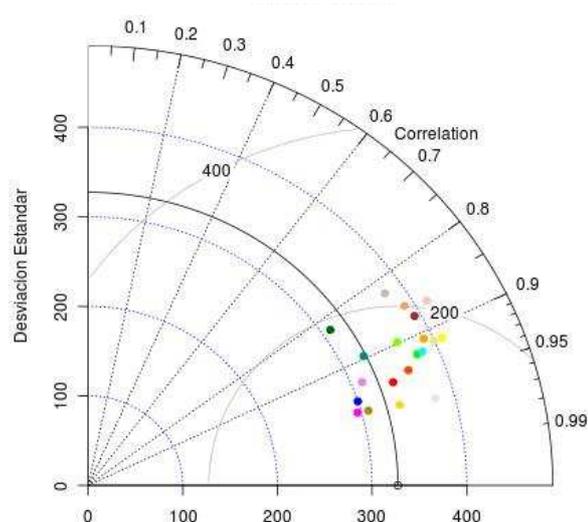
- Diagramas de Taylor Regional Anual

La Figura 6 representa los correspondientes diagramas de Taylor de todos los modelos para la presión, magnitud del viento en superficie en 200 hPa y 850 hPa, con respecto a los datos de referencia ERA-40. De acuerdo a lo mencionado en la sección 2.4 los modelos que se encuentren más cerca a la observación serán los que concuerden mejor. Conforme a la Figura 6, para la magnitud de la velocidad en superficie las simulaciones más cercanas y con mayor acierto en la amplitud de sus variaciones son el UKHADGEM, MPIECH-5, UKHADCM3, ECHO—G. Con menos desviaciones estándar pero próximos al punto de observación están el BCCRBCM2 y el MRI-232A. En el grupo de la presión se destacan BCCRBCM2, ECHO—G, MRI-232A y MIROCMED, y con mayor desviación estándar el MPIECH-5 y el UKHADGEM.

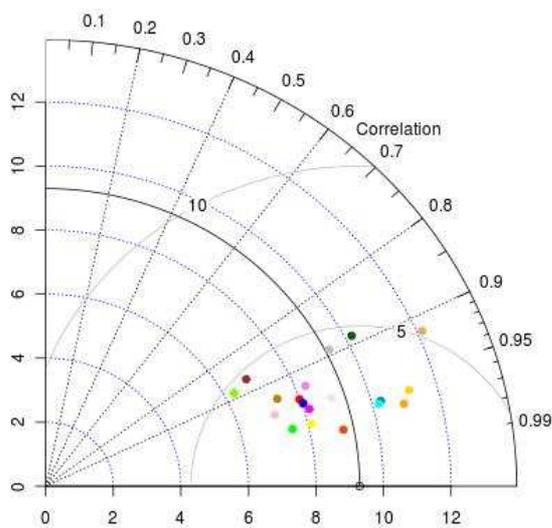
Una buena representación de la magnitud del viento a 200 hPa está dada por el MIROCMED, UKHADCM3, UKHADGEM, que tienen una desviación estándar más cercana a la de referencia, aunque la mayoría de los modelos tienen altas correlaciones y RMSE semejantes. En el viento a 850 hPa no aparecen todos los modelos ya que existen puntos donde no se tienen datos debido a la consideración de la topografía del modelo, por lo cual no simula valores para ciertos lugares. El hecho de que el modelo no aparezca no significa que sea inferior, frente a los presentes en la gráfica. Por otra parte, se realizó el análisis para los que están graficados, y se identifico que resaltan el BCCRBCM2, ECHO—G y el MPIECH-5.



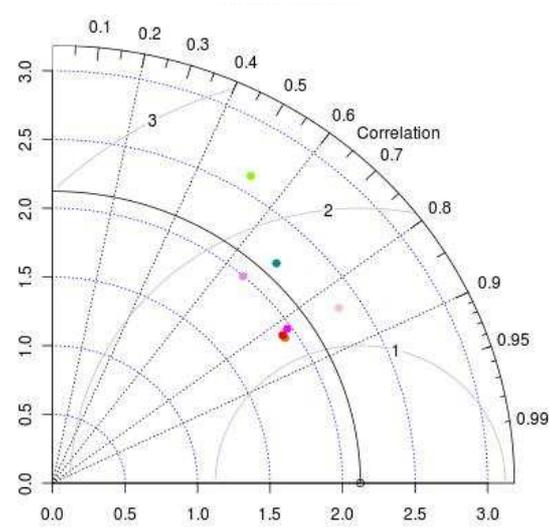
a) Magnitud del viento en superficie (uas,vas)



b) Presión (psl)



c) Magnitud del viento a 200 hPa (ua,va)



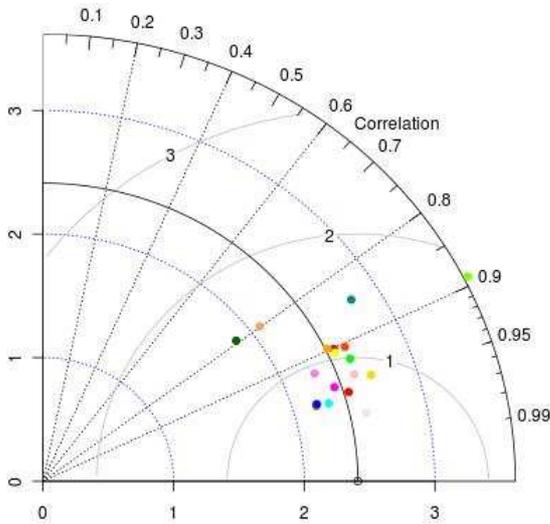
d) Magnitud del viento a 850 hPa (ua,va)



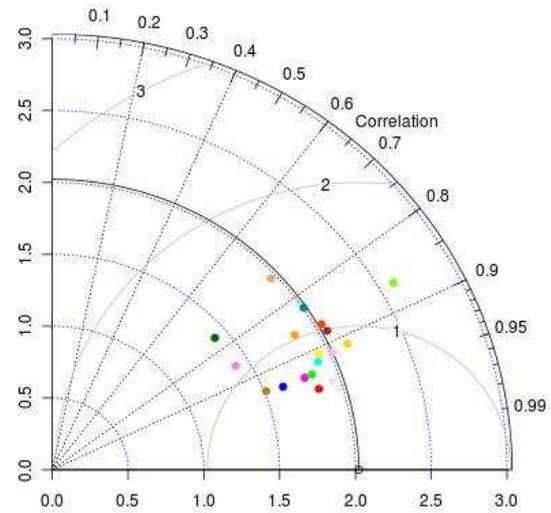
Figura 6. Diagramas de Taylor anual de presión y magnitud del viento en superficie, 200hPa y 850 hPa.

Ahora bien, en la siguiente figura se están representando los diagramas de Taylor para viento en superficie, 200 hPa y 850 hPa teniendo en cuenta sus componentes zonal y meridional. A manera general, para los tres niveles la representación de la componente zonal de los modelos, presenta un mejor acercamiento a la referencia, con valores de correlaciones más altos, RMSEs menores y desviación estándar más próximos a la

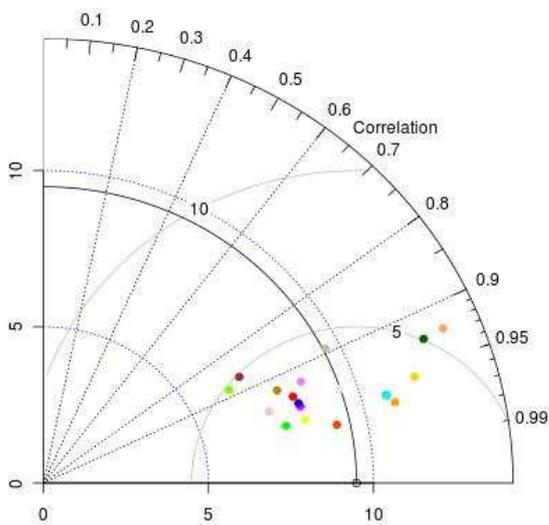
observación, Por su parte, las simulaciones de la velocidad meridional están más dispersas de la línea de referencia de la desviación estándar, con menores correlaciones y por consiguiente mayores RMSE.-. La característica de una mejor representación de la velocidad zonal, frente a la meridional, se observa con claridad en la grafica del nivel de 200 hPa.



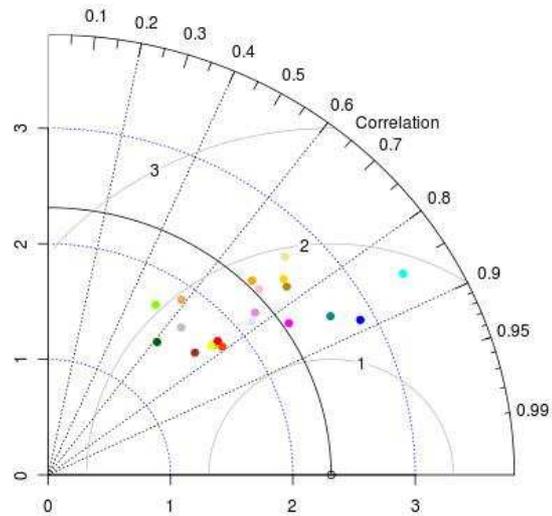
a) *Velocidad del viento Zonal en superficie (10m) (uas)*



b) *Velocidad del viento Meridional en superficie (10m) (vas)*



c) *Velocidad del viento Zonal en 200hPa (ua)*



d) *Velocidad del viento Meridional en 200hPa (va)*

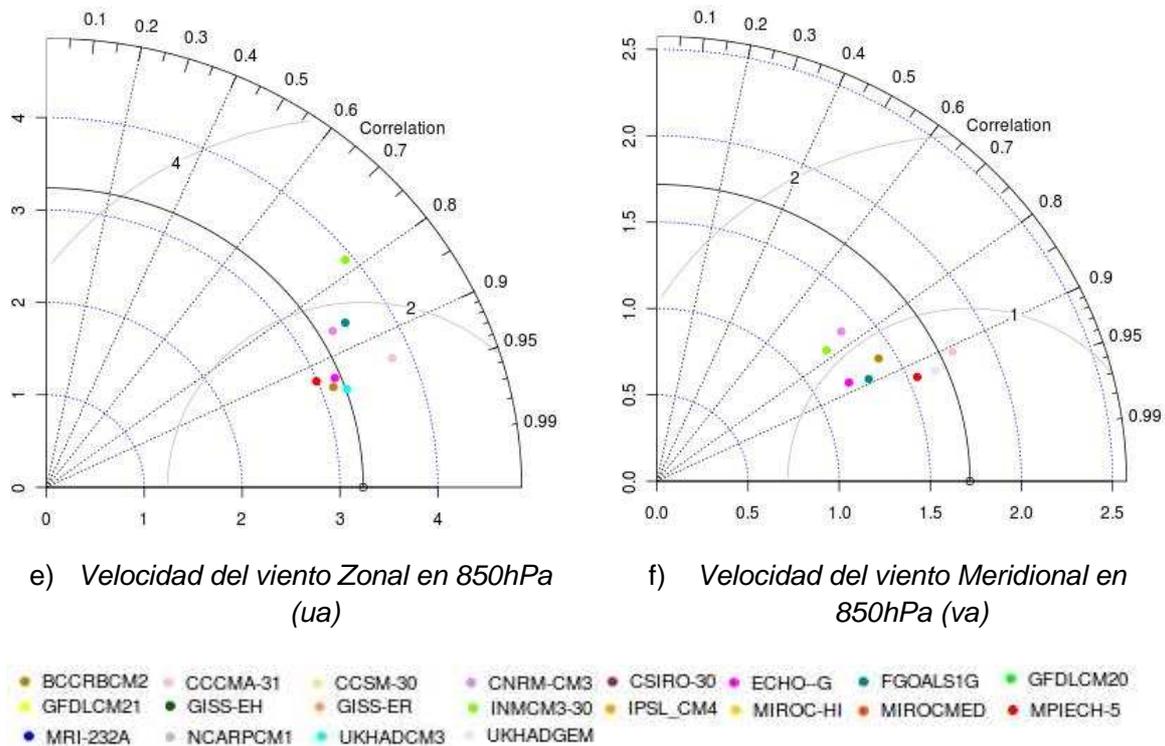


Figura 7. Diagramas de Taylor anual de las componentes zonal y meridional del viento en superficie, a 200 hPa y a 850 hPa

A partir de la Figura 7, para cada componente y nivel, se pueden elegir los modelos más adecuados respectivamente, teniendo en cuenta el color que los representa. En superficie por ejemplo, la componente zonal estará mejor representada por el UKHADGEM o el MPIECH-5, al igual que la meridional, entretanto a 200 hPa la zonal con el MIROC-MED.

3.1.2 Evaluación Regional Estacional

De la misma manera que para el caso anual, en las siguientes tablas se muestra la clasificación de los 20 modelos mediante el código tercilico para las mismas variables en los trimestres o estaciones establecidos. De ahí que, se pueda observar que los modelos no tienen la misma habilidad para representar todas las variables y las diferentes escalas de tiempo, por lo cual, se hacen unos mejores para ciertas variables y tiempos, más aún sobresale un grupo que representa adecuadamente la gran mayoría de variables tenidas en cuenta en sus distintos tiempos con respecto a todo el grupo de los 20 modelos.

Tabla 6. Clasificación de los 20 modelos a nivel regional para el DJF

MODELO	velocidad en superficie				presión a nivel del mar				viento_200hPa				viento_850hPa			
	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr
BCCRBCM2	12	6	1	10	8	5	5	5	19	11	6	14	4	10	14	10
CCMA-31	7	7	11	8	18	17	8	18	4	9	17	4	1	7	16	2
CCSM-30	19	19	19	19	2	7	9	6	2	4	13	3	16	18	10	18
CNRM-CM3	15	11	5	13	15	12	13	13	5	5	7	6	15	15	11	15
CSIRO-30	14	10	12	12	13	16	2	16	14	3	4	11	12	17	20	14
ECHO-G	3	13	13	3	6	2	6	3	10	12	19	7	2	1	5	1
FGOALS1G	16	16	16	15	9	6	4	7	16	14	15	15	5	2	3	3
GFDLCM20	4	2	8	4	11	13	17	11	1	2	8	1	6	9	17	6
GFDLCM21	5	12	14	9	10	15	18	9	7	7	9	5	11	13	19	11
GISS-EH	18	17	15	17	19	20	20	17	15	17	10	18	17	16	4	17
GISS-ER	17	15	9	16	20	19	19	20	18	20	11	20	19	14	2	16
INMCM-30	10	18	18	18	12	9	16	8	20	19	14	19	18	19	15	19
IPSL-CM4	11	5	6	7	16	10	11	12	11	18	20	12	13	11	13	13
MIROC-HI	8	8	3	11	5	8	1	14	9	13	16	13	10	6	7	7
MIROCMED	13	14	2	14	7	14	12	15	8	6	3	8	8	12	18	12
MPIECH-5	2	3	7	5	3	1	3	2	3	1	5	2	7	3	6	5
MRI-232A	6	9	17	2	4	4	14	1	6	10	12	9	14	5	1	8
NCARPCM1	20	20	20	20	17	18	10	19	17	15	2	17	20	20	8	20
UKHADCM3	9	4	4	6	14	11	15	10	13	16	18	16	9	4	9	4
UKHADGEM	1	1	10	1	1	3	7	4	12	8	1	10	3	8	12	9

De acuerdo a la clasificación de la Tabla 6 se encuentra que los modelos más representativos de los patrones de la circulación atmosférica para la estación de DJF corresponderían al MPIECH-5, ECHO—G, UKHADGEM, GFDLCM20 y MRI-232], mientras que el grupo de modelos con mayores errores y menores correlaciones, con respecto a los 20 modelos son GISS-EH, GISS-ER, INMCM-30 y NCARPCM1, aunque teniendo en cuenta que para éste último no se tienen datos de viento en superficie. El CCSM-30 que es el otro modelo del cual no se tiene datos de velocidad de viento a 10m, no se ubica en los últimos lugares de la clasificación sino del más bien en un lugar intermedio, sin embargo parece tener dificultades en el viento a 850 hPa

Tabla 7. Clasificación de los 20 modelos a nivel regional para MAM

MODELO	velocidad en superficie				presión a nivel del mar				viento_200hPa				viento_850hPa			
	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr
BCCRBCM2	11	11	15	7	4	1	1	3	18	17	17	18	7	6	4	6
CCMA-31	9	10	10	11	18	15	15	19	17	16	16	17	6	11	14	7
CCSM-30	19	19	19	19	11	17	18	16	15	12	6	16	17	18	15	18
CNRM-CM3	14	13	12	13	7	6	10	4	16	13	7	14	13	9	6	11
CSIRO-30	10	12	8	8	16	16	17	14	14	10	3	12	16	15	13	15
ECHO-G	5	6	7	4	13	7	3	11	13	11	14	13	3	3	1	4
FGOALS1G	17	16	14	16	9	10	12	5	6	2	2	4	9	7	2	8
GFDLCM20	7	5	9	6	10	4	2	9	9	6	9	6	11	12	16	10
GFDLCM21	13	14	13	14	15	13	9	15	4	1	4	3	15	16	17	16
GISS-EH	18	17	16	17	19	20	20	18	19	18	8	20	18	13	9	17
GISS-ER	16	15	4	15	17	19	19	17	11	14	12	15	14	10	10	12
INMCM-30	15	18	18	18	14	14	16	12	12	9	11	11	19	20	19	19
IPSL-CM4	12	7	2	10	6	8	5	10	3	19	20	10	10	17	20	14
MIROC-HI	4	4	5	5	1	3	13	1	5	15	19	7	5	5	12	5
MIROCMED	8	8	6	12	5	9	8	8	1	5	15	1	12	14	18	13
MPIECH-5	6	9	11	9	8	11	11	7	8	7	5	9	8	8	8	9
MRI-232A	1	3	17	1	2	2	4	2	10	8	13	8	2	1	7	1
NCARPCM1	20	20	20	20	20	18	14	20	20	20	18	19	20	19	3	20
UKHADCM3	3	2	1	3	12	12	6	13	2	4	10	2	4	4	11	3
UKHADGEM	2	1	3	2	3	5	7	6	7	3	1	5	1	2	5	2

Para el caso del trimestre MAM, que se muestra en la Tabla 7, se tendrían los modelos UKHADGEM, MRI-232A, UKHADCM3, ECHO—G y MIROC-HI, como los recomendados, entretanto GISS-ER, NCARPCM1, GISS-EH, CCSM-30 y el INMCM-30 no son indicados.

Tabla 8. Clasificación de los 20 modelos a nivel regional para JJA

MODELO	velocidad en superficie				presión a nivel del mar				viento_200hPa				viento_850hPa			
	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr
BCCRBCM2	6	8	14	6	16	10	3	15	1	1	3	1	8	7	4	7
CCMA-31	7	7	10	8	19	18	9	20	14	9	12	12	3	6	12	5
CCSM-30	19	19	19	19	10	11	13	11	18	18	17	17	12	14	15	15
CNRM-CM3	5	5	13	5	1	1	4	1	17	17	6	16	16	15	11	16
CSIRO-30	13	6	4	11	17	17	18	18	20	12	8	20	18	18	18	18
ECHO-G	14	12	3	13	12	14	15	13	10	16	19	11	11	9	2	10
FGOALS1G	18	17	17	18	14	8	6	12	9	10	14	7	9	12	8	11
GFDLCM20	4	4	8	4	6	5	7	5	3	2	11	2	7	11	13	8
GFDLCM21	9	9	12	9	7	9	12	8	8	5	1	6	15	16	16	12
GISS-EH	16	16	16	14	15	20	20	9	13	8	4	13	6	5	5	6
GISS-ER	17	14	5	15	18	19	19	17	6	14	13	14	14	8	6	9
INMCM-30	11	18	18	17	13	13	10	16	12	7	2	9	19	19	17	19
IPSL-CM4	12	10	9	10	9	7	8	10	15	20	20	18	10	17	19	17
MIROC-HI	10	13	11	12	3	12	17	4	4	15	18	8	13	13	14	14
MIROCMED	15	15	6	16	11	15	16	14	11	13	15	10	20	20	20	20
MPIECH-5	2	2	7	2	5	2	1	3	16	11	7	15	5	3	7	4
MRI-232A	8	11	15	7	4	4	14	2	7	6	10	5	4	4	10	3
NCARPCM1	20	20	20	20	20	16	11	19	19	19	16	19	17	10	3	13
UKHADCM3	3	3	2	3	8	6	5	7	2	3	9	3	2	2	9	2
UKHADGEM	1	1	1	1	2	3	2	6	5	4	5	4	1	1	1	1

En cuanto al caso de JJA, representado en la Tabla 8, se estima que el UKHADGEM, MPIECH-5, UKHADCM3, GFDLCM20 y MRI-232A, son los modelos que ocupan los primeros lugares de la clasificación y CSIRO-30, MIROCMED, NCARPCM1, CCSM-30, GISS-ER se sitúan en las últimas posiciones.

Tabla 9. Clasificación de los 20 modelos a nivel regional para SON

MODELO	velocidad en superficie				presión a nivel del mar				viento_200hPa				viento_850hPa			
	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr
BCCRBCM2	2	2	7	2	2	2	9	3	8	2	2	4	4	4	8	4
CCMA-31	11	11	16	11	18	13	5	17	9	5	9	5	5	13	16	9
CCSM-30	19	19	19	19	13	14	15	14	3	9	16	3	17	17	15	17
CNRM-CM3	4	5	3	4	4	8	16	2	17	10	8	17	12	8	2	11
CSIRO-30	15	6	12	13	16	17	13	19	19	15	13	16	19	18	18	19
ECHO-G	6	12	11	5	7	6	10	6	5	8	14	8	7	6	3	6
FGOALS1G	18	17	15	17	19	11	8	13	11	17	19	13	14	14	10	15
GFDLCM20	10	8	13	9	11	10	6	12	12	7	11	7	8	9	13	7
GFDLCM21	9	10	17	8	10	18	17	16	10	3	4	6	9	10	14	8
GISS-EH	13	15	1	12	15	20	20	11	14	14	5	15	11	7	9	10
GISS-ER	17	16	4	16	20	19	19	20	18	20	18	20	13	11	5	13
INMCM-30	12	18	18	18	14	15	12	15	20	16	1	18	16	19	19	20
IPSL-CM4	16	14	6	15	17	12	2	18	2	19	20	9	18	20	20	18
MIROC-HI	7	7	10	10	1	4	14	1	6	13	17	11	10	12	12	12
MIROCMED	14	13	9	14	9	7	3	8	4	4	10	2	15	16	17	14
MPIECH-5	3	3	14	3	5	3	7	5	13	6	3	12	3	3	1	3
MRI-232A	8	9	2	6	6	5	11	4	16	12	12	14	6	5	7	5
NCARPCM1	20	20	20	20	12	9	4	10	15	18	7	19	20	15	11	16
UKHADCM3	5	4	8	7	8	16	18	9	7	11	15	10	2	2	6	2
UKHADGEM	1	1	5	1	3	1	1	7	1	1	6	1	1	1	4	1

Por último, en el trimestre SON se clasifican como buenos, los modelos UKHADGEM, BCCRBCM2, MPIECH-5, ECHO-G y MRI-232A, y el INMCM-30, CCSM-30, IPSL-CM4, GISS-ER y CSIRO-30 corresponden a los modelos más deficientes.

Teniendo presente los cuatro trimestres y retomando el resultado de la clasificación a nivel anual, se puede expresar que hay algunos modelos que se encuentra en los primeros lugares de todas las selecciones, o por lo menos se dejó de mencionar solo en una escala de tiempo. Estos modelos corresponden al UKHADGEM, MRI-232A, MPIECH-5, ECHO-G y el UKHADCM3, que se deja de indicar en un grupo más, pero al igual es representativo.

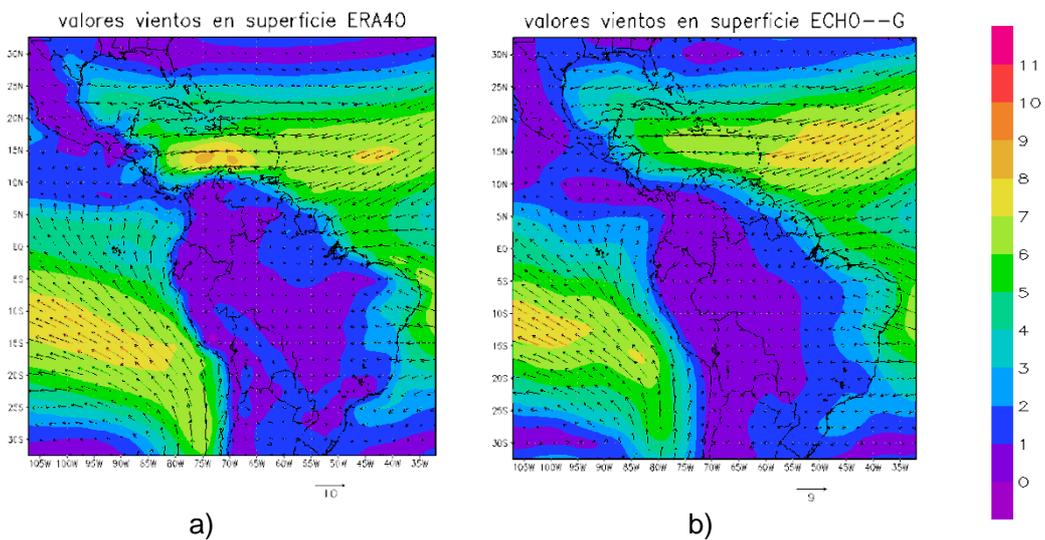
3.1.3 Distribución Espacial Anual

A continuación se muestran los mapas de la distribución espacial de intensidad y dirección del viento anual y el error medio (BIAS) para los modelos que son comunes y representativos en el tiempo anual y estacional, entre los que se encuentran el UKHADGEM, MRI-232A, MPECH-5, ECHO--G y el UKHADCM3. Los mapas de distribuciones para todos los modelos se pueden observar en los anexos A,B,0,D,E y F.

- Velocidad en Superficie

En la Figura 8 se grafica la dirección y la magnitud del viento anual en superficie obtenidos del reanálisis ERA-40 y de las simulaciones de los modelos, en donde se puede observar que los patrones de circulación son similares, diferenciándose principalmente por su magnitud que se logra observar mejor en la Figura 9, donde se representan las diferencias de cada uno de los modelos con respecto a la referencia.

La Figura 8 muestra la representación de los vientos predominantes del noreste y del sureste de la zona tropical, o bien los vientos alisios, que son conocidos por su persistencia y regularidad durante todo el año sobre el Ecuador. De la misma manera, se evidencia la presencia de las corrientes de chorro superficial del oeste o bien conocido como la corriente del Chocó, generada por los vientos provenientes del océano pacifico, responsable de la fuerte advección de humedad desde el océano pacifico hacia el interior de Colombia. Se observa además la corriente en chorro de bajo nivel de los llanos al norte de Suramérica y la presencia del anticiclón de pacifico sur.



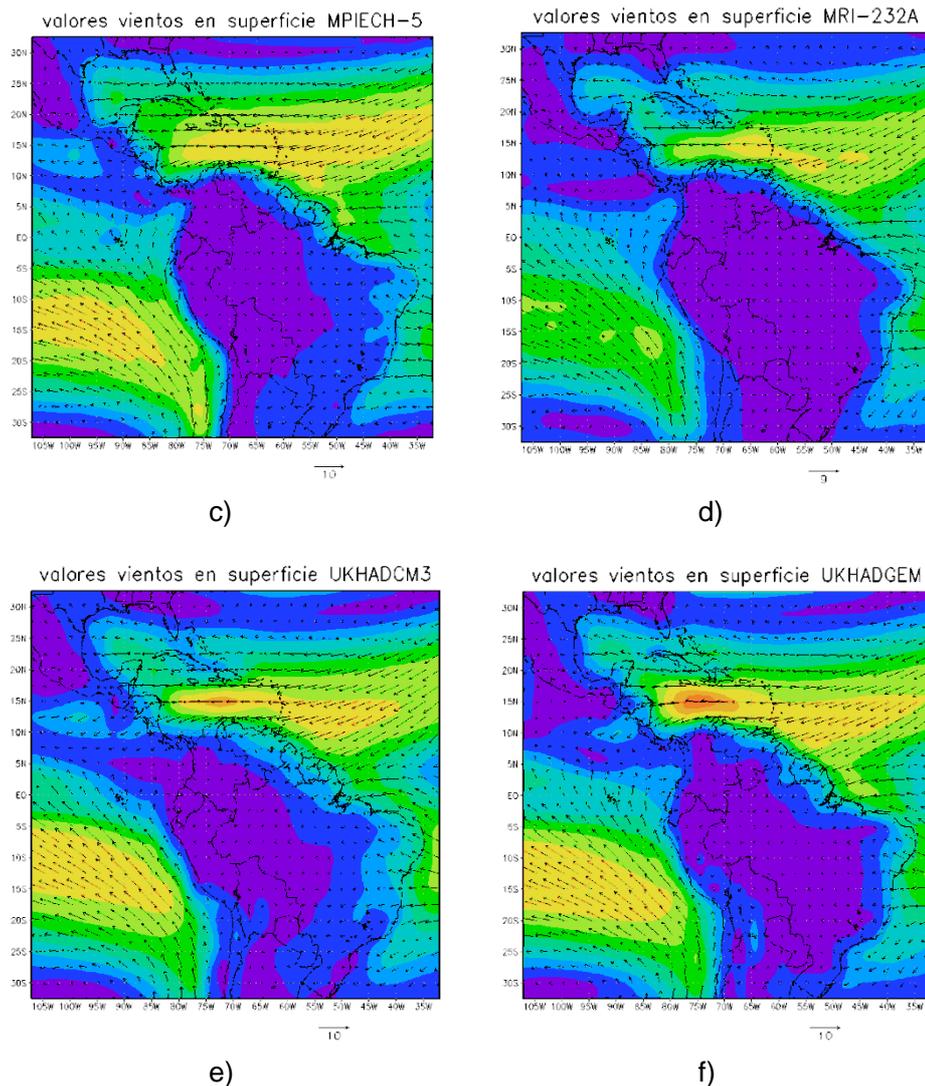


Figura 8. Distribución de la intensidad y dirección del viento en superficie promediada a nivel anual para el dominio regional.

La *Figura 9* indica las zonas en donde los modelos están sobrestimando la intensidad del viento con respecto a la referencia. El ECHO—G, MRI-232A y UKHADCM3 presentan valores por encima de lo observado en el pacífico sur, principalmente cerca de las costas de Suramérica. El MPIECH-5 y el UKHADGEM tienen las menores distribuciones de error. Si se comparan todos los modelos (anexo D) se puede advertir que los modelos con mayor distribución de error son el INMCM-30, GISS-EH, GISS-ER y el FGOALS1G y con menor error se encuentran el ECHO—G, UKHADGEM, MPIECH-5, BCCRBCM2, MIROC-HI, el MRI-232A, entre otros.

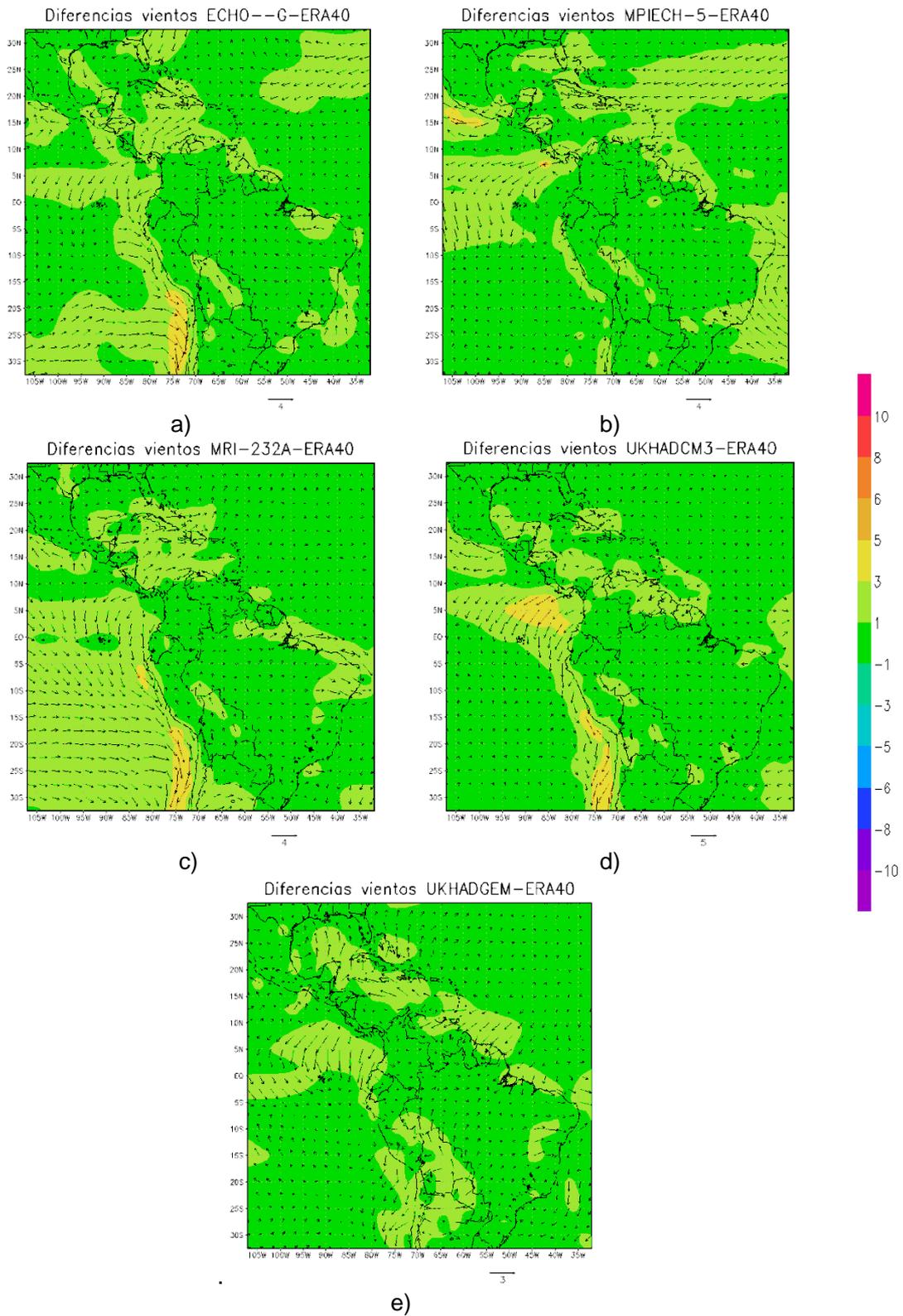
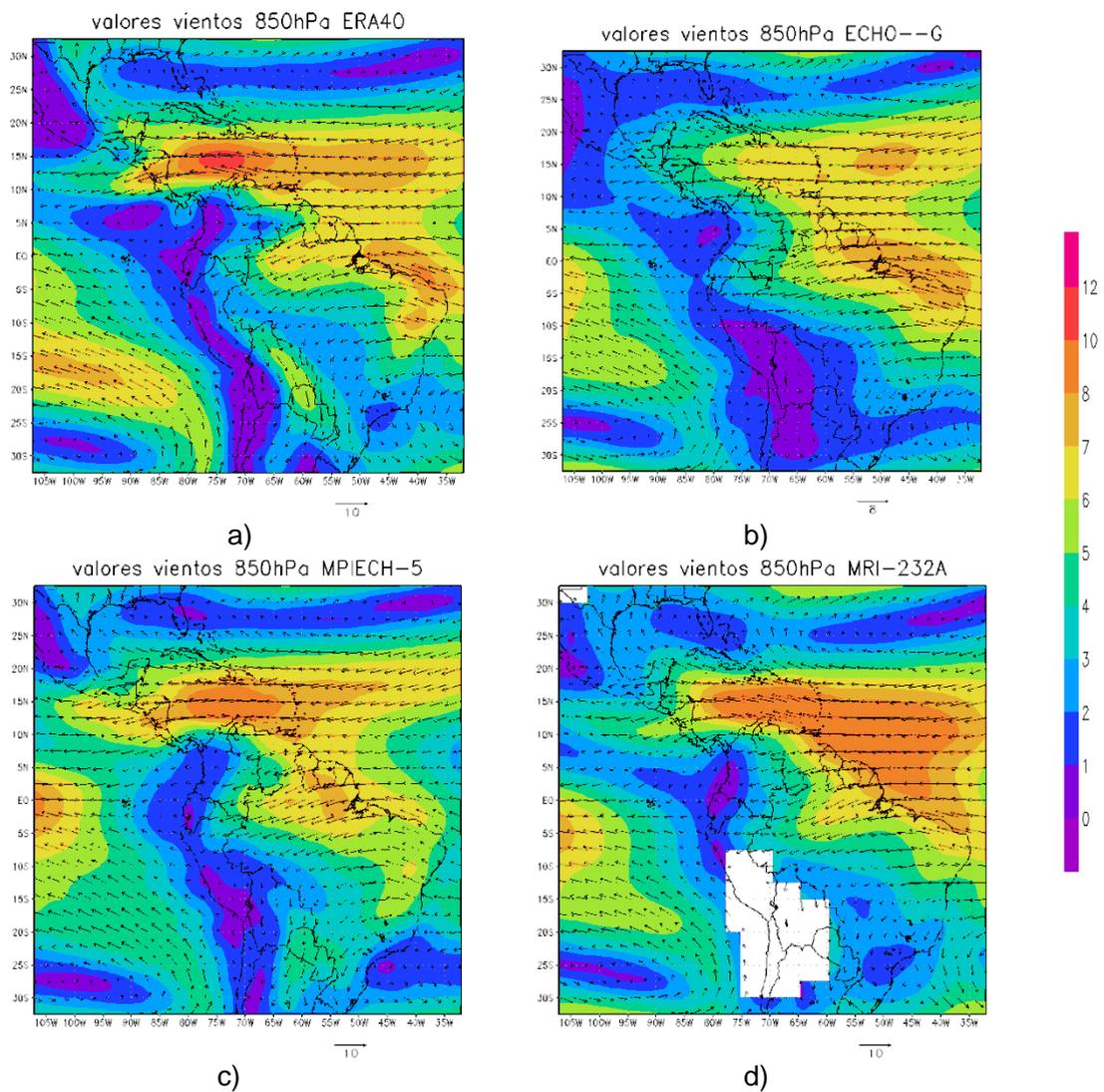


Figura 9. Error medio o sesgo del viento en superficie para el dominio regional.

- **Velocidad a 850hPa**

Para el caso de la distribución de la intensidad y dirección de viento en 850hPa, graficado en la Figura 10, se observan los anticiclones semipermanentes del pacifico sur y del Atlántico del norte. Se identifica el sistema de baja presión del pacifico sobre el litoral colombiano caracterizado por el recurvamiento de los vientos alisios del sureste, al norte del Ecuador, tomando direcciones del sur con componente oeste. La baja amazónica puede estar representada por el tipo de circulación simulada en la amazonia y el centro de Suramérica



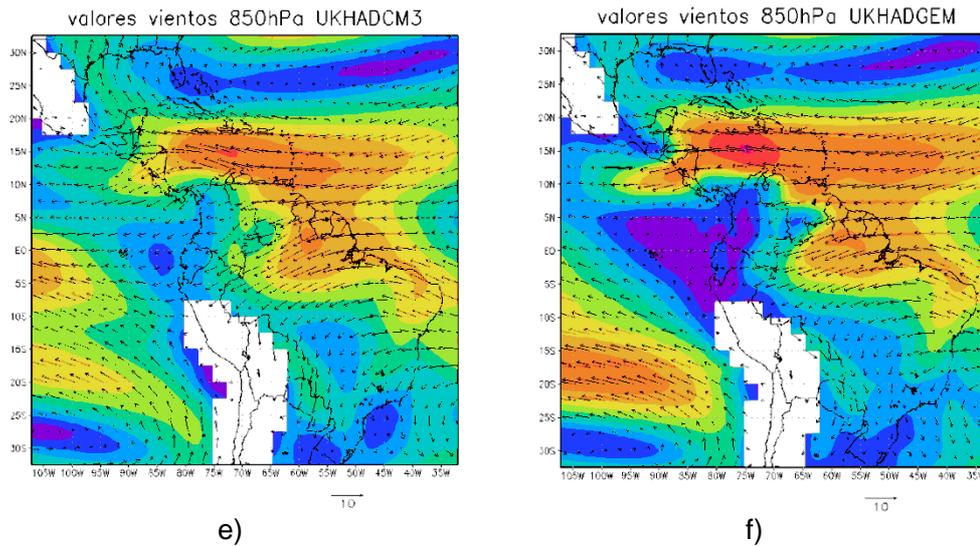
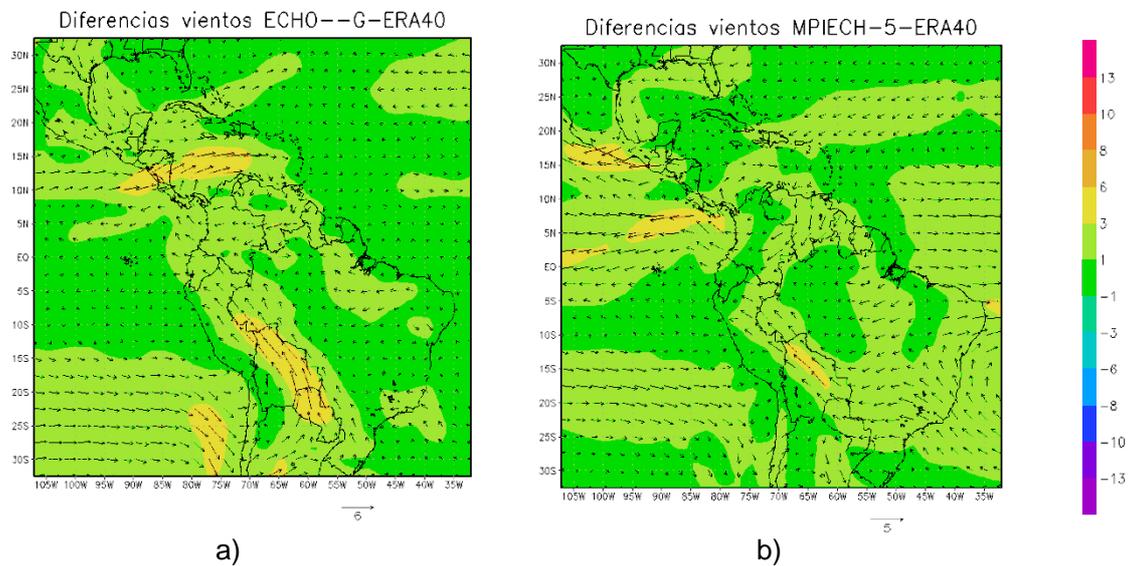


Figura 10. Distribución de la intensidad y dirección del viento a 850hPa promediada a nivel anual para el dominio regional.

La distribución del error medio de la intensidad del viento en 850hPa vista en la Figura 11, muestra menores valores con respecto al viento en superficie. Se observa sobrestimación en sectores del pacifico sur y sobre el occidente del continente suramericano con valores más altos, que están relacionados con la consideración de la orografía del modelo y para los casos de MRI-232A, UKHADCM3 y UKHADGEM no es posible simular algunos áreas de los Andes



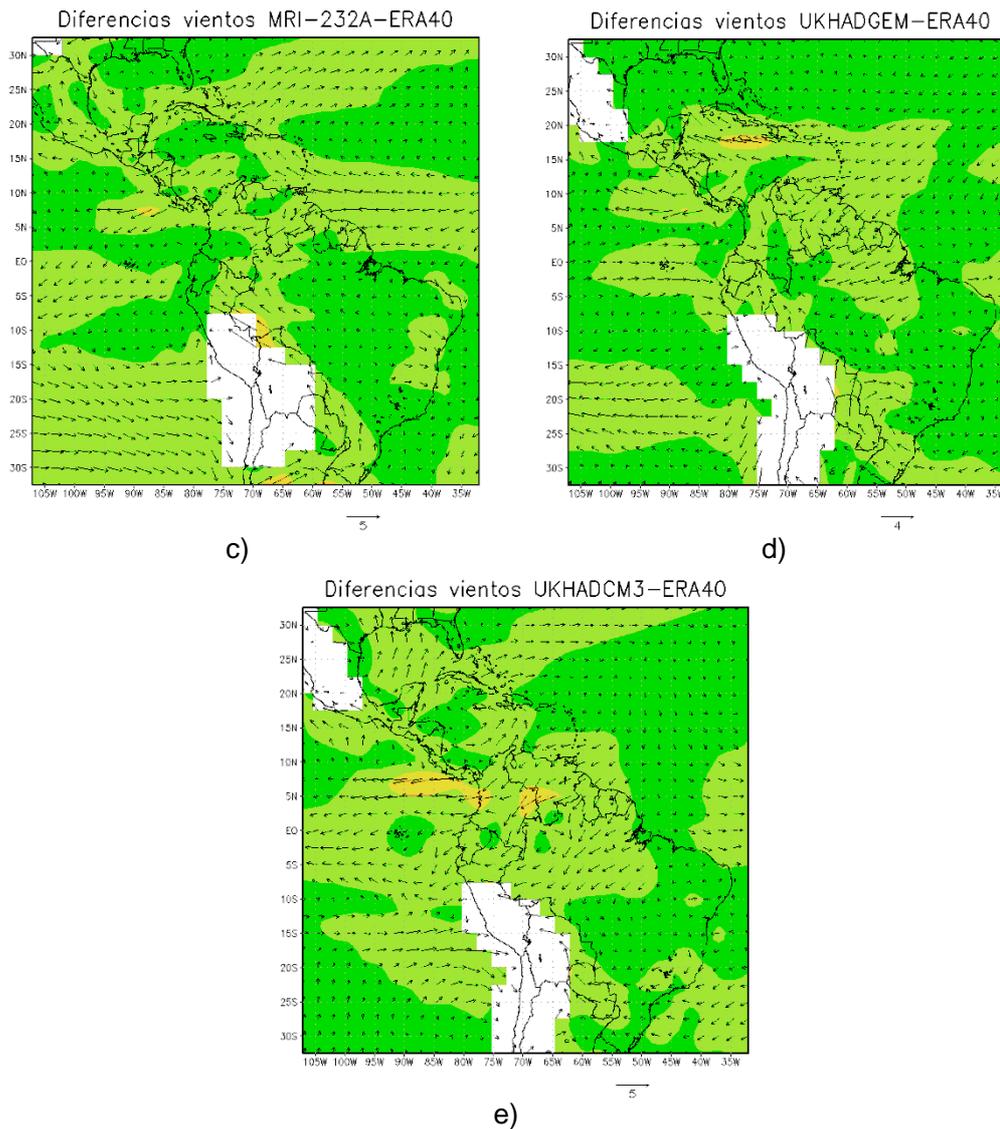
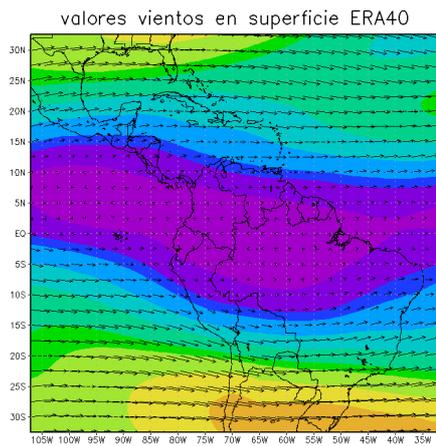


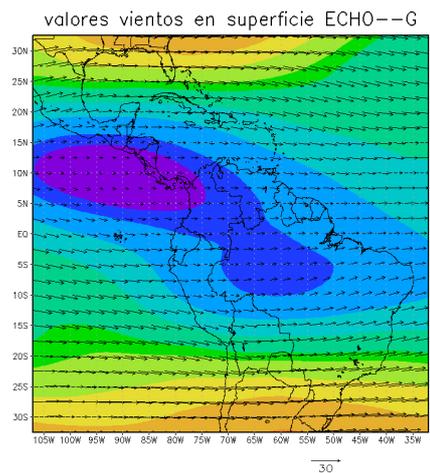
Figura 11. Error medio o sesgo del viento a 850hPa para el dominio regional

- **Velocidad a 200hPa**

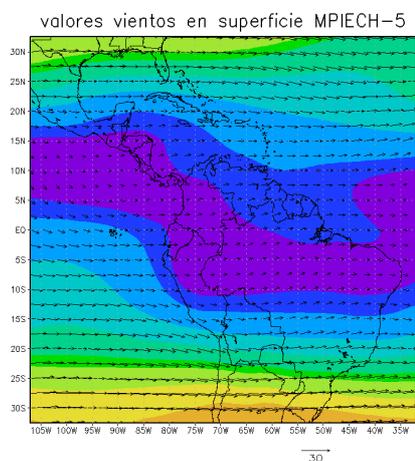
En los mapas de la distribución de la intensidad y dirección del viento al nivel de 200hPa (Figura 12) se pueden observar los vientos predominante del oeste con valores altos hacia latitudes medias y de menor magnitud sobre el trópico. La principal diferencia entre las simulaciones y la referencia está en la intensidad de los valores, pero el UKHADGEM tiene una disimilitud significativa en la dirección del viento sobre el sector Suramérica y el pacífico, que toma un sentido totalmente horizontal. El MPIECH-5 también tiene una tendencia a ubicar el vector paralelo en el mismo sector.



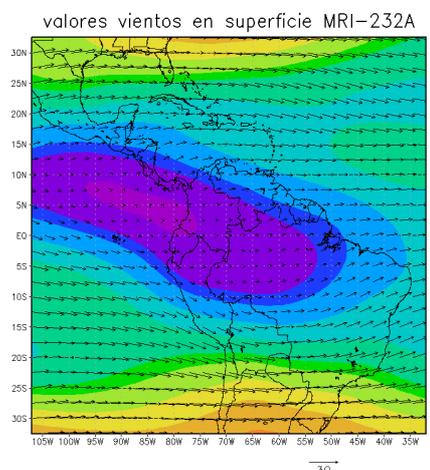
a)



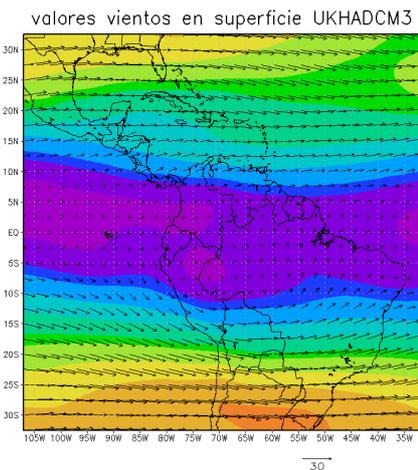
b)



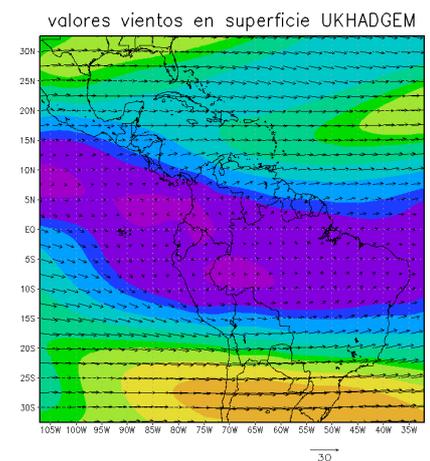
c)



d)



e)



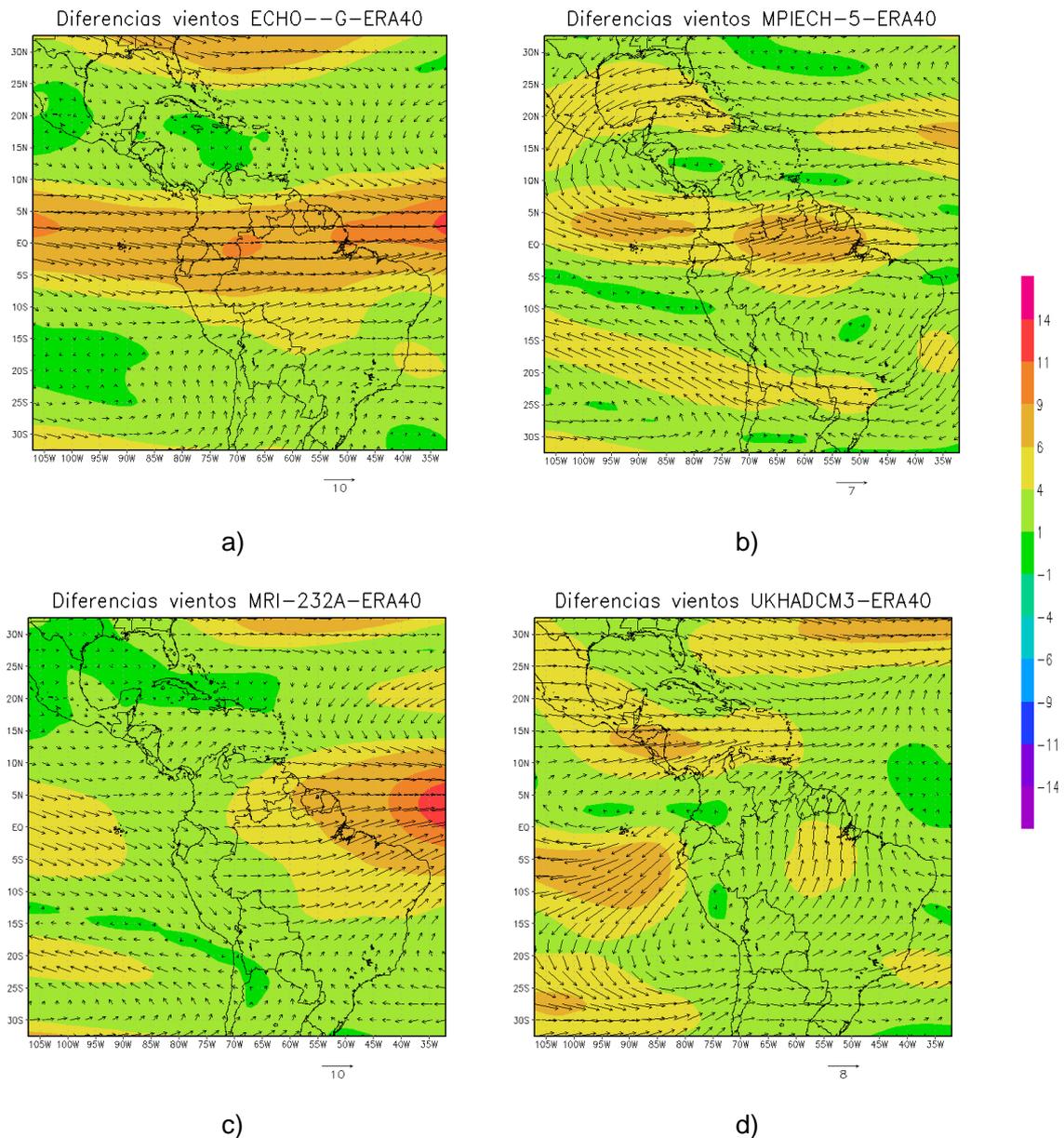
f)

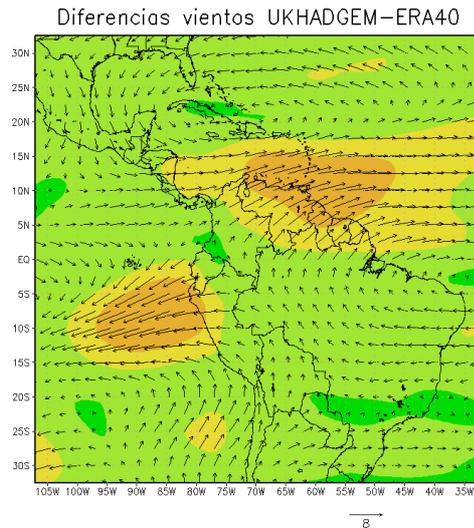


Figura 12. Distribución de la intensidad y dirección del viento en 200hPa

La diferencia en la intensidad del vector de velocidad en 200 hPa se presenta en general sobre el trópico donde se presentan las máximas sobrestimaciones. El modelo con mayor error es el ECHO—G y el menor el UKHADGEM.

Al comparar todos los modelos que se encuentran en el anexo F se puede observar que los modelos con menor error, además de los mostrados en la Figura 12 , están el MIROC MED y el GFDLCM21, mientras que lo que evidencian mayor error son: GISS-ER, GISS-EH, INMCM-30 y el IPSL_CM4.



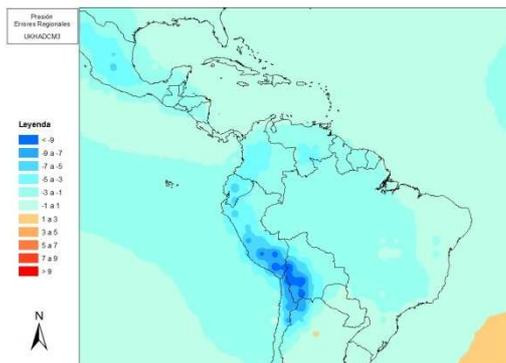


e)

Figura 13. Error medio del viento en 200hPa anual en el periodo de referencia de los modelos seleccionados a nivel nacional anual

- Presión al nivel del mar

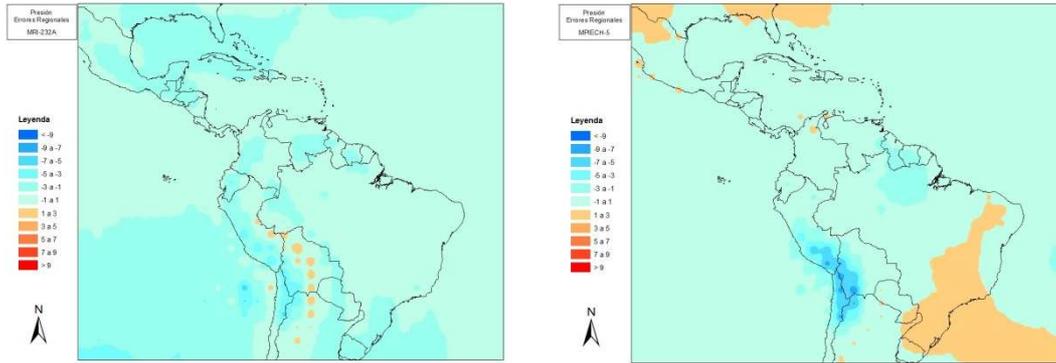
El error de la presión para los modelos seleccionados se observa en la *Figura 14* y aunque todos los modelos tienen una buena representación, el MPIECH-5 sobresale con respecto a los otros, ya que su distribución del error tiende a un valor mínimo sobre gran parte de la región.



a) UKHADCM3



b) ECHO--G



c) MRI-232A

d) MPIECH-5

Figura 14. Error medio de la presión anual en el periodo de referencia de los modelos seleccionados a nivel regional anual.

Teniendo en cuenta los modelos simulados anteriormente se puede observar que existe una tendencia a subestimar en cierto grado la zona del océano pacífico sur-oriental, importante en la dinámica de la atmósfera que influye sobre Colombia, pues abarca la región donde se ubica el sistema de alta presión subtropical junto a las costas de América del Sur, que llevan corrientes importantes para el clima nacional. Sectores continentales también están subestimados, mientras que el sector del Atlántico tiene una buena respuesta.

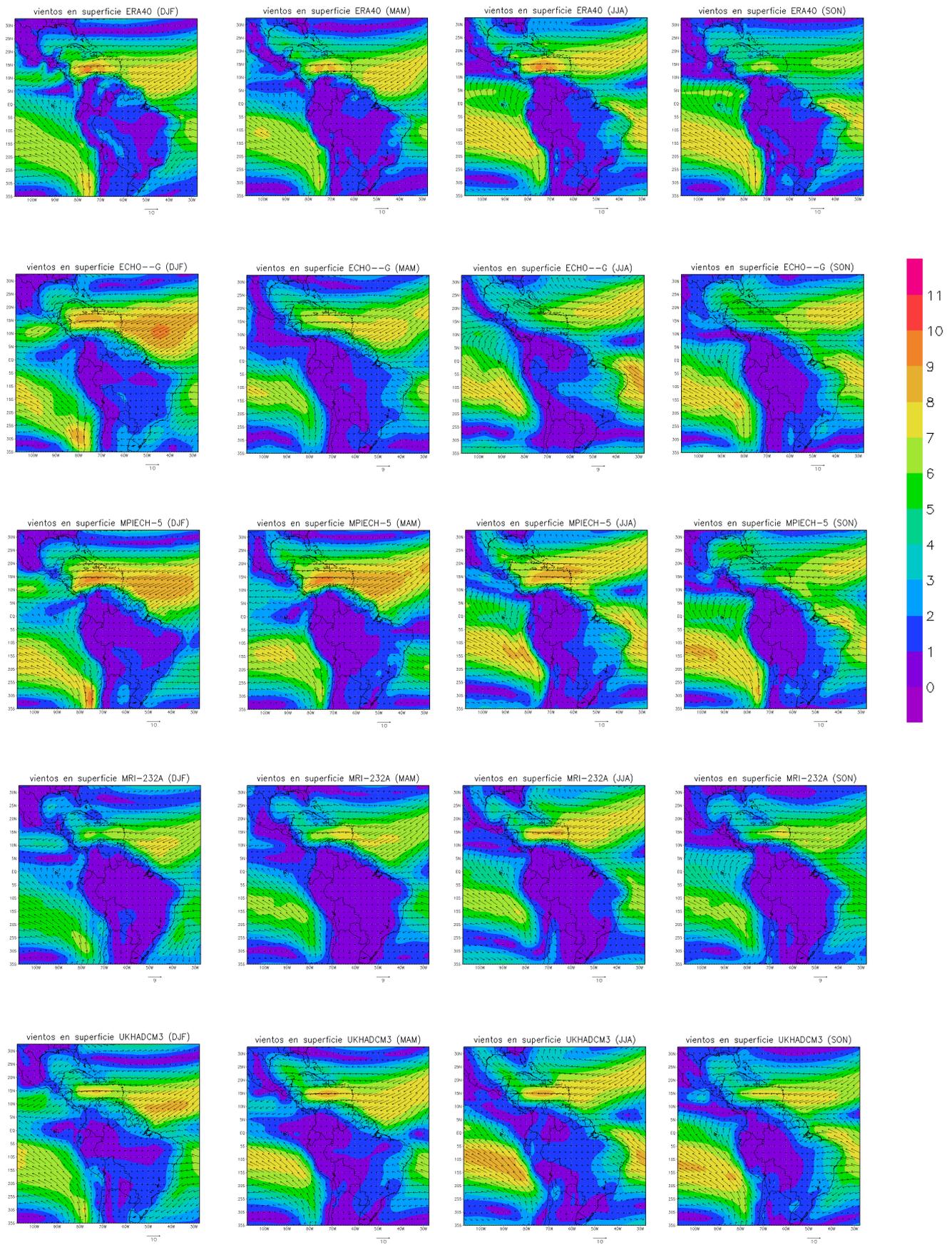
3.1.4 Distribución Espacial Estacional

- Velocidad en Superficie

Como en el caso anual, las diferencias en la simulación del viento en superficie con respecto a la referencia, están especialmente en la intensidad del viento, ya que los patrones de circulación son reproducidos por los diferentes modelos en las distintas estaciones (Figura 15), mostrando las variaciones de los diferentes sistemas reproducidos en el tiempo. Para el caso de la ZCIT se puede observar como en los meses de JJA se encuentra en la parte de arriba y en de DJF se ubica en su posición más baja, aunque algunos modelos lo representa mucho mas debajo de lo real, como el caso del ECHO—G, MPIECH-5 y el UKHADGEM.

En cuanto a la corriente en chorro del Chocó que se hace más intenso en el periodo de agosto a enero, los trimestres JJA y SON de la referencia ERA-40 muestran los mayores valores de viento provenientes del océano pacífico hacia Colombia. Esta característica no es reproducida por todos los modelos pero la representa bien el MPIECH-5 y el UKHADGEM.

En cuanto a la corriente de los llanos se muestra que la intensidad de la velocidad es mayor en las estaciones DJF y MAM, descendiendo para JJA y siendo mínimo en SON, característica que reproducen los modelos de la Figura 15, pero con grandes diferencias en magnitudes entre los trimestres del ERA-40 y los simulados.



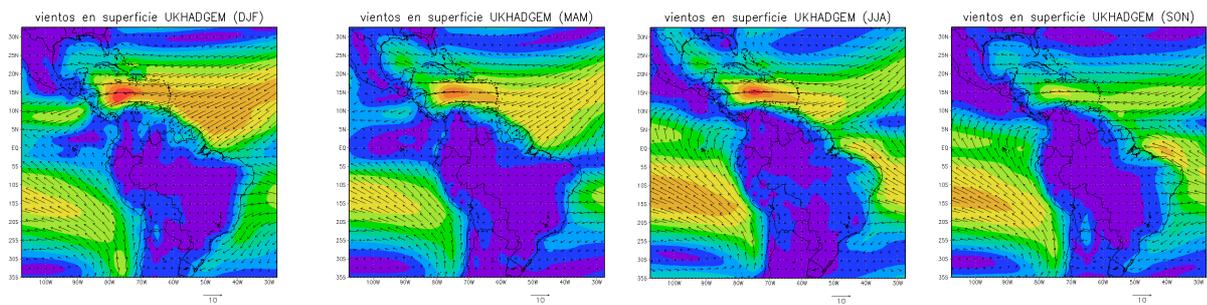
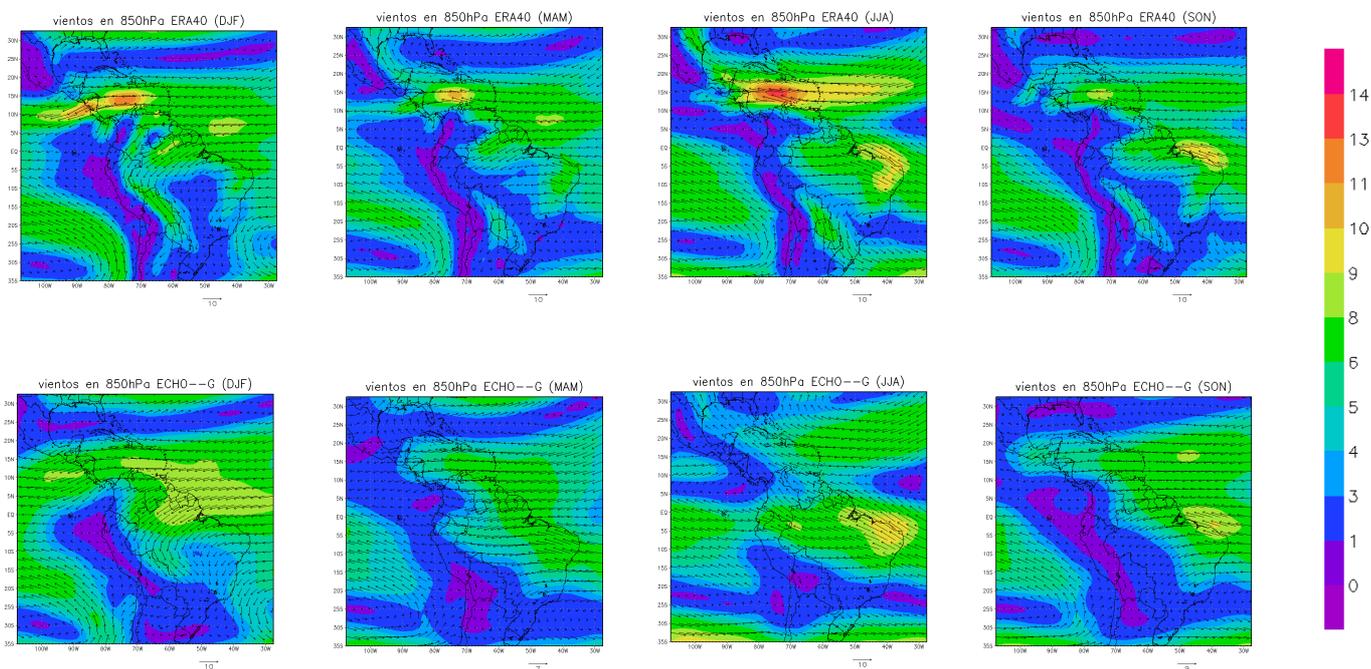


Figura 15. Vector e intensidad de viento en superficie en las cuatro estaciones señaladas para el dominio regional.

- Velocidad a 850 hPa

En la velocidad del viento a 850 hPa y de acuerdo a la Figura 16 se evidencia la característica del recurvamiento de los vientos alisos del sureste a vientos del suroeste, que da razón del sistema de baja presión del pacifico. Esta particularidad es representada por las simulaciones de los diferentes modelos pero con diferencias en magnitud.

De acuerdo a la Figura 16 el modelo más cercano a la distribución del viento en 850hPa con respecto al viento observado es la simulación del UKHADGEM.



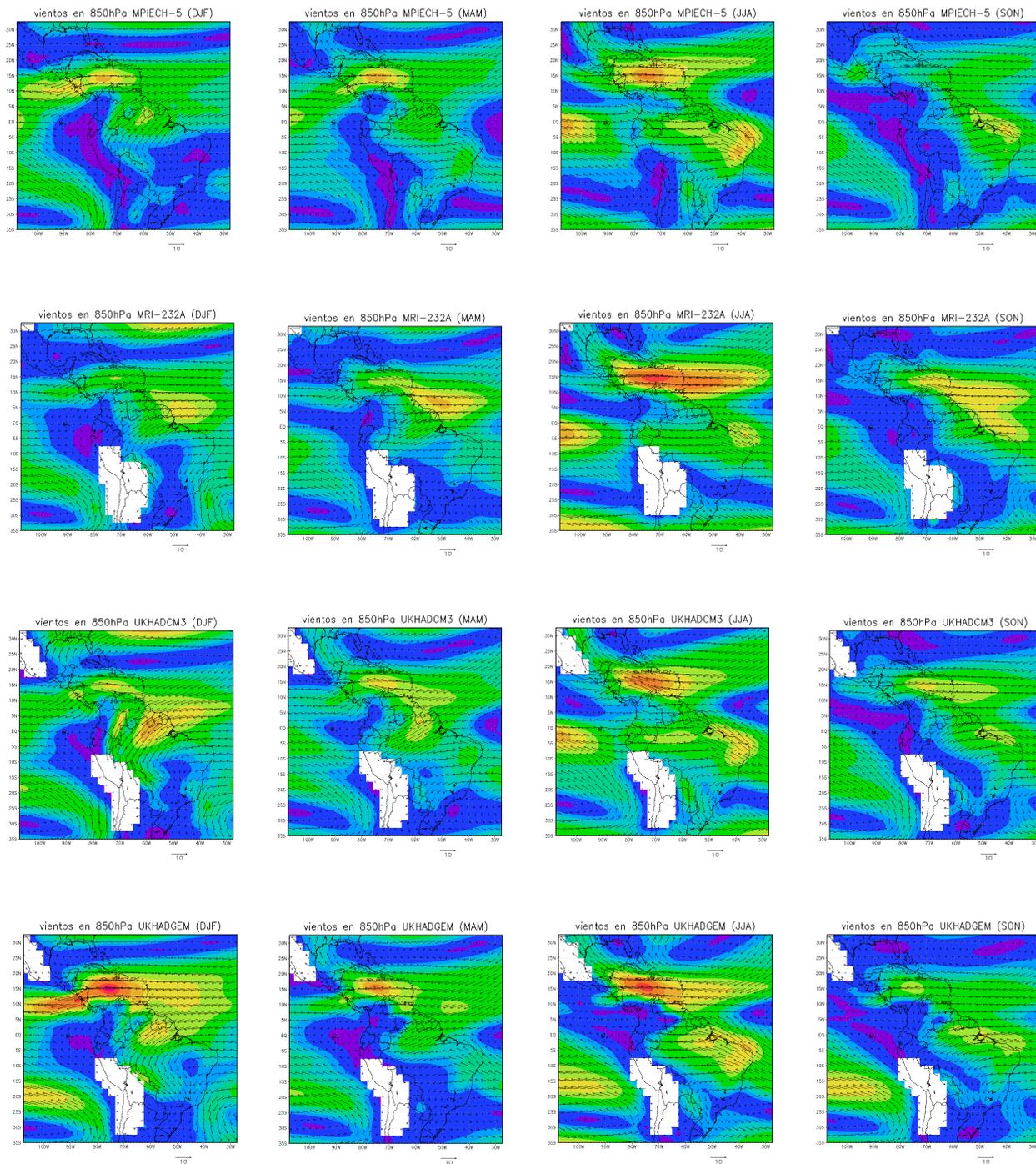
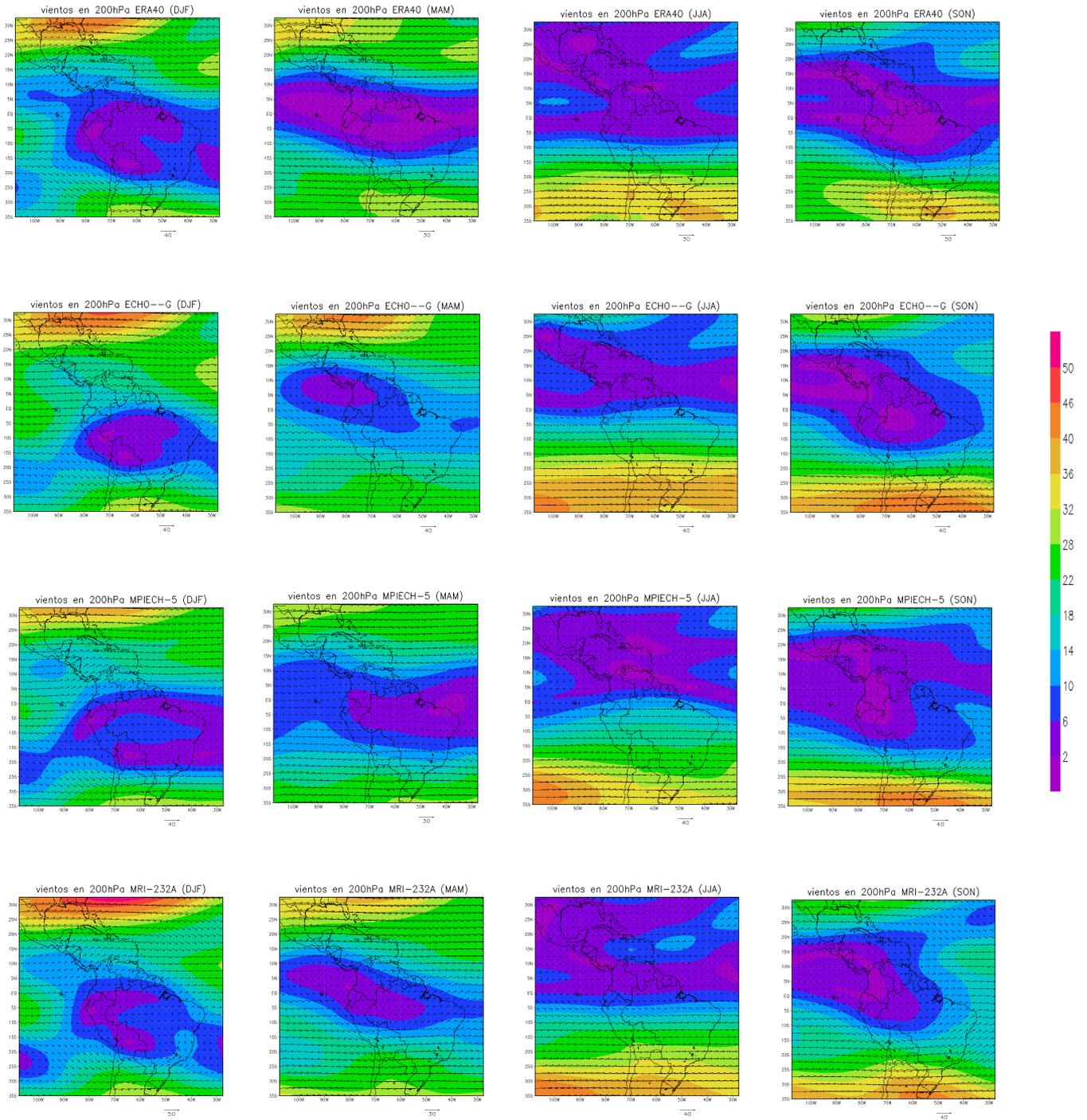


Figura 16. Vector e intensidad de viento a 850 hPa en las cuatro estaciones señaladas para el dominio regional.

- **Velocidad a 200hPa**

La Figura 17 muestra que los modelos simulan la disminución de la intensidad de la velocidad en el trimestre de JJA y es mayor para MAM. Los modelos más cercanos a la distribución del viento de referencia son el MPIECH-5 y el UKHADGEM.



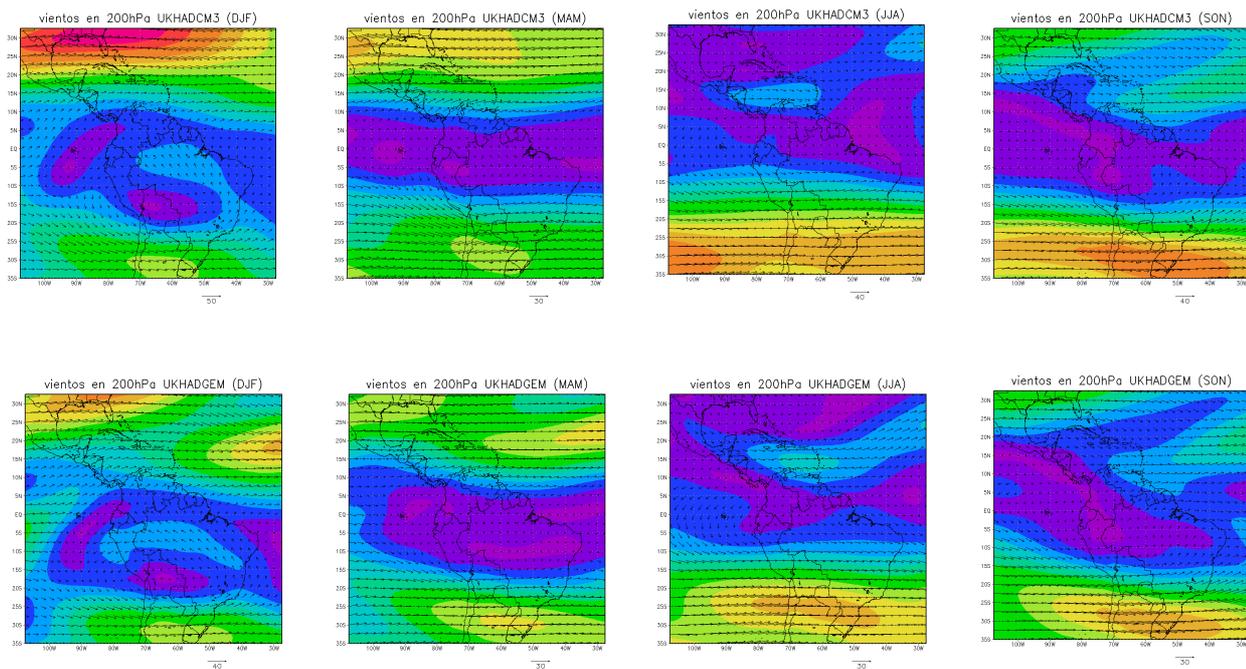


Figura 17. Vector e intensidad de viento a 200 hPa en las cuatro estaciones señaladas para el dominio regional

3.2 EVALUACIÓN DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN

Luego de una buena representación de los patrones de circulación atmosférica, se esperan buenos resultados en la simulación de la precipitación y la temperatura por parte de los modelos para una región definida. Para determinar tal apreciación, a continuación se llevará a cabo la evaluación de las variables ya anunciadas.

3.2.1 Evaluación Regional Anual

De la misma que para los campos de viento y presión se clasifica la habilidad de los modelos para representar las variables de temperatura y precipitación mediante los estadísticos establecidos. La

Tabla 10 sintetiza los resultados de esta distribución teniendo en cuenta ambos campos y el código tercílico, estableciendo como modelos adecuados el MPIECH-5, UKHADCM3, MODMED, ECHO---G, MRI-232A.

En el grupo de modelos, que no se recomienda, encontramos: el IPSL_CM4, INMCM-30, GISS—ER, NCARPCM1 Y CSIRO-30.

Tabla 10. Clasificación de los MCG a nivel regional anual a partir de los campos precipitación y temperatura.

MODELO	PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA			
	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr
BCCRBCM2	13	12	12	13	7	16	20	7
CCCMA-31	5	5	6	5	13	12	12	13
CCSM--30	16	16	19	14	8	4	4	8
CNRM-CM3	11	11	17	9	10	17	19	10
CSIRO-30	20	19	21	18	11	13	16	11
ECHO--G	2	2	8	1	9	7	7	9
FGOALS1G	14	9	4	10	14	8	6	17
GFDLCM20	8	7	11	6	6	9	13	6
GFDLCM21	15	10	10	12	15	10	9	14
GISS--EH	12	13	18	11	21	19	11	20
GISS--ER	18	17	14	17	20	18	2	21
INMCM-30	17	14	15	15	16	21	21	15
IPSL_CM4	19	18	16	19	19	20	15	19
MIROC-HI	10	15	7	16	5	5	10	5
MROCMED	9	8	13	8	17	15	17	16
MODMED	4	3	2	3	3	3	8	2
MPIECH-5	6	6	5	7	1	1	1	3
MRI-232A	3	4	9	4	12	6	5	12
NCARPCM1	21	21	1	21	18	14	14	18
UKHADCM3	1	1	3	2	4	2	3	4
UKHADGEM	7	20	20	20	2	11	18	1

Por otra parte, en la evaluación de precipitación y temperatura aparecen 21 modelos, ya que se ha considerado un modelo medio (MODMED) que representa el ensamble de todos los modelos. En este trabajo se estima tal ensamble como la simulación de las variables, implementando un promedio de todos los modelos.

El modelo medio puede llegar a ser una buena opción ya que los errores medios de cada modelo se pueden compensar con los de los otros, dando una mejor representación de la variable en estudio.

- Diagramas de Taylor Regional Anual

En la Figura 18 se representa el diagrama de Taylor para la precipitación y temperatura anual de todos los modelos y el modelo medio, referidos a los respectivos datos de referencia (proyectos CMAP y ERA-40). Comparando los diagramas de estas dos variables se puede apreciar que la precipitación tiene una mayor dispersión que la temperatura y evidencia una mayor aproximación de las simulaciones de los modelos de esta variable a lo real, con altos valores de correlaciones y error pequeño. Por su parte, las simulaciones de la precipitación se hacen con mayor error y menos similitud a lo real, lo cual reafirma la dificultad que tienen los MCG para representar la precipitación.

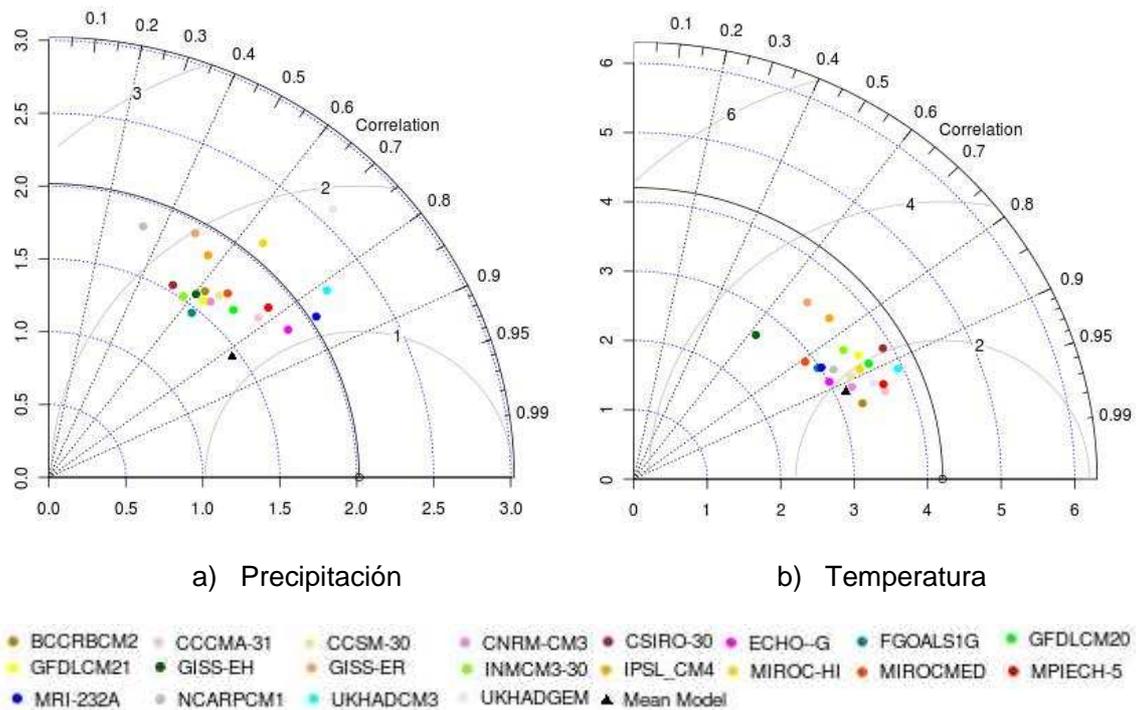


Figura 18. Diagramas de Taylor anual de precipitación y temperatura para el dominio regional

En la interpretación de los diagramas de Taylor es importante resaltar, que además de una alta correlación y bajo RMSE, la amplitud de las variaciones que simulan los modelos, (expresada por la desviación estándar), debe ser cercana al valor de los datos de referencia.

Para el caso de la representación de la precipitación que se muestra en, los modelos más próximos a lo real corresponderán a todos aquellos que tengan valores grandes de correlación y por tanto errores bajos, pero que de igual manera tengan una desviación estándar cercana a los 2,0 mm/día, que corresponde al valor observado. En este sentido, sobresalen los modelos: MRI-232A, ECHO—G, UKHADCM3, MPIECH-5 y el CCCMA-31. El modelo medio a pesar de tener una de las mayores correlaciones considera una desviación estándar muy baja. Los modelos como el NCARPCM1, GISS-EH, IPSL_CM4, entre otros, equivalen a simulaciones muy alejadas de lo observado.

Respecto a la simulación de la temperatura entre los más próximos a lo observado se encuentran UKHADCM3, MPIECH-5, UKHADGEM, CCCMA-31.

3.2.2 Evaluación Regional Estacional

En la Tabla 11 se resume la clasificación de los modelos en la representación de la precipitación y temperatura, reafirmando que en cada una de las estaciones establecidas el modelo simula de forma diferente las variables.

En el caso de la precipitación y temperatura las mejores representaciones en cada tiempo corresponden a:

Diciembre-enero-febrero: UKHADCM3, MODMED, FGOALS1G, MPIECH-5 y MRI-232A.

Marzo-abril-mayo: UKHADCM3, MODMED, MRI-232A, MIROC-HI y MPIECH-5.

Junio-julio-agosto: UKHADCM3, MODMED, ECHO--G, MRI-232A y CCSM-30.

Septiembre-octubre-noviembre: MPIECH-5, MODMED, UKHADCM3, MRI-232A.

Tabla 11. Clasificación de los MCG a nivel regional para los trimestres DJF y MAM a partir de los campos precipitación y temperatura.

MODELO	DJF								MAM							
	PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA				PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA			
	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr
BCCRBCM2	9	7	11	7	9	19	20	8	16	13	10	13	13	17	20	11
CCCMA-31	4	4	10	3	13	11	13	12	12	10	12	11	10	11	13	12
CCSM-30	15	17	15	16	7	4	5	6	17	16	20	14	8	4	5	7
CNRM-CM3	11	12	21	11	8	20	21	7	19	14	14	15	17	19	21	17
CSIRO-30	20	19	18	19	10	12	16	13	10	11	21	8	6	13	17	6
ECHO--G	8	10	1	10	19	9	7	17	11	9	2	10	9	7	7	10
FGOALS1G	3	1	3	1	12	7	8	9	9	7	8	7	14	9	10	13
GFDLCM20	7	6	13	6	6	16	19	10	3	3	11	3	7	16	18	8
GFDLCM21	12	11	5	12	11	13	15	16	6	5	7	6	12	14	14	16
GISS-EH	19	13	16	13	21	21	6	21	18	17	18	18	21	20	6	21
GISS-ER	17	16	19	14	20	17	1	20	15	15	13	16	19	15	3	19
INMCM-30	16	8	12	8	15	15	18	14	20	18	6	19	15	18	19	15
IPSL_CM4	16	16	20	16	17	14	9	19	13	19	19	17	18	12	8	18
MIROC-HI	13	15	8	17	3	5	11	3	7	8	1	9	4	5	11	3
MIROCMED	14	14	7	15	14	10	12	11	5	6	9	5	16	10	12	14
MODMED	5	3	2	5	5	3	10	4	2	1	3	1	5	3	9	5
MPIECH-5	10	9	9	9	2	1	2	2	14	12	17	12	1	1	1	1
MRI-232A	2	5	14	2	16	8	4	15	4	4	16	4	11	6	4	9
NCARPCM1	21	20	6	20	16	18	17	18	21	21	4	21	20	21	16	20
UKHADCM3	1	2	4	4	4	2	3	5	1	2	5	2	2	2	2	4
UKHADGEM	6	21	17	21	1	6	14	1	8	20	15	20	3	8	15	2

Tabla 12. Clasificación de los MCG a nivel regional para los trimestres JJA y SON a partir de los campos precipitación y temperatura

MODELO	JJA								SON							
	PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA				PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA			
	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr
BCCRBCM2	15	7	2	12	12	18	19	12	7	6	13	6	3	11	19	3
CCCMA-31	4	5	6	5	15	13	14	15	5	3	1	4	12	9	12	12
CCSM-30	14	12	19	7	6	2	3	5	16	16	15	14	9	4	2	9
CNRM-CM3	6	4	1	4	11	20	20	11	12	9	16	7	7	14	21	5
CSIRO-30	17	19	21	10	8	14	16	8	21	21	20	20	16	15	15	17
ECHO--G	11	8	3	14	7	5	6	6	11	8	10	8	8	8	14	8
FGOALS1G	16	15	14	15	17	11	8	17	19	15	6	17	17	12	6	15
GFDCM20	8	11	17	11	4	7	13	4	4	5	12	5	15	16	16	16
GFDCM21	19	18	18	18	13	8	9	13	6	10	9	10	18	19	5	20
GISS-EH	13	6	5	8	20	15	5	20	3	4	18	3	20	18	10	19
GISS-ER	20	13	4	17	21	19	1	21	20	19	14	19	21	21	1	21
INMCM-30	16	9	16	9	14	21	21	16	14	12	17	12	14	20	20	14
IPSL_CM4	10	16	15	16	18	12	11	18	18	18	21	15	19	17	9	18
MIROC-HI	12	17	12	19	9	9	12	9	13	14	7	16	6	7	13	6
MIROCMED	7	14	20	6	19	16	15	19	15	13	11	13	13	10	11	13
MODMED	1	1	10	1	2	4	10	3	2	1	2	2	4	2	8	4
MPIECH-5	9	10	13	13	1	1	2	1	1	2	5	1	1	1	7	1
MRI-232A	2	2	9	2	10	6	7	10	10	7	3	9	11	5	3	10
NCARPCM1	21	20	7	20	16	17	18	14	17	20	8	21	10	13	18	11
UKHADCM3	3	3	8	3	5	3	4	7	9	11	4	11	5	3	4	7
UKHADGEM	5	21	11	21	3	10	17	2	8	17	19	18	2	6	17	2

Teniendo presente los modelos representativos para precipitación y temperatura anual y considerando la selección por trimestres, entre los modelos más confiables se encuentran: UKHADCM3, MRI-232A, ECHO--G, MPIECH-5 y MODMED,

Aunque la selección de los modelos se puede hacer de acuerdo a las necesidades, los anteriores son recomendados para el caso de la precipitación y la temperatura considerando los tiempos anuales y estacionales.

Aunque la selección de los modelos se puede hacer de acuerdo a las necesidades, los anteriores son recomendados para el caso de la precipitación y la temperatura considerando los tiempos anuales y estacionales.

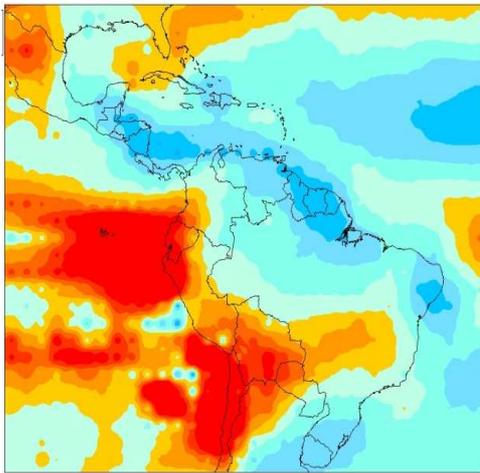
3.2.3 Distribución Espacial Regional

La distribución del error medio (BIAS) permite una exploración de los modelos globales, posibilitando visualizar la magnitud del error y las áreas donde el modelo excede o reduce los valores de cada variable con respecto a lo observado. De esta manera se presenta el error medio de la precipitación y temperatura para los modelos más representativos en el dominio indicado como regional, elegidos anteriormente.

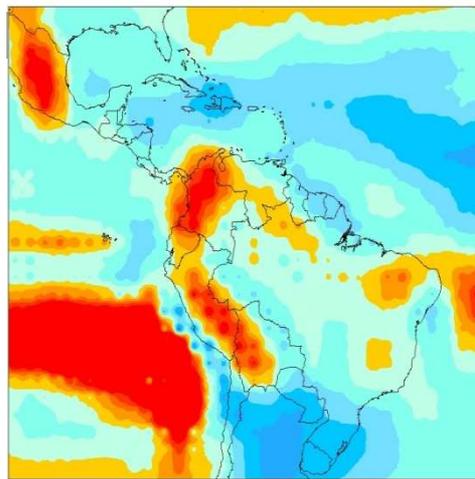
La Figura 19 permite visualizar las zonas en que los modelos señalados tienden a sobrestimar la precipitación, en general corresponde a zonas montañosas, como las cordilleras de los Andes de Suramérica, que llegan a valores entre 50% y 90% por encima de lo normal. De forma similar, el sector del océano pacífico sur frente a las costas de Suramérica, sobre el punto de localización del Anticiclón del Pacífico, aparece con un alto error, sobrestimando la precipitación (igual que parte del sector del océano Atlántico Sur). Esta figura también permite comparar los modelos, en ella, el MPIECH-5 muestra menos error en su distribución espacial, sin dejar de presentar errores importantes a considerar sobre el océano pacífico y parte del continente.

Igualmente se ha graficado el error medio del MODMED, donde se combinan los veinte modelos, y MODMED-selec promediando los modelos escogidos (UKHADCM3, MRI-232A,

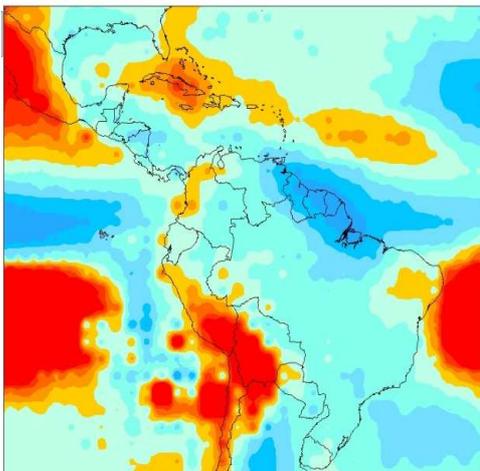
ECHO—G y MPIECH-5), con el fin de verificar si se optimiza la simulación con respecto a los modelos individuales. Siguiendo esta idea, tanto el MODMED como el MODMED-selec muestran una representatividad sobresaliente en algunos sectores de la región, evidenciando que es mejor combinar el grupo de modelos seleccionados. Al mismo tiempo, el MPIECH-5 mantiene una menor distribución del error que el conjunto de modelos.



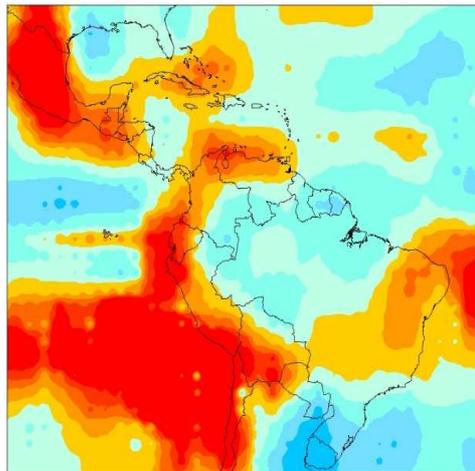
a) UKHADCM3



b) MRI-232A

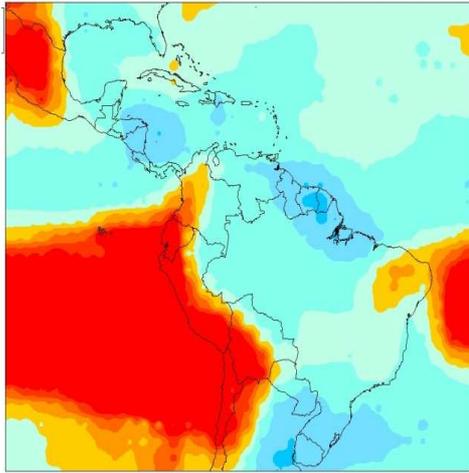


c) MPIECH-5

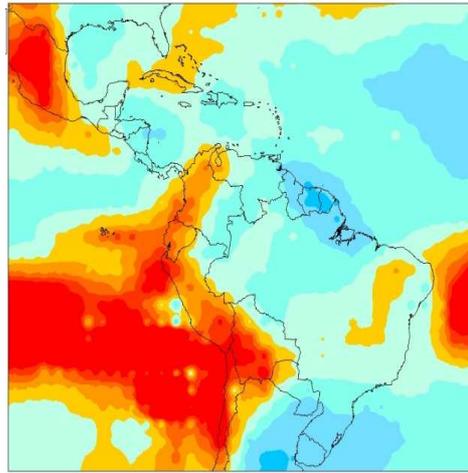


d) ECHO---G





e) MODMED

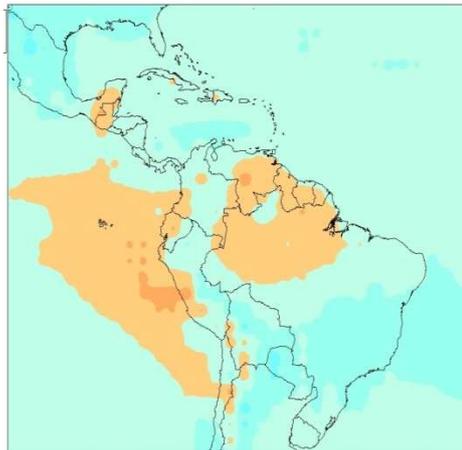


f) MODMED-selec

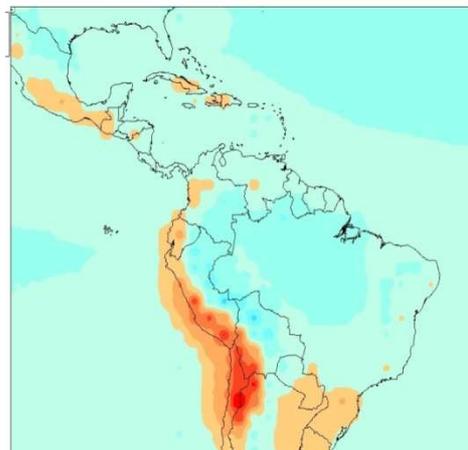
Figura 19. Error medio de la precipitación anual en el periodo de referencia de los modelos seleccionados a nivel regional anual

En cuanto a la temperatura, los errores son menores que en la precipitación. Se presentan sobrestimaciones en el pacifico sur donde la presión es moderadamente subestimada, como respuesta de su estrecha relación. Las costas del pacifico sur y sectores del continente tiene igualmente valores por encima de lo normal.

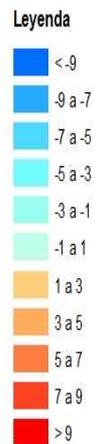
Existe una buena representación de los cuatro modelos, de lo cuales el MPIECH-5 presenta la menor distribución del error. Se evidencia un buen resultado al unir los modelos, especialmente los seleccionados para esta región.

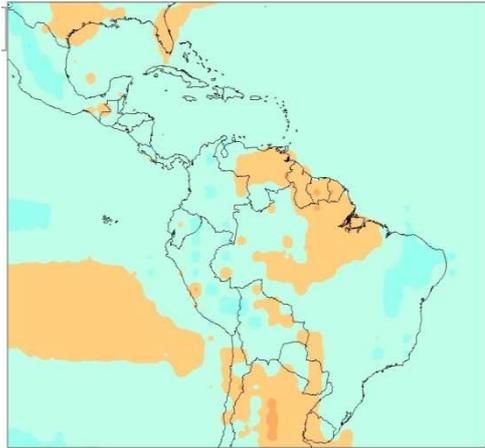


a) UKHADCM3

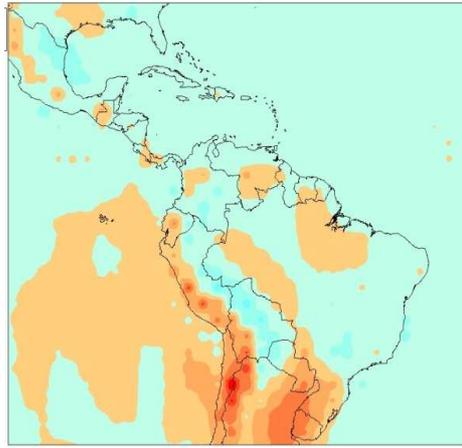


b) MRI-232A





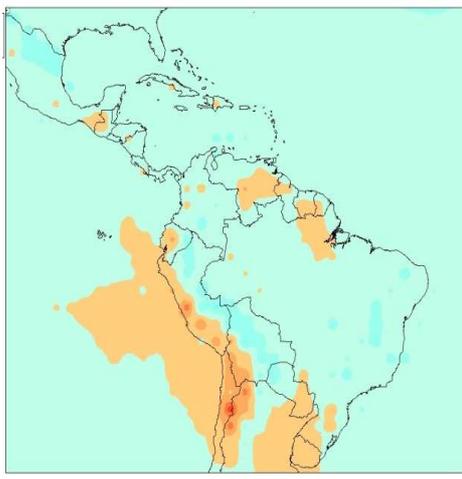
c) *MPIECH-5*



d) *ECHO---G*



e) *MODMED*



f) *MODMED selec*

Figura 20. Error medio de la temperatura anual en el periodo de referencia de los modelos seleccionados a nivel regional anual.

3.2.4 Evaluación Nacional Anual

Al evaluar los modelos a nivel nacional se identifica que los valores de las correlaciones se hacen menores, mientras que los errores se hacen mayores, con respecto a los resultados del dominio regional, en especial los de precipitación, por lo tanto, los modelos tienen una menor capacidad de representación de esta variable en esta área.

Tabla 13. Clasificación de los MCG a nivel nacional anual a partir de los campos precipitación y temperatura

MODELO	PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA			
	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr
BCCRBCM2	10	4	3	4	1	19	21	1
CCCMA-31	11	8	9	9	14	21	19	13
CCSM--30	5	12	20	8	18	10	5	17
CNRM-CM3	8	2	10	3	4	20	20	4
CSIRO-30	20	19	19	19	20	18	11	21
ECHO--G	7	3	13	2	9	3	2	9
FGOALS1G	16	14	5	15	13	15	15	15
GFDLCM20	17	15	12	16	8	8	14	8
GFDLCM21	18	16	16	14	17	12	9	18
GISS--EH	12	7	2	7	16	7	1	16
GISS--ER	14	9	8	11	19	11	8	19
INMCM-30	13	13	15	13	11	13	16	11
IPSL_CM4	21	20	7	20	21	16	4	20
MIROC-HI	6	18	18	18	6	9	17	5
MIROCMED	15	17	1	17	15	14	13	14
MODMED	9	6	4	6	5	5	10	6
MPIECH-5	1	1	11	1	2	1	3	2
MRI-232A	2	11	17	10	10	6	7	10
NCARPCM1	3	10	14	12	12	17	18	12
UKHADCM3	4	5	6	5	7	2	6	7
UKHADGEM	19	21	21	21	3	4	12	3

Teniendo en cuenta estas dos variables, y a partir de la Tabla 13 sobre el área nacional, las simulaciones con mayor “grado de ajuste”, fiabilidad y exactitud están dados por los modelos UKHADCM3, MPIECH-5, MODMED, ECHO—G y posiblemente el MRI-232A. Por el contrario, las habilidades más bajas entre todos los modelos las tienen el CSIRO-30, IPSL_CM4, FGOALS1G, GFDLCM21, entre otros.

- **Diagramas de Taylor Nacional**

Las simulaciones de la precipitación siguen mostrándose con mucha dispersión frente a los valores de observación, mientras que la temperatura se mantiene más uniforme entre las representaciones de todos los modelos y más cerca al punto de referencia. Además, a partir de la Figura 21 del diagrama de Taylor a nivel nacional y comparándola con Figura 18 del dominio regional, se evidencia una mayor dificultad de simular estas variables en un dominio más pequeño, en este caso el nacional, pues los puntos que representan las simulaciones de los modelos se hacen más lejanos de la referencia y más separados unos del otros.

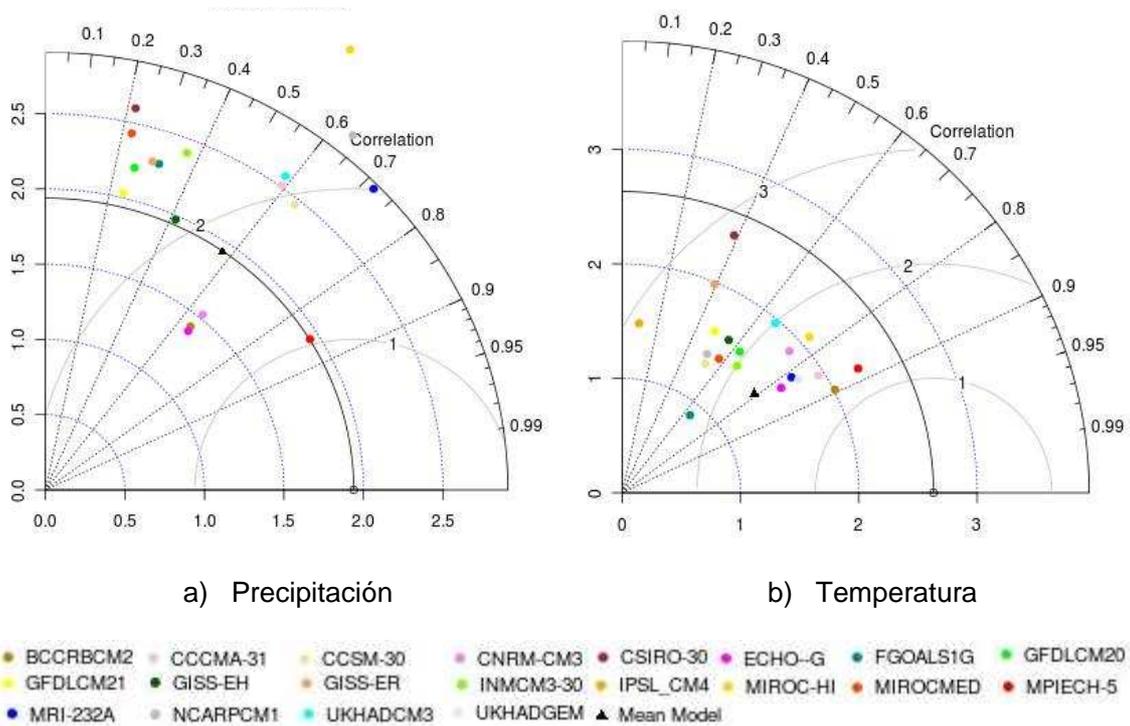


Figura 21. Diagramas de Taylor anual de precipitación y temperatura para el dominio nacional

De la Figura 21 sobresale, para los dos campos, el modelo MPIECH-5 que es el más próximo al punto de la observación. Además, tiene el mismo valor de la desviación estándar de la precipitación observada.

3.2.5 Evaluación Nacional Estacional

En el área nacional, de acuerdo a la Tabla 14 para el trimestre DJF resultan importantes los modelos MPIECH-5, UKHADCM3, MRI-232A, MODMED y ECHO—G, y para MAM sobresalen nuevamente el MPIECH-5, UKHADCM3 y el modelo promedio.

Tabla 14. Clasificación de los MCG a nivel nacional para las estaciones DJF y MAM a partir de los campos precipitación y temperatura

MODELO	DJF								MAM							
	PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA				PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA			
	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr
BCCRBCM2	13	6	13	5	2	19	21	2	6	2	2	5	2	19	21	3
CCCMA-31	14	11	18	9	11	20	19	10	16	14	8	14	12	20	19	13
CCSM--30	6	13	21	8	19	11	3	19	7	8	13	3	20	14	2	19
CNRM-CM3	9	7	17	2	7	21	20	8	8	3	4	6	5	18	20	5
CSIRO-30	20	19	19	18	20	18	8	21	10	12	1	13	17	17	15	21
ECHO--G	3	2	9	3	9	10	9	14	21	18	19	16	8	3	6	7
FGOALS1G	11	8	5	11	13	13	13	13	16	11	11	11	11	11	14	10
GFDLCM20	19	17	16	17	8	9	14	7	12	10	3	12	10	12	16	11
GFDLCM21	17	16	14	16	15	12	10	17	5	4	7	7	18	16	13	20
GISS--EH	10	5	1	7	17	6	2	15	11	7	5	9	15	9	4	15
GISS--ER	7	4	4	6	16	8	7	16	14	9	9	10	13	8	7	14
INMCM-30	15	15	8	15	18	16	17	18	13	15	14	15	14	15	17	12
IPSL_CM4	21	21	2	21	21	14	1	20	20	20	17	20	21	13	3	18
MIROC-HI	8	12	7	14	3	7	16	3	9	19	20	19	6	7	12	8
MIROCMED	18	18	15	19	12	15	15	11	15	16	15	18	18	10	9	16
MODMED	12	9	11	10	4	3	11	4	4	6	12	2	7	6	11	6
MPIECH-5	1	1	12	1	1	1	5	1	1	1	10	1	1	2	8	2
MRI-232A	2	3	3	4	10	5	6	9	17	17	18	17	9	5	1	9
NCARPCM1	4	14	20	13	14	17	18	12	2	5	6	8	19	21	18	17
UKHADCM3	5	10	10	12	5	2	4	5	3	13	16	4	4	1	5	4
UKHADGEM	16	20	6	20	6	4	12	6	19	21	21	21	3	4	10	1

Para el segundo semestre del año, en el trimestre JJA, aparecen en las primeras posiciones el modelo medio, MPIECH-5, MRI-232A, UKHADCM3 y posiblemente el CNRM-CM3 y BCCRBCM2, aunque sus RMSE y BIAS son altos con respecto al grupo (Tabla 15). De la misma manera, en SON se presentan nuevamente indicados como sobresalientes el MODMED, MPIECH-5 y UKHADCM3, y el CNRM-CM3 y BCCRBCM2 presenta la misma dificultad en sus RMSE y BIAS.

Tabla 15. Clasificación de los MCG a nivel nacional para los trimestres JJA y SON a partir de los campos precipitación y temperatura

MODELO	JJA								SON							
	PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA				PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA			
	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE-corr
BCCRBCM2	11	7	1	10	1	20	21	4	3	2	11	2	1	17	19	1
CCCMA-31	3	5	11	5	14	21	20	13	4	7	13	6	17	21	21	17
CCSM--30	8	16	17	14	21	16	7	21	7	12	14	12	15	9	5	14
CNRM-CM3	5	2	2	4	4	19	19	3	5	3	2	3	3	20	20	4
CSIRO-30	14	17	20	9	18	18	14	20	20	20	17	20	20	19	8	21
ECHO--G	19	11	4	16	17	8	1	16	8	5	15	5	10	4	2	9
FGOALS1G	21	15	8	17	13	12	10	15	18	10	1	11	16	15	18	16
GFDLCM20	13	13	15	11	7	7	12	7	14	14	10	14	9	10	14	10
GFDLCM21	10	10	19	6	16	13	9	17	16	15	12	15	18	18	1	20
GISS--EH	12	4	5	8	15	6	3	14	9	4	4	4	14	8	4	13
GISS--ER	20	12	12	13	20	14	6	19	17	8	6	9	19	14	7	18
INMCM-30	16	9	18	7	9	11	15	10	11	13	20	10	8	5	6	8
IPSL_CM4	15	20	3	20	19	10	4	18	21	19	16	19	21	16	10	19
MIROC-HI	4	19	13	19	6	9	16	6	6	18	19	16	6	11	16	6
MIROCMED	9	14	10	15	12	15	17	12	19	17	9	18	13	12	13	15
MODMED	6	3	6	3	5	4	11	5	10	6	5	7	5	2	12	5
MPIECH-5	2	6	16	2	2	1	2	1	1	1	7	1	2	1	3	2
MRI-232A	7	8	7	12	10	3	8	9	2	9	18	8	12	7	9	12
NCARPCM1	17	18	9	18	11	17	18	11	12	16	3	17	11	13	17	11
UKHADCM3	1	1	14	1	8	2	5	8	15	11	8	13	7	6	11	7
UKHADGEM	18	21	21	21	3	5	13	2	13	21	21	21	4	3	15	3

3.2.6 Evaluación Nacional Mensual

El análisis a nivel mensual se realizó para las variables de precipitación y temperatura por separado, de lo cual se encontró, que en el primero, los modelos representan cada mes con grandes diferencias, por tanto unos tienen mayor capacidad para estimar unos meses que otros. Más aun, gran parte de los modelos seleccionados a nivel anual y estacional mantienen posiciones representativas en un porcentaje considerable del año.

Los meses con mayor dificultad de simulación para los modelos a nivel nacional son agosto y septiembre. Teniendo presente esto, y buscando los modelos que simulen la gran mayoría de meses de manera adecuada la precipitación, se consideraría un grupo conveniente: el BCCRBCM2, CNRM-CM3, GISS-EH, MPIECH-5 y el UKHANCM3. De los modelos escogidos anualmente El ECHO---G presenta muy bajas correlaciones en la mayoría de los meses del año, exceptuando enero y febrero. EL MRI-232A baja su representatividad a nivel mensual para febrero, marzo, abril y mayo.

En cuanto a la temperatura, los modelos presentan menos dificultad para simular la temperatura que la precipitación, como se ha evidenciado a nivel anual y estacional. Los meses con correlaciones más bajas son febrero, marzo, abril y mayo. El grupo de modelos recomendados en el tiempo anual y estacional tienen una buena representatividad para todos los meses, exceptuando el ECHO---G que presenta bajas correlaciones y altos errores en los meses de julio, agosto y septiembre.

Por lo tanto, para esta variable a nivel nacional mensual se destacan: MRI-232A, MPIECH-5, UKHANDCM3 y el UKHANDGEM.

3.2.7 Distribución Espacial Nacional

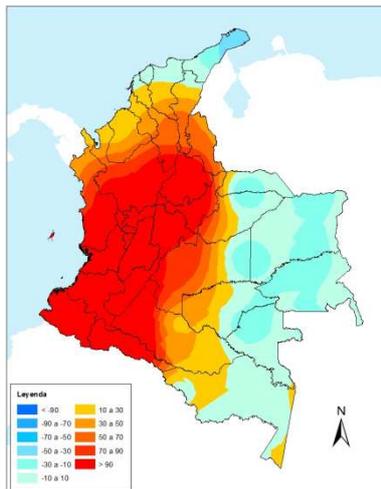
Si se hace un recuento de la selección de los modelos en el área nacional para los diferentes periodos de tiempo anual, estacional y mensual, los modelos más relevantes conjuntamente corresponden a: UKHADCM3, MPIECH5, MODMED, ECHO—G y el MRI-232A. Para estos modelos se ha graficado la distribución del error medio o BIAS, incluyendo el BCCRBCM2 y CNRM-CM3, que aparecen repetidamente en algunos trimestres y meses. De la misma manera se grafica el error del MODMED.

En la Figura 22 se muestra espacialmente la distribución del error anual de cada uno de los modelos seleccionados a nivel nacional para representar la precipitación. La comparación general con todos los modelos para sectorizar la distribución del error se hace difícil, ya que varía mucho sobre todo el territorio nacional. Si se observa el modelo MRI-232A, las regiones más sobrestimadas corresponden al sector del Pacífico y la región Andina y en menor proporción el Caribe, mientras que la Amazonia presenta una infraestimación. El ECHO—G, por su parte, presenta un mayor error sobre el Caribe que sobre el Pacífico y la región Andina. En general se puede visualizar que los modelos tienden a presentar errores positivos hacia el norte, centro y occidente del país, sectores que incluyen las costas del pacífico, del Caribe y la región Andina, mientras que tienden a mostrar errores negativos hacia el oriente y sur del territorio nacional, que comprende la Amazonia y sectores de la Orinoquia.

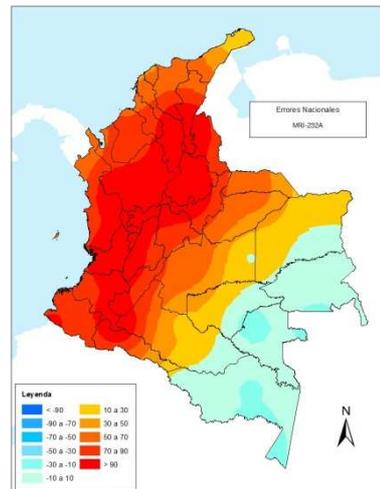
Los modelos que presentan la distribución del error con mayor levedad, para la precipitación son el MPIECH-5, este disminuye en gran porcentaje el error sobre la región

del Caribe, Pacífico y partes de la Andina, y el CNRM-CM3, que aunque bien, sobrestima las regiones ya mencionadas, lo hace en menor proporción.

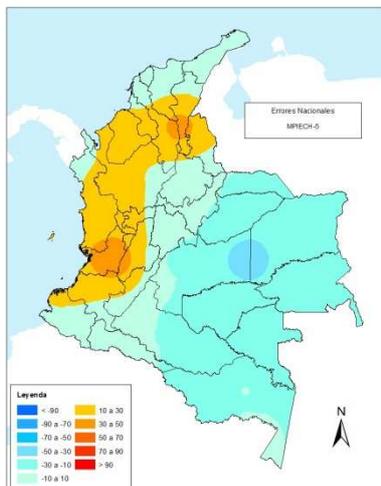
Los errores de los modelos promediados para la precipitación muestran que la distribución del error sigue variando en un alto nivel sobre el país y que continua presentando errores en los sectores que incluyen las costas del pacifico, del Caribe y la región Andina, y errores negativos hacia el oriente y sur del territorio. Aunque el modelo medio de todos los modelos reduce la sobreestimación en la región Caribe.



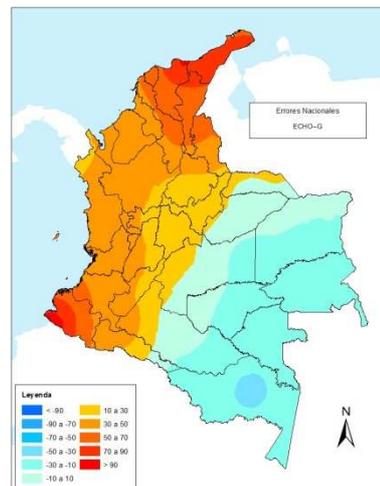
a) UKHADCM3



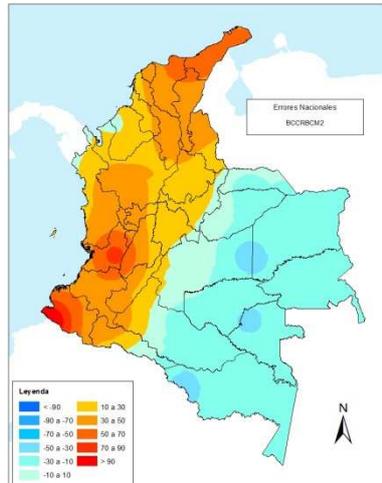
b) MRI-232A



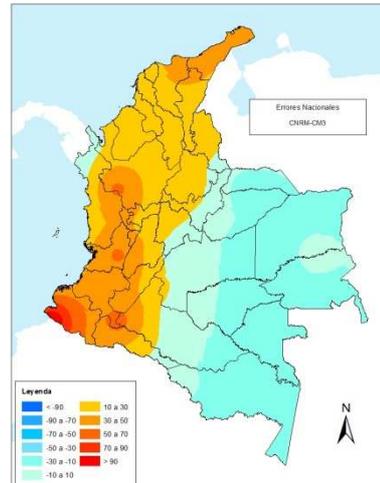
c) MPIECH-5



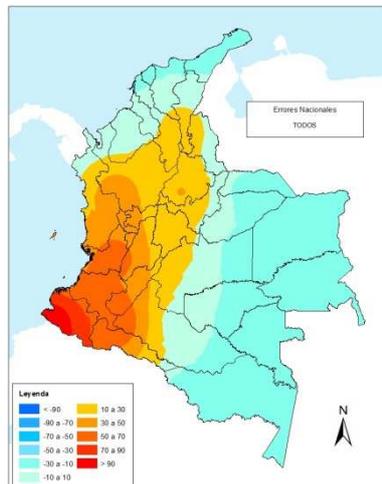
d) ECHO---G



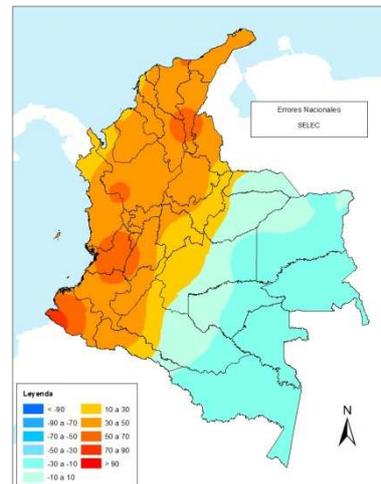
e) BCCRBCM2



f) CNRM-CM3



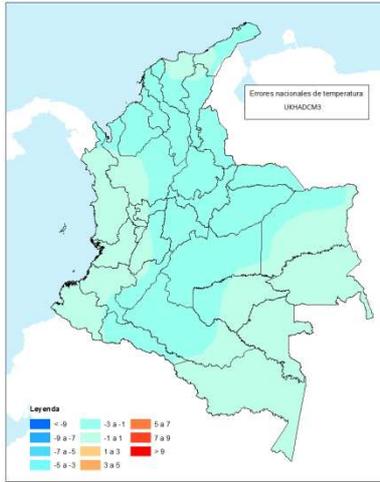
g) MODMED



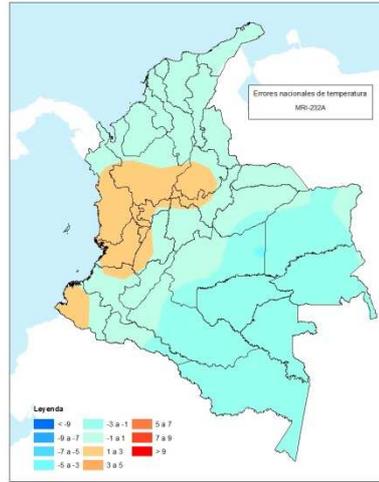
h) MODMED-selec

Figura 22. Error medio de la precipitación anual en el periodo de referencia de los modelos seleccionados a nivel nacional anual.

La distribución del error a nivel nacional anual para la temperatura se puede ver en la Figura 23 en donde se muestra una buena representación de los modelos en general. En el caso del MRI-232A y ECHO—G se presenta un error positivo en sectores del pacifico y centro de la región Andina y pequeñas subestimaciones hacia el sur y oriente del país, marcado con mayor intensidad en el MRI-232A. Los modelos *BCCRBCM2* y *CNRM-CM3* muestran un error negativo sobre gran parte de Colombia, aunque en pequeña magnitud. El *UKHADCM3* muestra también bajas infraestimaciones sobre la región Andina y partes del Caribe, mientras que el *MPIECH-5* muestra un error positivo en un sector de la Orinoquia.



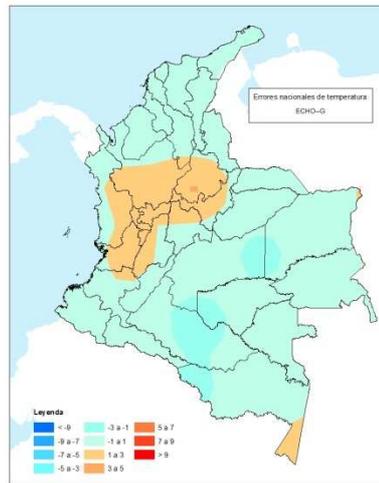
a) UKHADCM3



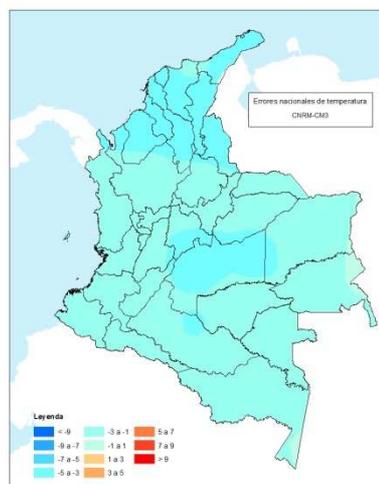
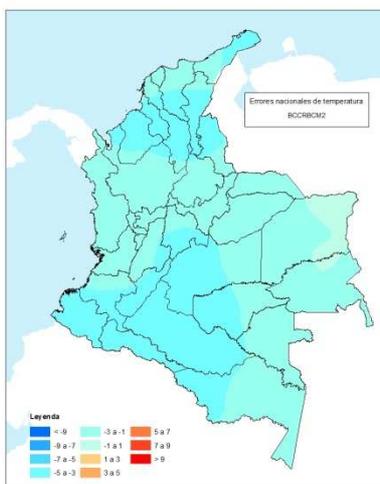
b) MRI-232A



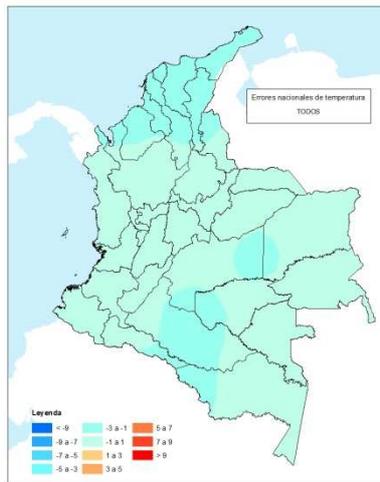
c) MPIECH-5



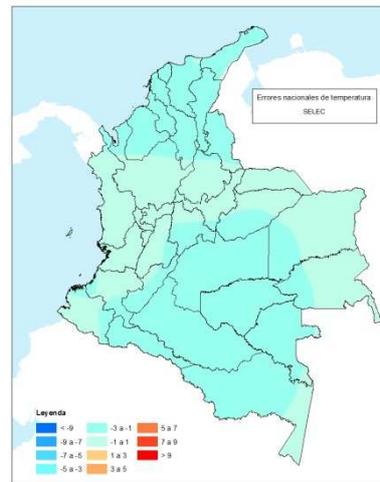
d) ECHO-G



e) BCCRBCM2



f) CNRM-CM3



MODMED

MODMED-selec

Figura 23. Error medio de la temperatura anual en el periodo de referencia de los modelos seleccionados a nivel nacional anual.

Los errores de los modelos como conjunto para la temperatura a nivel nacional anual, mejoran con respecto a algunos modelos, y se hace más representativo con los veinte. Además, la distribución del error para el otro conjunto o individualmente, también es buena.

3.3 PROMEDIO DE ESTADÍSTICO

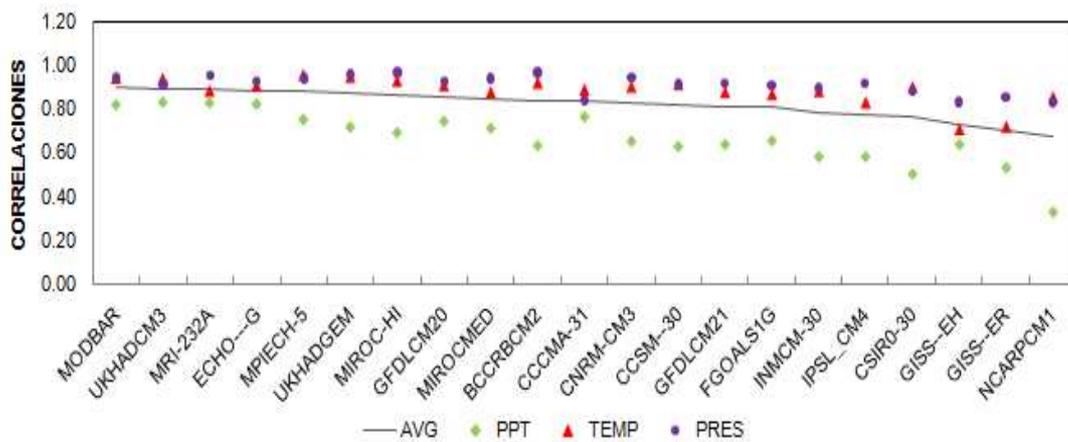
3.3.1 Promedio Regional Anual

A continuación se muestra el promedio de los resultados de los estadísticos de cada modelo en el dominio regional - anual. En la se representan los valores de los estadísticos para la presión, temperatura y precipitación, señalados por un punto morado, un triangulo rojo y un rombo verde respectivamente, y su promedio indicado mediante la línea negra. Los modelos son organizados por su estadístico promedio de mayor a menor, sea el caso de la correlación o de menor a menor para el RMSE, BIAS y RMSE-corr. En este sentido,, con respecto a la Figura 24 y eligiendo los seis mejores modelos para cada caso, los modelos con mayores valores de correlación y por consiguiente mayor “grado de ajuste” son el MODBAR, que equivale al MODMED o modelo medio, UKHADCM3, MRI-232A, ECHO—G, MPIECH-5 y UKHADGEM.

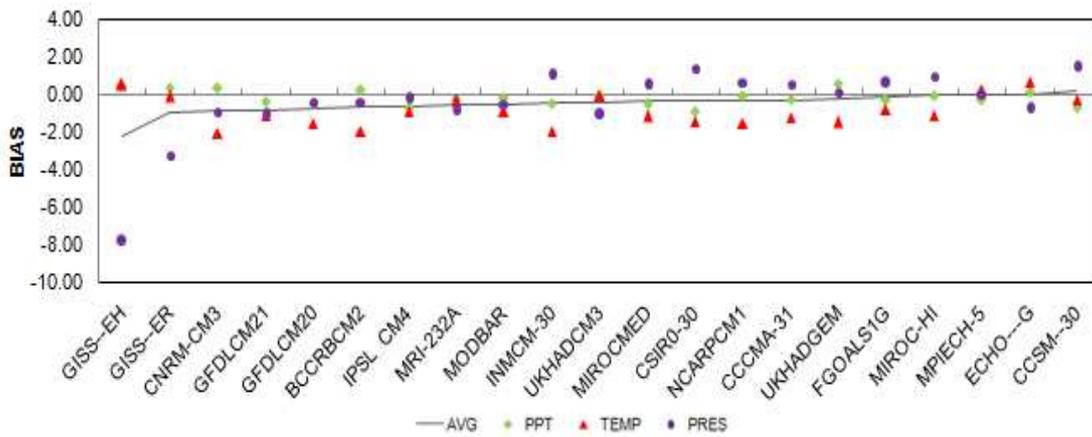
Para el promedio del BIAS, se debe tener en cuenta que los modelos más cercanos al eje x (con valor cero) corresponderán a los modelos con menor sesgo y por tanto mayor fiabilidad, para el caso regional-anual son representativos ECHO—G, MPIECH-5, MIROC-HI, FGOALS1G, UKHADGEM y CCSM-30.

Para el caso de RMSE y RMSE-corr, los promedios con menores valores están a la izquierda de la lista de la grafica, permitiendo seleccionar los modelos con mayor exactitud y para el RMSE los seis primeros son MPIECH-5, MODMED, MRI-232A, ECHO--G, UKHADCM3 y MIROC-HI. Entretanto para el RMSE-corr están en los primeros lugares el modelo medio, MPIECH-5, MRI-232A, BCCRBCM2, MIORC-HI, ECHO—G y el UKHADCM3.

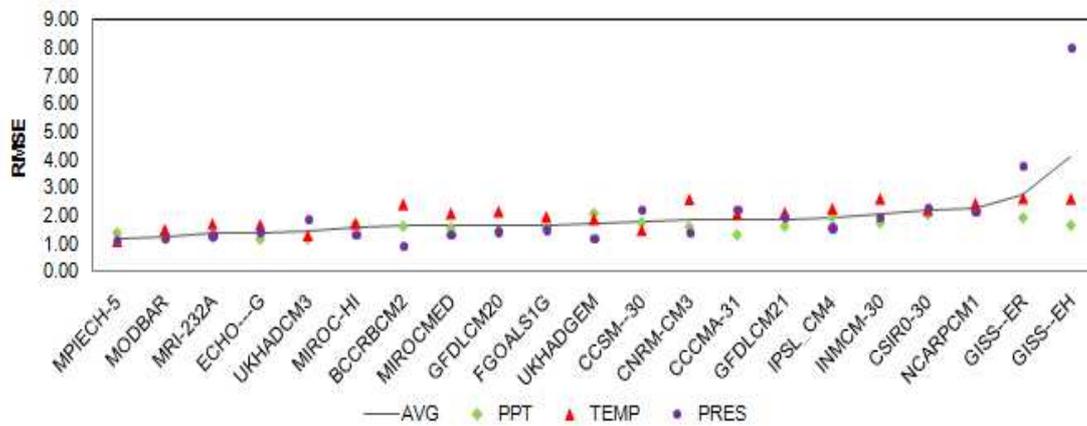
Entre los cuatro estadísticos se presentan modelos en común para estos seis primeros lugares, tales como MPIECH-5, ECHO—G, MRI-232A, UKHADCM3 y el modelo medio. Estos resultados son coincidentes con los resultados de los modelos seleccionados implementando las metodologías anteriores.



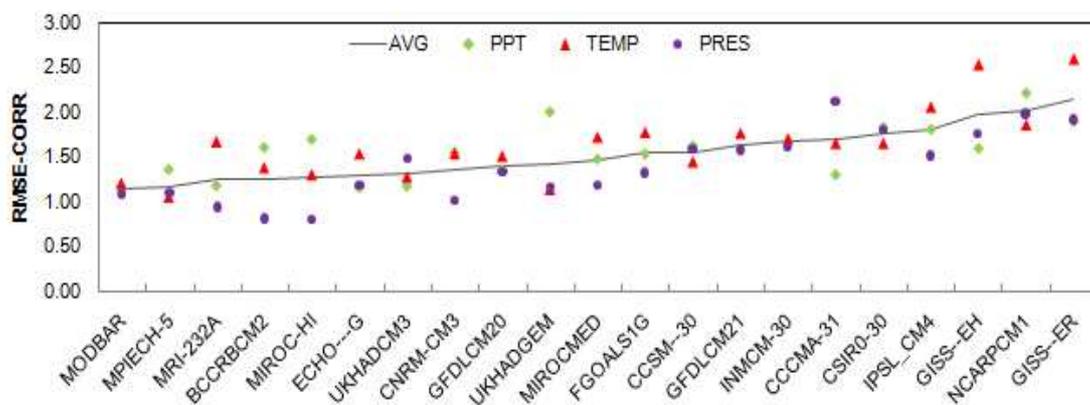
a) Promedio de correlación



b) Promedio de BIAS



c) Promedio de RMSE



d) Promedio de RMSE-corr

Figura 24. Promedio de los estadísticos de correlación, RMSE, BIAS y RMSE-corr de los campos de presión, temperatura y precipitación, en el caso regional-anual.

3.3.2 Promedio Regional Estacional

El promedio para el tiempo estacional se hizo únicamente para la exactitud del modelo, es decir para el RMSE en los que, de acuerdo a la Figura 25, los seis primeros modelos para cada estación son:

DJF: MPIECH-5, MODMED, MRI-232A, MIROC-HI, UKHADCM3 y MIRODMED

MAM: MODMED, MRI-232A, UKHADCM3, MPIECH-5, MIROC-HI y ECHO--G

JJA: MODMED, MPIECH-5, MRI-232A, UKHADCM3, GFDLCM20 y CCSM-30

SON: MPIECH-5, MODMED, BCCRBCM2, ECHO—G, UKHADGEM y MIROC-HI

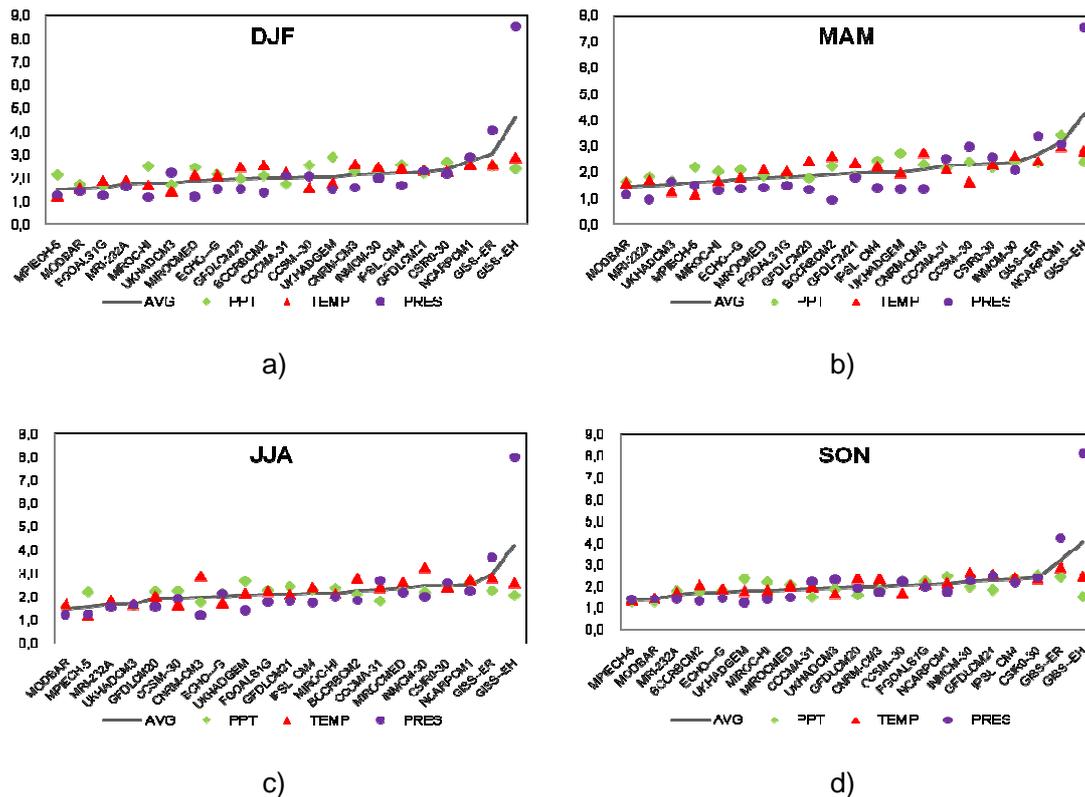
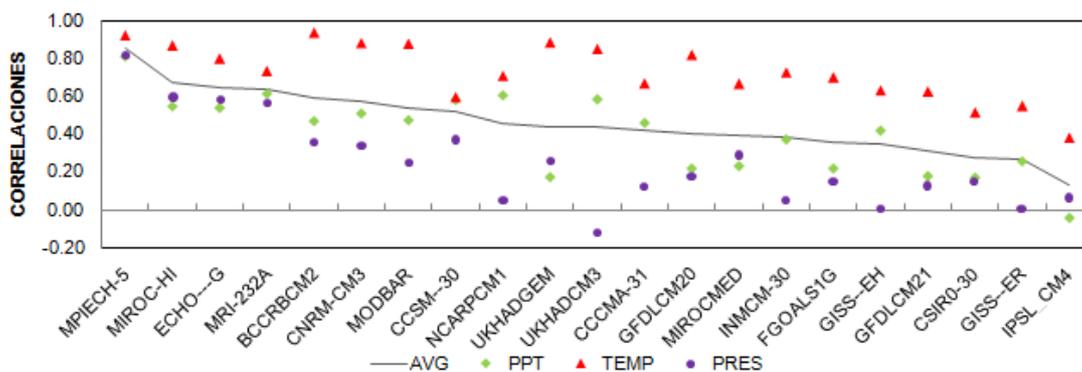


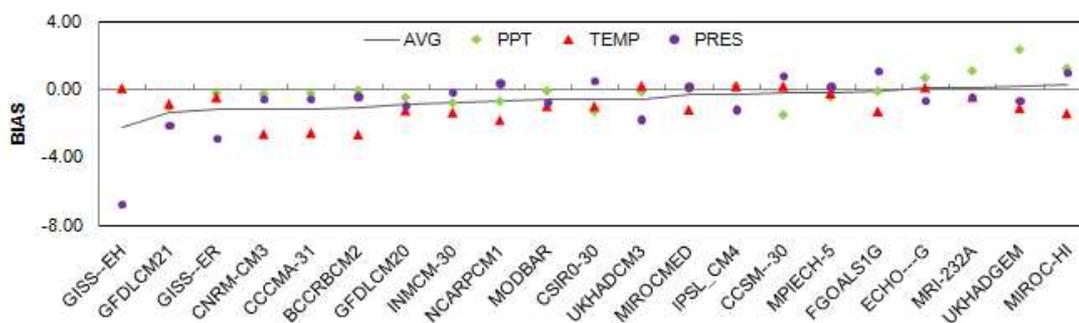
Figura 25. Promedio del RMSE de los campos de presión, temperatura y precipitación, en el caso regional-estacional.

3.3.3 Promedio Nacional Anual

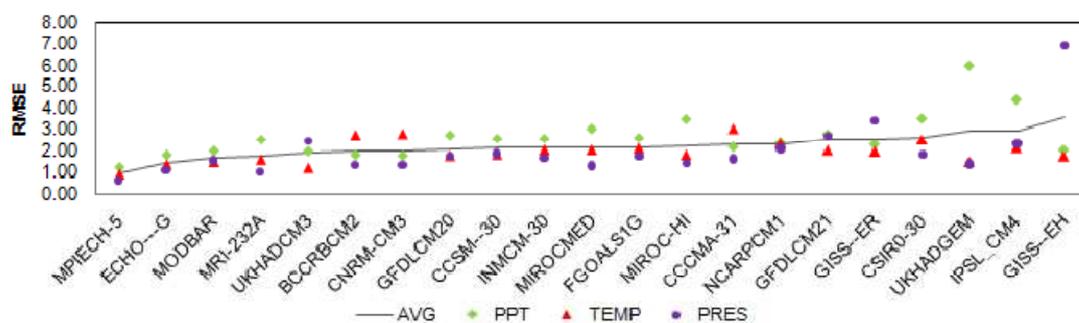
Con las mismas indicaciones que en el dominio regional, se estiman los seis primeros modelos de cada estadístico. En la correlación predominan MPIECH-5, MIROC-HI, ECHO—G, MRI-232A, BCCRBCM2, CNRM-CM3. Se resalta que la dispersión de las correlaciones con respecto a la línea del promedio es mucho mayor que el caso regional. En el sesgo puede estimarse los primeros lugares con el ECHO—G, MRI-232A, UKHADGEM, MIRCO-CHI, FGOALS1G y MPIECH-5. En el RMSE se ubican MPIECH-5, ECHO—G, MODMED, MRI-232A, UKHADCM3 y BCCRBCM2 y por ultimo en el RMSE-corr están MPIECH-5, BCCRBCM2, ECHO—G, CNRM-CM3, MODMED y MRI-232A. Esto puede verificarse en la Figura 26.



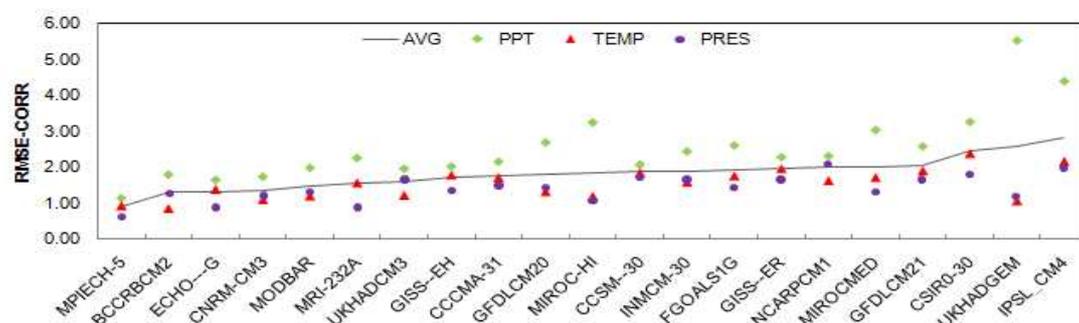
a) Promedio de correlación



b) Promedio de BIAS



c) Promedio de RMSE



d) Promedio de RMSE-corr

Figura 26. Promedio de los estadísticos de correlación, RMSE, BIAS y RMSE-corr de los campos de presión, temperatura y precipitación, en el caso nacional-anual.

3.3.4 Promedio Nacional Estacional

De la Figura 27 se estiman los lugares correspondientes para las cuatro estaciones, tomando el promedio del RMSE

DJF: MPIECH-5, MRI-232A, ECHO—G, MODMED, FGOALS1G y MIROC-HI

MAM: MPIECH-5, MODMED, BCCRBCM2, MRI-232A, CNRM-CM3 y UKHADCM3

JJA: MPIECH-5, UKHADCM3, MODMED, MRI-232A, CNRM-CM3 y ECHO—G

SON: MPIECH-5, ECHO—G, MRI-232A, MODMED, BCCRBCM2 y CNRM-CM3

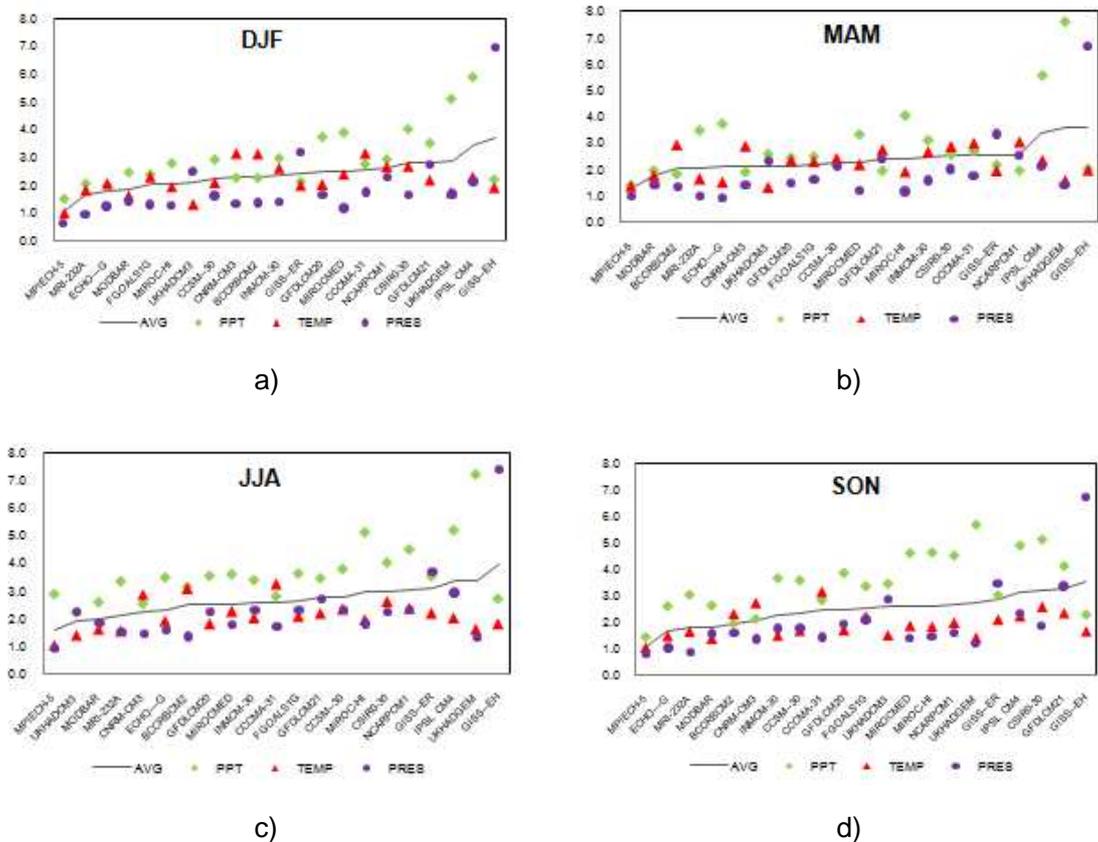


Figura 27. Promedio del RMSE de los campos de presión, temperatura y precipitación, en el caso nacional-estacional

3.4 REPRESENTACIÓN DEL CICLO ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN

En la Figura 28 se muestra el ciclo anual promediado sobre todos los puntos de rejilla del dominio nacional para la referencia CMAP y los veinte modelos. El CMAP muestra dos máximos de precipitación en mayo y octubre que están relacionados con las dos temporadas de lluvia que se dan en gran parte del territorio del país como causa del doble paso de la ZCIT. Los modelos tienden a representar efectivamente una bimodalidad, pero algunos indican los máximos en diferente mes, mientras unos sobrestiman la precipitación, la gran mayoría de los modelos están por debajo de la referencia. En el caso de la mayor sobrestimación esta el NCARPCM1 y la mayor subestimación el CSIRO-30.

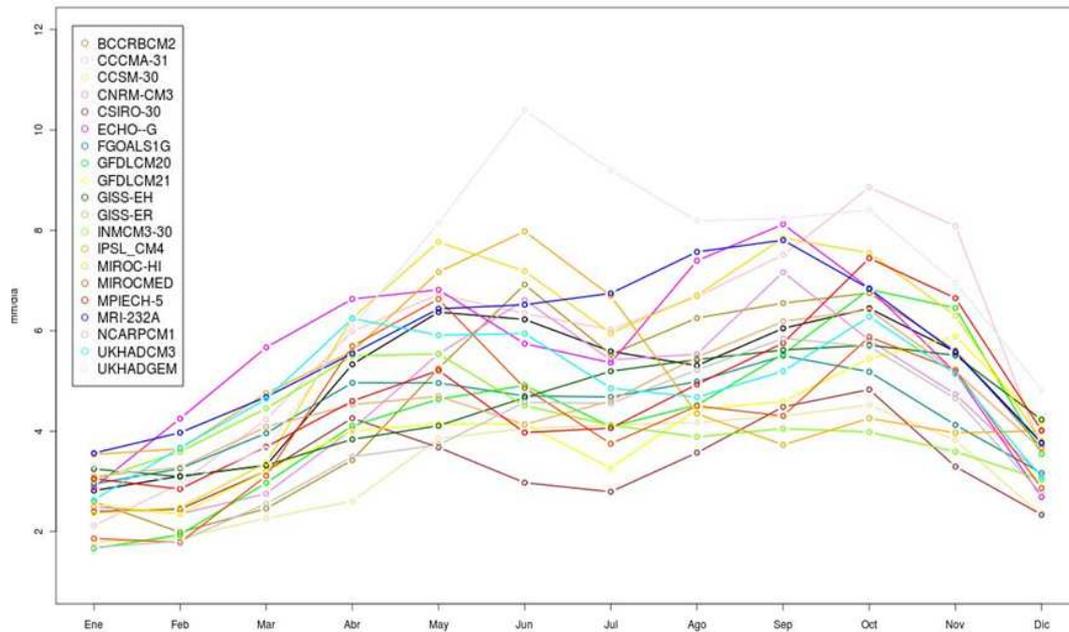


Figura 28. Ciclo anual de precipitación promediada sobre todos los puntos de rejilla en el área Nacional. El ciclo marcado en color negro corresponde a los valores de referencia CMAP y las restantes la de los 20 modelos a evaluar.

Considerando el ciclo anual del grupo de modelos sobresalientes en la evaluación nacional como los graficados en la Figura 29, se puede observar la tendencia bimodal, unos más marcados que otros y en donde el MRI-232A y el ECHO--G tienden a estar por encima de la referencia, mientras que el MPIECH-5 y el UKHADCM3 por debajo. Por su parte, el CCSM-30 está muy por debajo de la referencia y la bimodalidad no es muy marcada.

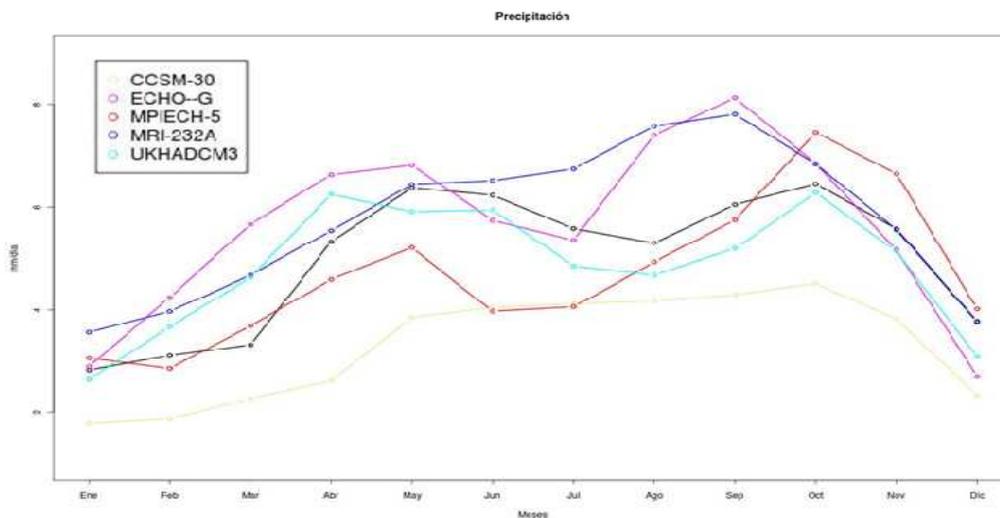
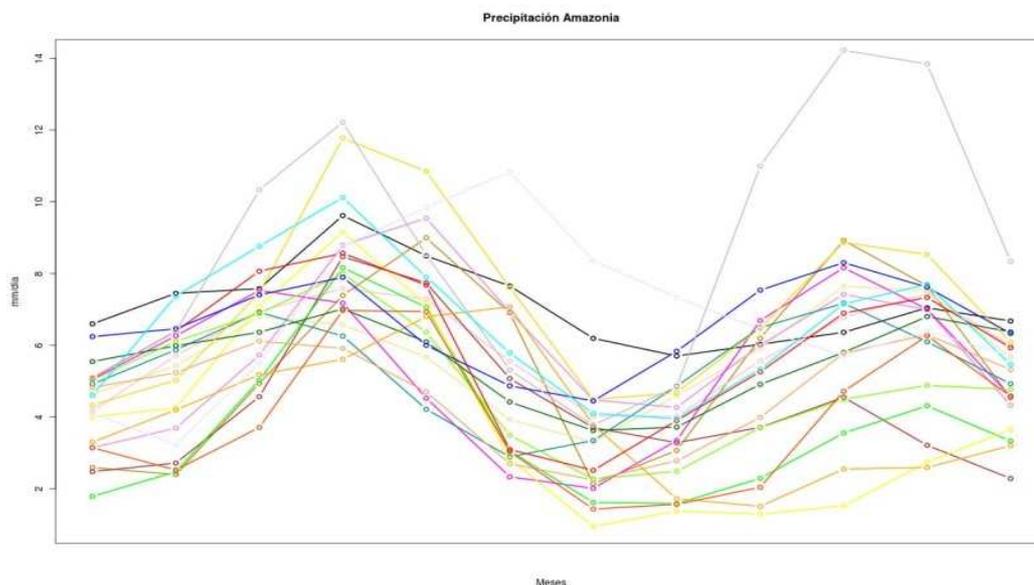


Figura 29. Ciclo anual de precipitación promediada sobre todos los puntos de rejilla en el área Nacional. El ciclo marcado en color negro corresponde a los valores de referencia CMAP y las restantes a los modelos CCSM-30, ECHO-G, MPIECH-5, UKHADCM3 y MRI-232A sobresalientes en las evaluaciones previas.

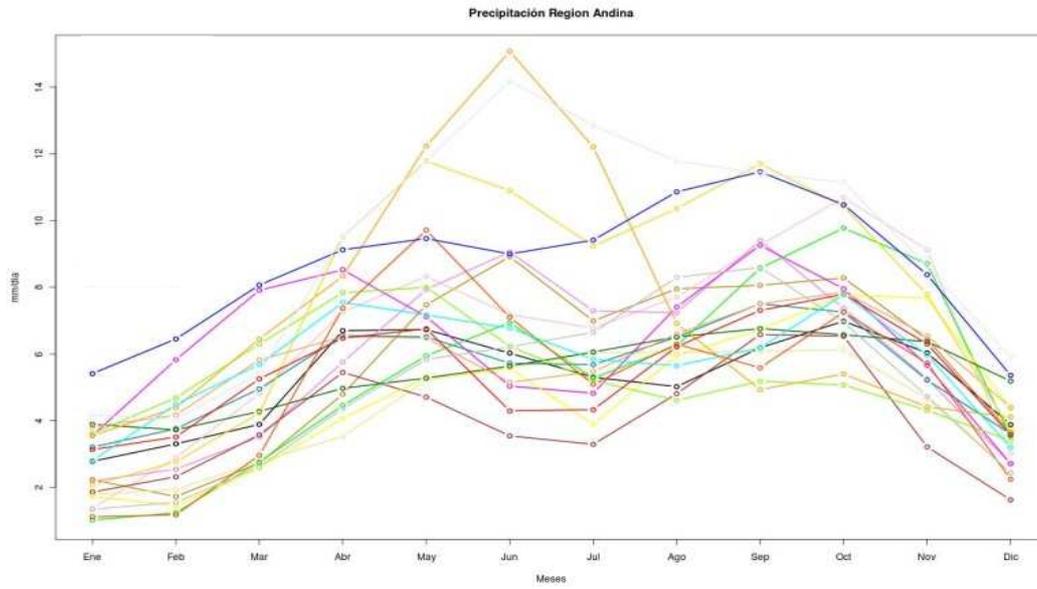
Como todo el territorio Colombiano no tiene un ciclo anual de precipitaciones, representado por dos máximos, si no que en ciertas zonas solo existe uno, es importante revisar la representación del ciclo anual por cada región del país. En la Figura 30 se representan los ciclos anuales promediados de la precipitación de los puntos de rejilla que contiene las regiones naturales de Colombia. De la misma manera que en el caso de todo el territorio del país, la referencia CMAP está representada por la línea negra y los modelos con los mismos colores.

En las zonas donde la referencia representa un ciclo bimodal como en la Amazonia, el Pacífico, el Caribe y la región Andina, en general los modelos mantienen una tendencia a representarla de la misma manera, exceptuando algunos casos evidentes como el IPSL_CM4 y el NCARPCM1 en la región Andina o el MRI-232A en el pacifico, que solo muestran un máximo en la mitad del año. En el caso de la Orinoquia donde el comportamiento es tipo monomodal, las simulaciones de los modelos tienden a mantener un comportamiento bimodal, salvo alguno como el MIROC-HI, que tiene solo un máximo en el mes junio como el CMAP, además, lo sobrestima en gran magnitud.

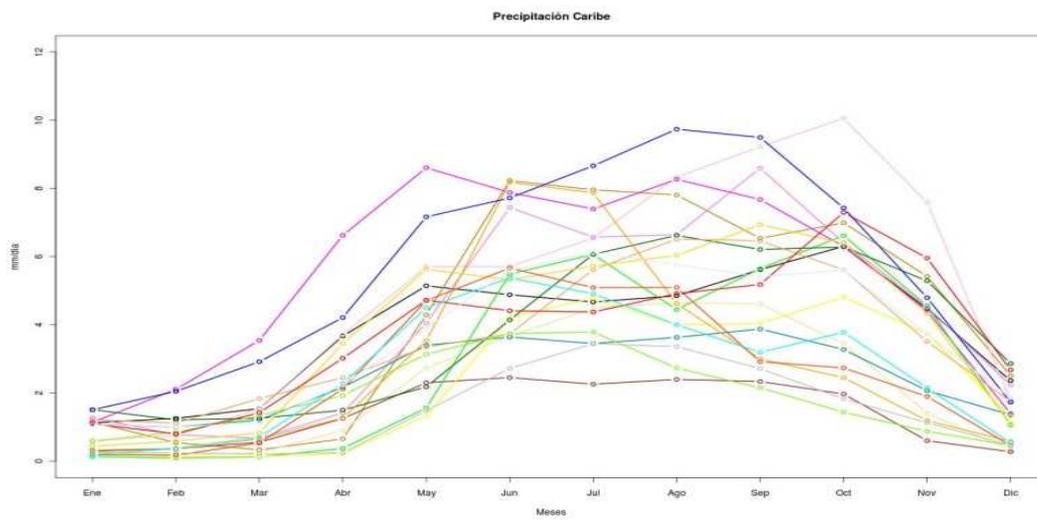
Es importante mencionar que para las regiones Pacifico, Caribe y Andina, en su mayoría los modelos sobrestiman la precipitación, mientras que para la Orinoquia y la Amazonia, gran parte de los modelos la subestiman como se observaba en los mapas de la distribución espacial del error medio (BIAS).



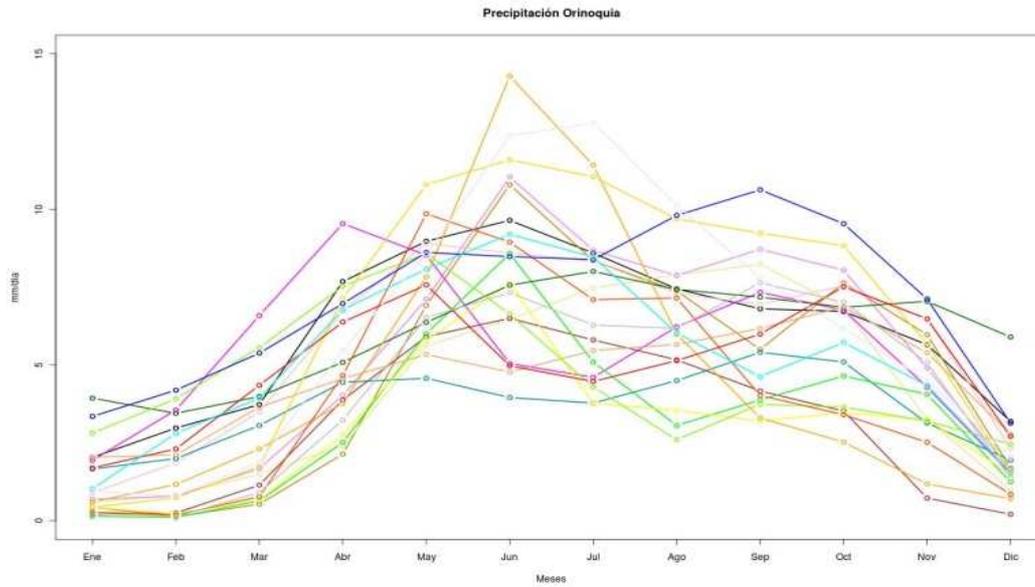
a) Región de Amazonia



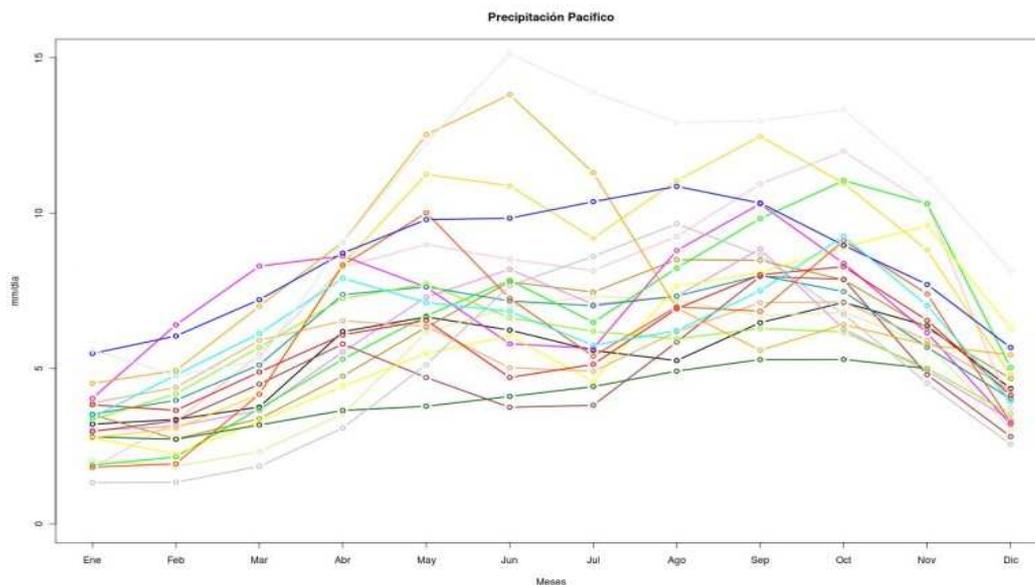
b) Región Andina



c) Región Caribe



d) Región Orinoquia

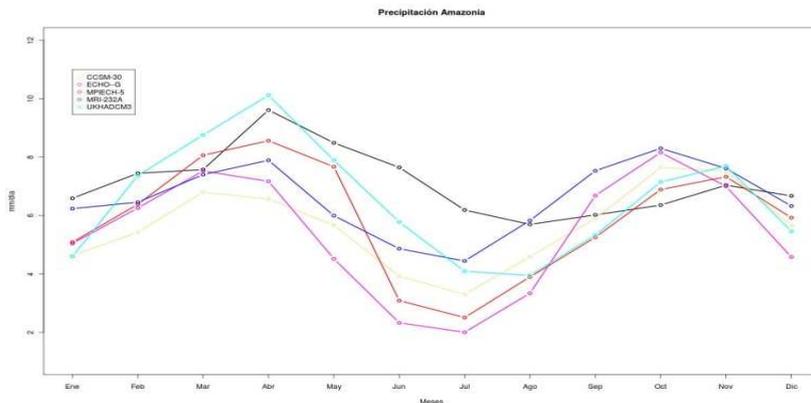


e) Región Pacífica

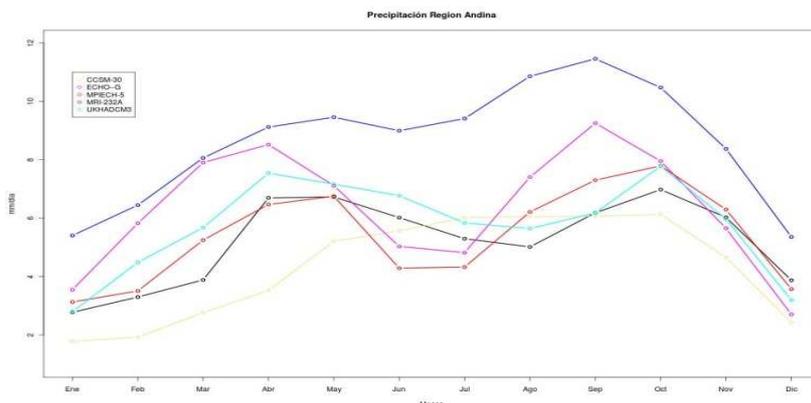
Figura 30. Ciclo anual de precipitación promediada sobre cada punto de rejilla de las regiones naturales de Colombia. El ciclo marcado en color negro corresponde a los valores de referencia CMAP y las restantes la de los 20 modelos a evaluar.

En la Amazonia el grupo de modelos específicos CCSM-30, ECHO-G, MPIECH-5, UKHADCM3 y MRI-232A, subestiman la precipitación en el primer semestre del año, y la sobrestiman en el segundo periodo. En la región Andina persisten valores por encima de la referencia en casi todo el año, principalmente el MRI-232A que se observa con valores muy elevados, por el contrario CCSM-30 está por debajo y no marca la bimodalidad para esta zona. En el Caribe el ECHO—G y el MRI-232A presentan valores muy altos de la precipitación, el UKHADCM3 y MRI-232A son mas acordes a la referencia y el CCSM-30

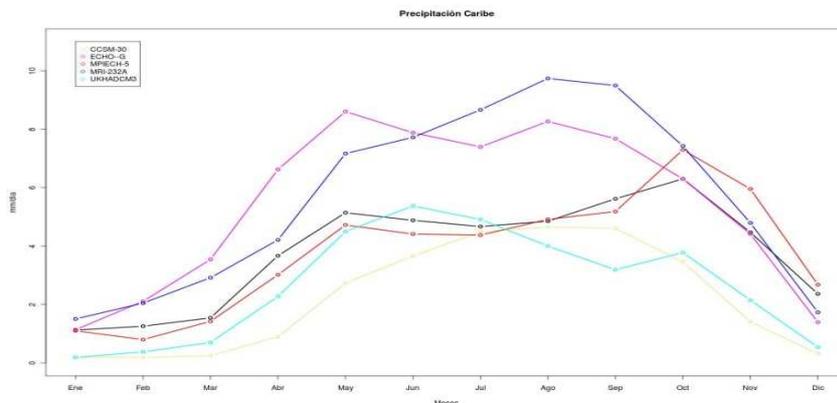
está por debajo. En la Orinoquia la tendencia es a la infraestimación, con valores por encima del MRI-232A y ECHO-G en algunos meses, el modelo UKHADCM3 es el mas cercano al ciclo monomodal de esta región. En el Pacifico se presenta una sobrestimación generalizada, siendo muy alta con el MRI-232, que además no muestra dos máximos como en CMAP, al igual que el CCSM-30, pero que simula valores menores que lo observado.



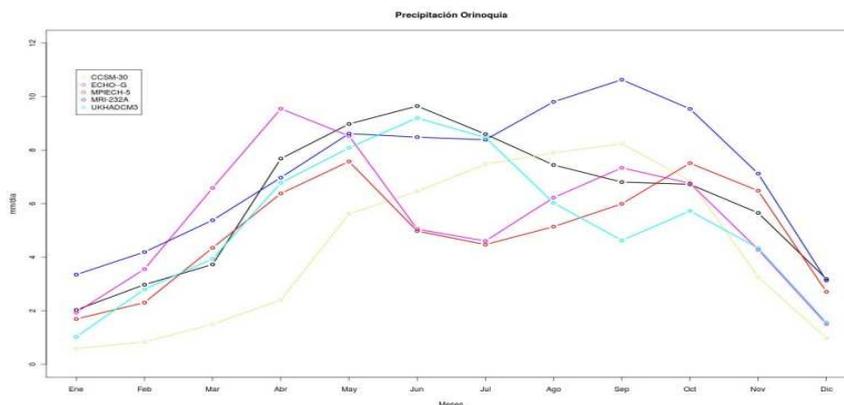
a) Región de Amazonia



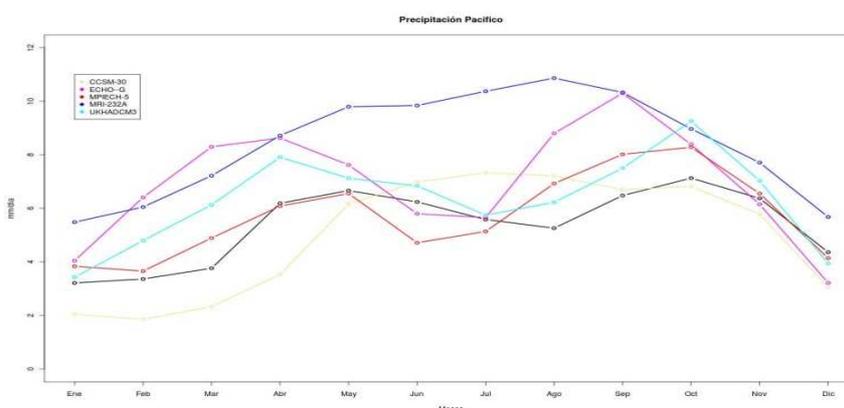
b) Región Andina



c) Región Caribe



d) Región Orinoquia



e) Región Pacífica

Figura 31. Ciclo anual de precipitación promediada sobre todos los puntos de rejilla de las regiones naturales de Colombia. El ciclo marcado en color negro corresponde a los valores de referencia CMAP y las restantes a los modelos CCSM-30, ECHO-G, MPIECH-5, UKHADCM3 y MRI-232A sobresalientes en las evaluaciones previas.

3.5 EVALUACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA DE LOS REANÁLISIS CON DATOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

La comparación de las salidas directas de un modelo climático global con las observaciones no es sencilla, ya que se trata de magnitudes que no son directamente comparables. Los datos de la precipitación y la temperatura de las estaciones meteorológicas son representativos del punto en que se realiza la observación, mientras que las salidas de los modelos corresponden a valores de estos mismos campos pero en puntos de rejilla, lo cual los hace difícilmente comparables. Además, debido a la baja resolución de los modelos, la orografía del modelo es una representación muy suavizada de la real, usualmente se generan diferencias para cada punto de rejilla, que afectan en el valor de la precipitación y la temperatura. También hay que considerar que los métodos de interpolación para llevar a una rejilla común las observaciones y las salidas de los modelos tienden a suavizar de la misma manera los datos.

Estas limitaciones hacen que difícilmente se comparen los datos observados con las salidas de los modelos, y se implementen datos de referencia como los reanálisis. Sin embargo se ha estimado el promedio de cada variable entre todas las estaciones que se encuentran en el mismo punto de rejilla para hacerlos comparables con las salidas directas de los modelos, y de esta manera llevar a cabo la evaluación con la metodología ya implementada, y así determinar el grado de acercamiento de las salidas directas de las estaciones.

En la Tabla 16 se muestra la clasificación del campo de precipitación anual en el dominio nacional a partir del CMAP y los 20 modelos considerados en este trabajo, con respecto a los datos observados directamente de estaciones meteorológicas que han sido llevados a un punto de rejilla común de 2.5°x 2.5. Los resultados de esta tabla muestran que aunque el CMAP no ocupa el primer lugar siempre con respecto a los 20 modelos, si corresponde al único en que todos sus errores se mantienen entre el primer tercio de la lista, es decir son resaltados en verde, por lo cual tiene una correlación grande y errores pequeños con relación a lo observado. Otros modelos representativos con esta clasificación son MPIECH-5, CNRM-30, UKHADCM3 y el MIROC-HI, entretanto el INMCM-30, IPLS_CM4, GFDLCM21, GISS-EH y GISS-EH son los modelos más alejados de la realidad y seguramente no adecuados.

Tabla 16. Clasificación de los 20 modelos y el proyecto CMAP de la precipitación a nivel nacional anual con respecto a datos observados en estaciones llevados a una rejilla común.

MODELO	CORR	RMSE	BIAS	MAE
BCCRBCM2	10	5	5	4
CCMA-31	14	8	6	7
CCSM-30	2	11	20	12
CMAP	3	2	7	1
CNRM-CM3	8	3	4	2
CSIRO-30	5	18	21	20
ECHO-G	16	4	10	5
FGOALS1G	13	12	13	15
GFDLCM20	11	13	15	11
GFDLCM21	9	17	19	16
GISS-EH	21	19	3	17
GISS-ER	20	16	1	18
INMCM-30	15	15	17	14
IPSL-CM4	18	20	8	21
MIROC-HI	6	7	2	8
MIROCMED	12	14	18	13
MPIECH-5	1	1	9	3
MRI-232A	17	9	11	9
NCARCM1	4	10	16	10
UKHADCM3	7	6	14	6
UKHADGEM	19	21	12	19

Como la precipitación es muy variable, se construyen las mismas tablas de clasificación para todos los meses del año con el fin de observar la semejanza en cada mes. Los meses para el primer semestre del año están dispuestos en la *Tabla 17*, y para el segundo en la *Tabla 18*.

Teniendo en cuenta que el acuerdo con los datos observados son diferentes para cada uno de los meses, se hace difícil hablar en general, sin embargo, es posible observar un acercamiento importante del CMAP frente a los datos reales en todos los meses. Como

resultado de ello, se evidencia que el segundo semestre termina siendo más representativo.

En la clasificación se observan algunos modelos representativos frente a los datos observados como el MPIECH-5, MIROC-HI, y UKHADCM3.

Tabla 17. Clasificación de los 20 modelos y el proyecto CMAP de la precipitación mensual para el primer semestre del año en el dominio nacional anual con respecto a datos observados en estaciones llevados a una rejilla común.

MODELO	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO						
	CORR	RMSE	BIAS	MAE	CORR	RMSE	BIAS	MAE	CORR	RMSE	BIAS	MAE	CORR	RMSE	BIAS	MAE	CORR	RMSE	BIAS	MAE	CORR	RMSE	BIAS	MAE	CORR	RMSE	BIAS
BCCRBCM2	11	14	16	9	15	18	7	17	9	12	9	14	14	15	17	18	13	6	8	6	13	5	19	5			
CCMA-31	8	15	1	11	4	4	3	4	4	3	11	3	8	4	4	4	9	5	3	2	5	4	13	4			
CCSM-30	3	5	11	6	5	10	9	12	8	10	15	9	12	19	20	10	18	19	18	6	14	1	13				
CMAP	4	3	8	2	3	2	10	2	3	4	13	2	3	3	15	2	4	1	4	1	1	1	17	1			
CNRM-CM3	10	10	19	7	8	9	18	9	6	7	5	6	6	9	13	9	8	3	5	5	8	2	18	3			
CSIRO-30	5	7	14	13	12	12	12	15	12	9	10	11	5	8	16	10	3	13	20	15	2	12	3	14			
ECHO-G	6	4	12	3	11	6	17	8	16	18	20	19	21	12	21	13	20	14	16	11	21	19	20	19			
FGOALS10	12	6	18	5	6	5	21	3	7	5	18	5	15	10	2	11	16	15	11	16	16	15	12	15			
GFDLCM20	14	19	15	20	16	21	14	21	13	15	14	18	9	16	18	19	5	12	17	14	11	11	2	11			
GFDLCM21	7	11	9	10	10	16	11	18	11	13	12	12	10	18	19	17	6	16	18	17	10	13	6	12			
GISS-EH	21	21	21	21	20	15	19	10	17	11	17	10	18	14	10	14	17	19	14	19	18	17	16	18			
GISS-ER	18	9	20	12	14	8	20	6	14	8	19	8	17	13	6	12	19	17	9	13	20	18	15	17			
INMCM-30	20	18	7	18	18	14	4	13	18	16	6	17	16	11	11	8	14	9	12	10	9	8	9	6			
IPSL-CM4	19	20	5	19	19	19	2	16	20	20	3	20	20	20	8	21	18	20	1	20	17	20	10	21			
MIROC-HI	2	2	3	4	2	3	1	5	2	2	4	4	4	5	7	5	7	10	6	9	4	9	7	8			
MIROCMED	9	17	13	17	13	20	13	20	21	21	21	21	7	7	9	7	12	7	7	7	14	10	8	7			
MPIECH-5	1	1	6	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	2	12	1	1	2	10	3	12	16	11	16			
MRI-232A	17	13	17	18	17	11	16	14	15	17	16	18	13	6	3	6	15	8	2	8	15	6	14	10			
NCARCM1	13	16	2	15	9	13	8	11	10	14	2	13	11	17	14	15	11	11	15	12	7	7	5	9			
UKHADCM3	15	8	4	8	7	7	6	7	5	6	7	7	2	1	5	3	2	4	13	4	3	3	4	2			
UKHADGEM	16	12	10	14	21	17	15	19	19	19	8	15	19	21	1	16	21	21	21	21	19	21	21	20			

Tabla 18. Clasificación de los 20 modelos y el proyecto CMAP de la precipitación mensual para el segundo semestre del año en el dominio nacional anual con respecto a datos observados en estaciones llevados a una rejilla común.

MODELO	JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE						
	CORR	RMSE	BIAS	MAE	CORR	RMSE	BIAS	MAE	CORR	RMSE	BIAS	MAE	CORR	RMSE	BIAS	MAE	CORR	RMSE	BIAS	MAE	CORR	RMSE	BIAS	MAE	CORR	RMSE	BIAS
BCCRBCM2	15	8	17	10	12	4	16	6	3	2	2	3	6	3	1	3	5	2	2	2	4	4	5	4			
CCMA-31	7	3	14	4	7	7	14	5	7	18	4	9	5	16	9	11	12	9	13	8	7	5	6	5			
CCSM-30	4	6	7	5	2	5	9	4	5	8	12	8	11	13	17	14	3	12	18	16	2	7	19	14			
CMAP	1	1	12	1	4	3	1	1	2	3	5	2	3	4	10	4	4	3	9	1	6	3	1	1			
CNRM-CM3	6	2	15	2	5	1	12	2	15	5	11	5	17	5	5	8	5	10	5	10	9	7	6				
CSIRO-30	2	10	11	12	6	12	15	14	10	17	14	18	9	17	19	18	6	20	21	21	5	17	20	19			
ECHO-G	21	18	20	21	18	9	19	10	11	4	6	4	2	2	4	2	1	4	11	4	8	12	11	8			
FGOALS10	13	12	10	13	14	6	2	8	16	6	10	6	15	11	14	12	15	13	16	15	13	10	8	7			
GFDLCM20	14	15	1	15	13	13	8	12	8	7	9	10	4	7	8	10	8	6	10	9	11	13	10				
GFDLCM21	17	19	3	17	16	14	7	16	17	15	16	14	10	12	16	13	14	11	12	14	11	8	9	11			
GISS-EH	19	16	19	16	19	16	17	15	21	10	7	7	21	9	11	7	21	15	3	11	20	20	18	20			
GISS-ER	20	17	18	18	21	20	18	20	20	12	3	16	19	8	6	8	20	14	8	12	17	13	4	12			
INMCM-30	11	13	8	9	15	18	13	19	6	13	20	13	14	19	21	17	17	19	19	19	19	18	10	17			
IPSL-CM4	16	20	13	19	17	17	4	18	18	19	21	20	18	20	20	21	19	21	20	20	19	19	14	18			
MIROC-HI	3	5	9	6	3	19	10	17	4	20	13	21	8	14	2	15	7	6	7	7	1	1	12	3			
MIROCMED	10	11	2	8	9	10	6	9	12	16	19	17	12	15	18	16	11	16	17	17	15	16	17	16			
MPIECH-5	9	14	5	14	1	2	5	3	1	1	8	1	1	1	3	1	2	1	4	3	3	2	2	2			
MRI-232A	12	7	16	11	10	11	20	13	13	14	18	12	13	6	7	6	16	7	5	6	14	6	3	9			
NCARCM1	8	9	4	7	11	15	3	11	9	11	1	15	16	18	12	19	13	17	15	18	12	15	16	13			
UKHADCM3	5	4	6	3	8	8	11	7	14	9	15	11	7	10	13	9	9	10	14	9	16	14	15	15			
UKHADGEM	18	21	21	20	20	21	21	21	19	21	17	19	20	21	15	20	18	18	1	13	21	21	21	21			

- Diagrama de Taylor

En la Figura 32 se muestran los diagramas de Taylor para la precipitación y la temperatura anual con respecto a los datos de las observaciones en las estaciones, de la cual se muestra que en cuanto a la temperatura el ERA-40 es más cercano a lo real que las simulaciones de los modelos, mientras que en la precipitación, el MPIECH-5 y el CCCSM-30 tienen correlaciones mayores y están más cercanas a la observación, de igual manera

el CMAP se ubica como un buen indicador de los datos observados pero alejado de la desviación estándar real.

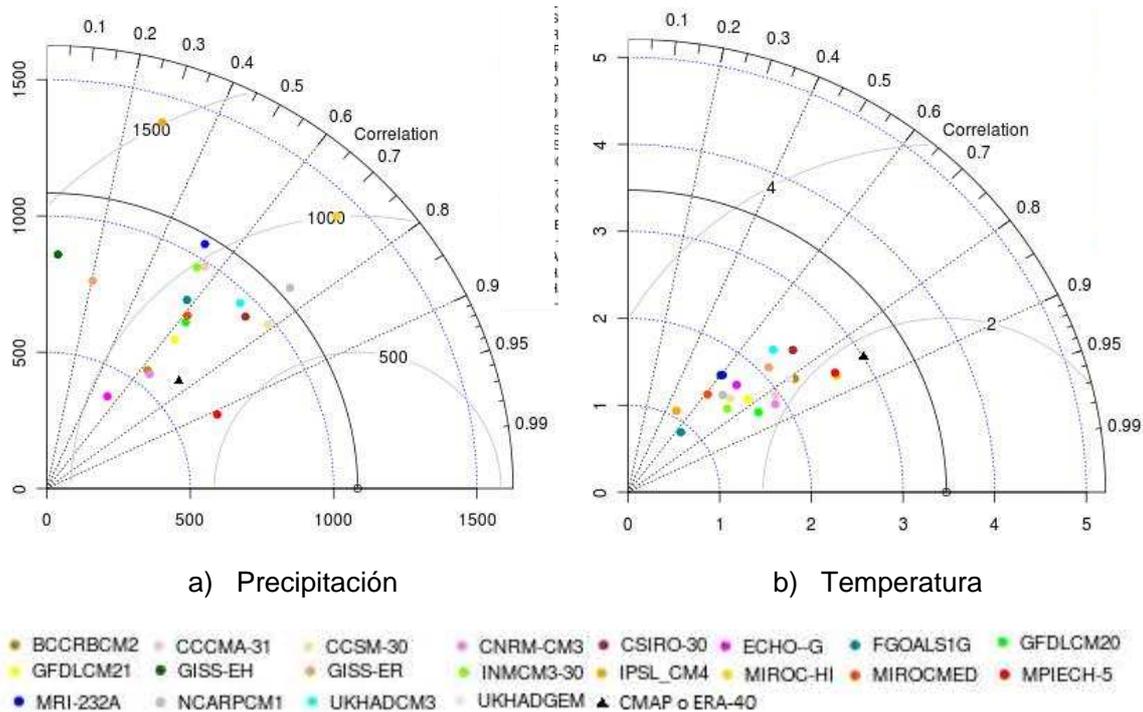


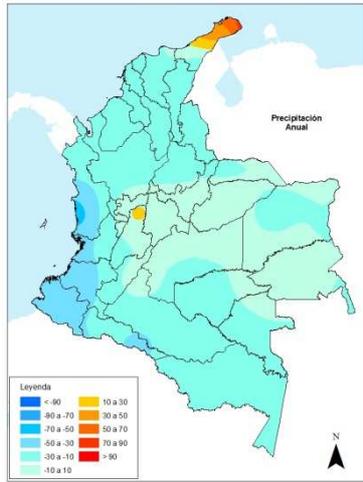
Figura 32. Diagramas de Taylor anual de precipitación y temperatura para el dominio nacional con respecto a los datos observados en estaciones llevados a una rejilla común.

Aunque los datos del MPIECH-5 se acerquen más a lo observado, se mantiene una confianza en el CMAP como datos de referencia por las posiciones que ha ocupado en los anteriores resultados y por ser consecuencia de un proyecto que considera datos pluviométricos reales e imágenes satelitales, además de tener en cuenta que para comparar los datos se tuvieron que llevar al mismo punto de rejilla, lo que posiblemente generara errores.

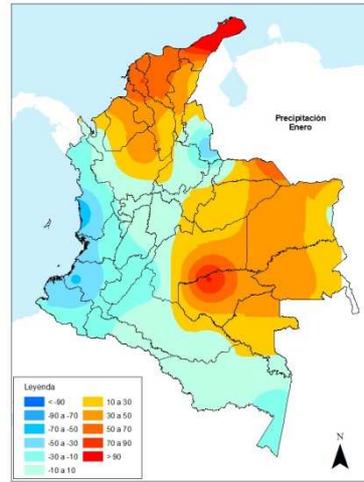
- Distribución Espacial del sesgo

A continuación se muestran los mapas de las diferencias o sesgo entre la precipitación observada en las estaciones llevadas a un punto de rejilla común y los datos del CMAP para el área de Colombia, dados en porcentaje. La diferencias se graficaron a nivel anual y para cada mes del año promediados del periodo de referencia 1980-1999.

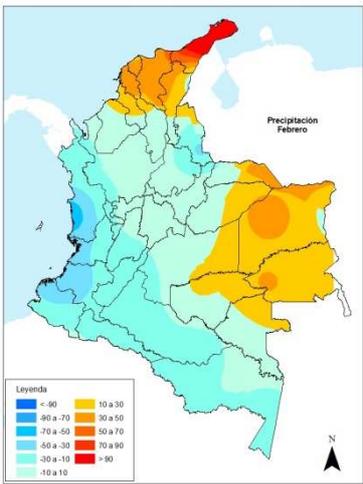
De acuerdo a la Figura 33 la diferencia anual de los datos de precipitación se presenta subestimación en la región Pacífica y en menos porcentaje sobre el sur del país que es observada también en la mayoría de los meses del año. En la parte del Caribe la tendencia es a sobrestimar la precipitación excepto en los meses septiembre-Octubre-Noviembre y para los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril hacia la Orinoquia se presentan valores mayores que los observados. Algunas zonas en la región andina, especialmente hacia el centro del país, son sobrestimadas a nivel anual y durante la mayoría de los meses.



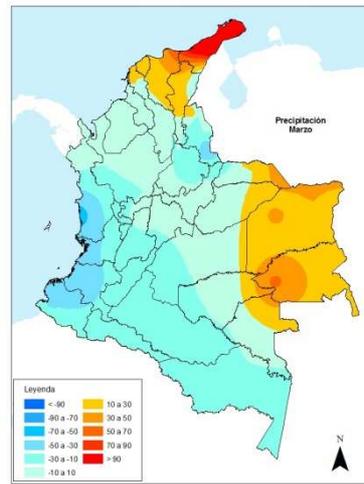
a) Anual



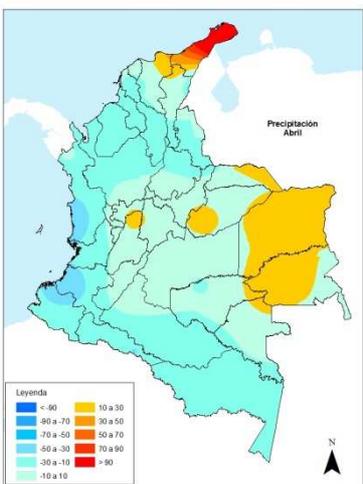
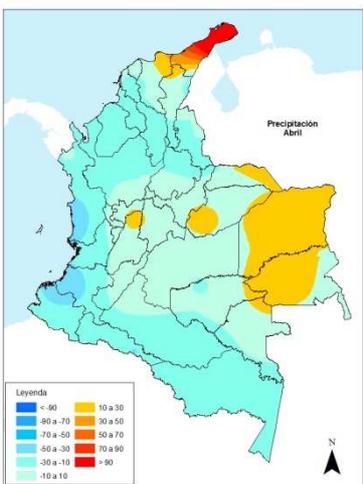
b) Enero

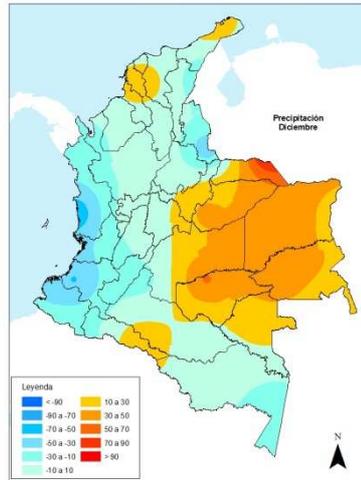


c) Febrero



d) Marzo





m) Diciembre

Figura 33. Error medio de la precipitación anual y mensual en el periodo de referencia entre los datos observados y el proyecto CMAP.

Por último se presenta la grafica de la distribución del error medio para la temperatura, considerando únicamente la estimación anual ya que la variación de este campo durante el año no es grande. En la Figura 34 es representado el mapa de esta distribución y en general muestra un gran acercamiento de los datos de ERA-40 a los observados, con una sobrestimación en una ares del centro-este del país.

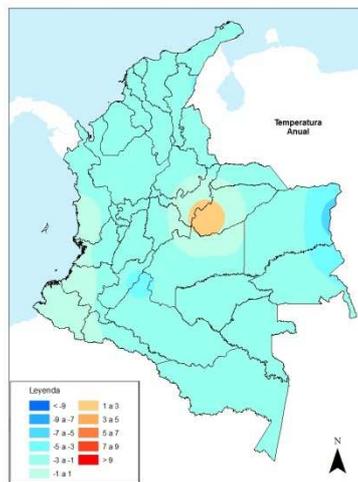


Figura 34. Error medio de la temperatura anual en el periodo de referencia entre los datos observados y el proyecto CMAP.

CONCLUSIONES

La evaluación del grupo de 20 modelos de AR4 del IPCC, basada en la simulación y la distribución espacial de las variables meteorológicas de viento en superficie, 850hPa, 200hPa, la presión media del nivel del mar, la precipitación y la temperatura en superficie ha permitido obtener las siguientes conclusiones:

Los modelos varían su habilidad para representar cada una de las variables y cada época del año, de tal manera que:

A nivel anual y teniendo en cuenta las variables que indican la circulación atmosférica (presión y viento en: superficie, 850hPa y 200hPa) los modelos recomendados son: UKHADGEM, MPIECH-5, UKHADCM3, MRI-232A, BCCRBCM2 y el ECHO—G.

En la escala de tiempo estacional, a nivel regional para los campos de viento y presión los modelos destacados en Diciembre-Enero-Febrero son el MPIECH-5, ECHO—G, UKHADGEM, GFDLCM20 y MRI-232A; para Marzo-Abril-Mayo se encuentran el UKHADGEM, MRI-232A, UKHADCM3, ECHO—G y MIROC-HI; en Junio-Julio-Agosto el UKHADGEM, MPIECH-5, UKHADCM3, GFDLCM20 y MRI-232A y en Septiembre-October-Noviembre el UKHADGEM, BCCRBCM2, MPIECH-5, ECHO—G y MRI-232A.

Los modelos recomendados teniendo en cuenta los resultados de viento y presión a nivel anual y para las cuatro estaciones son: UKHADGEM, MRI-232A, MPIECH-5, ECHO--G y el UKHADCM3.

Teniendo presente los campos de precipitación y temperatura en el área regional, los modelos con una mejor representación anual son: UKHADCM3, ECHO---G, MRI-232A, MPIECH-5 y el modelo medio. Individualmente la precipitación es mejor simulada por el UKHADCM3, MRI-232A, ECHO—G, CCCMA-31, MPIECH-5 y el GFDLCM20, y la temperatura por el MPIECH-5, UKHADGEM, UKHADGEM3, MIROC-HI, BCCRBCM2, y el CCSM—30.

En la escala de tiempo estacional, a nivel regional, los modelos que tienen buena correlación y bajos errores en los diferentes trimestres (DJF, MAM, JJA y SON) para la precipitación son el UKHADCM3, BCCRBCM2, ECHO---G, MPIECH-5, y el BCCRBCM2; entretanto para la temperatura están el CCSM-30, MPIECH-5, MIROC-HI y el UKHANCM3, siendo el MPIECH-5 el modelo en común en las tres variables.

En el campo nacional los modelos con una mayor proximidad a los valores observados anualmente, considerando la precipitación y la temperatura son el UKHADCM3, MPIECH-5, ECHO—G, MRI-232A y el modelo medio. De forma específica para la precipitación se destacan los modelos MPIECH-5, MRI-232A, NCARPCM1, CCSM—30, MIROC-HI y el ECHO—G, y en la temperatura el BCCRBCM2, MPIECH-5, UKHADGEM, CNRM-CM3, MIROC-HI y el UKHADCM3.

En el tiempo estacional, a nivel regional, para las variables de precipitación y temperatura, los modelos sobresalientes en Diciembre-Enero-Febrero son el UKHADCM3, FGOALS1G, MPIECH-5, MRI-232A y el modelo medio; para Marzo-Abril-Mayo se encuentran el UKHADCM3, MRI-232A, MIROC-HI, MPIECH-5 y el modelo medio; en Junio-Julio-Agosto el UKHADCM3, ECHO--G, MRI-232A, CCSM-30 y el modelo medio y en Septiembre-October-Noviembre el MPIECH-5, UKHADCM3, MRI-232A y modelo medio.

De acuerdo a los modelos representativos para precipitación y temperatura anual y considerando la selección por trimestres, los modelos más confiables son: el UKHADCM3, MRI-232A, ECHO--G, MPIECH-5 y el modelo medio.

Con las diferencias en los resultados de todas las pruebas realizadas a nivel de tiempo, distribución espacial y/o variable, se puede afirmar que no hay modelo que apruebe todas las evaluaciones consideradas, por lo cual se debe tener en cuenta la aplicación que se le va a dar al modelo a seleccionar.

Los modelos representan con mayor exactitud la componente zonal del viento que la meridional.

Los modelos tienen a sobrestimar la precipitación en las regiones del Pacífico, Caribe y Andina mientras que para la Orinoquia y la Amazonia la tendencia es a subestimarla.

Los modelos UKHADCM3, ECHO---G, MRI-232A, y el MPIECH-5 que fueron seleccionados a nivel regional son recomendados en la reducción de escala dinámico.

Los modelos MPIECH-5, ECHO—G y el MRI-232A que se seleccionaron en el campo nacional son recomendados en la reducción de escala estadístico.

Además de los modelos utilizados actualmente en el Instituto se aconseja implementar el modelo MPIECH-5 por sus sobresalientes resultados en la evaluación

Se recomienda continuar la evaluación de los modelos teniendo en cuenta los modos de variabilidad y los tipos de circulación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bosilovich M., Chen J., Robertson A., 2008. *Evaluation of Global Precipitation in Reanalyses*. AMS Journals Online. NASA

BVSDE. (2010). *Escenarios de Cambio Climático en el Perú 2004-2050*. . Recuperado el Junio de 2010, de Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental : <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd50/escenarios/escenarios.html>.

Castro. (2007). *Los Modelos Climáticos globales*. Curso de Verano de la universidad de Cantabria. Santander, España.

CRU. (2010). *Climatic Research Unit*. Recuperado el Junio de 2010, de www.cru.uea.ac.

ECMWF. (23 de Enero de 2008). *ERA-40*. Recuperado el Agosto de 2010, de <http://www.ecmwf.int/research/era/do/get/era-40>

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

IPCC,(2009).*What is a GCM?*. Recuperado Junio de 2010 de http://www.ipcc-data.org/ddc_gcm_guide.html

IPCC, 1997, *Introducción a los Modelos Climáticos Simples Utilizados en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC*. [Documento preparado bajo los auspicios del Grupo de Trabajo I del IPCC, copresidido por Sir John T. Houghton del Reino Unido y el Dr L. Gylvan Meira Filho del Brasil], 39 págs.

METED. (Junio de 2010). *Uso inteligente de los productos derivados de los modelos*. Recuperado el 2010, de <http://www.meted.ucar.edu>

NESTA, 2010. *Windows to the Universe*. National Earth Science Teachers Association. Recuperado Junio de 2010 de <http://www.windows2universe.org/>

NOAA. (2009). *CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP)*. Recuperado el Agosto de 2010, de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.cmap.html>

PCMDI. (2004). *WCRP CMIP3 Multi-Model Data*. Recuperado el Agosto de 2010, de <https://esg.llnl.gov:8443/index.jsp>

Rodríguez, E. (2006). *Uso del Método de Escalado de Patrones con distintos Generadores de Escenarios Climáticos Aplicados sobre la Península Ibérica*. Madrid, España.

Taylor. (2001). *Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram*.

Taylor, K. (2001). . *Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram*, *J. Geophys. Res.*, 106, 7183–7192, doi:10.1029/2000JD900719.

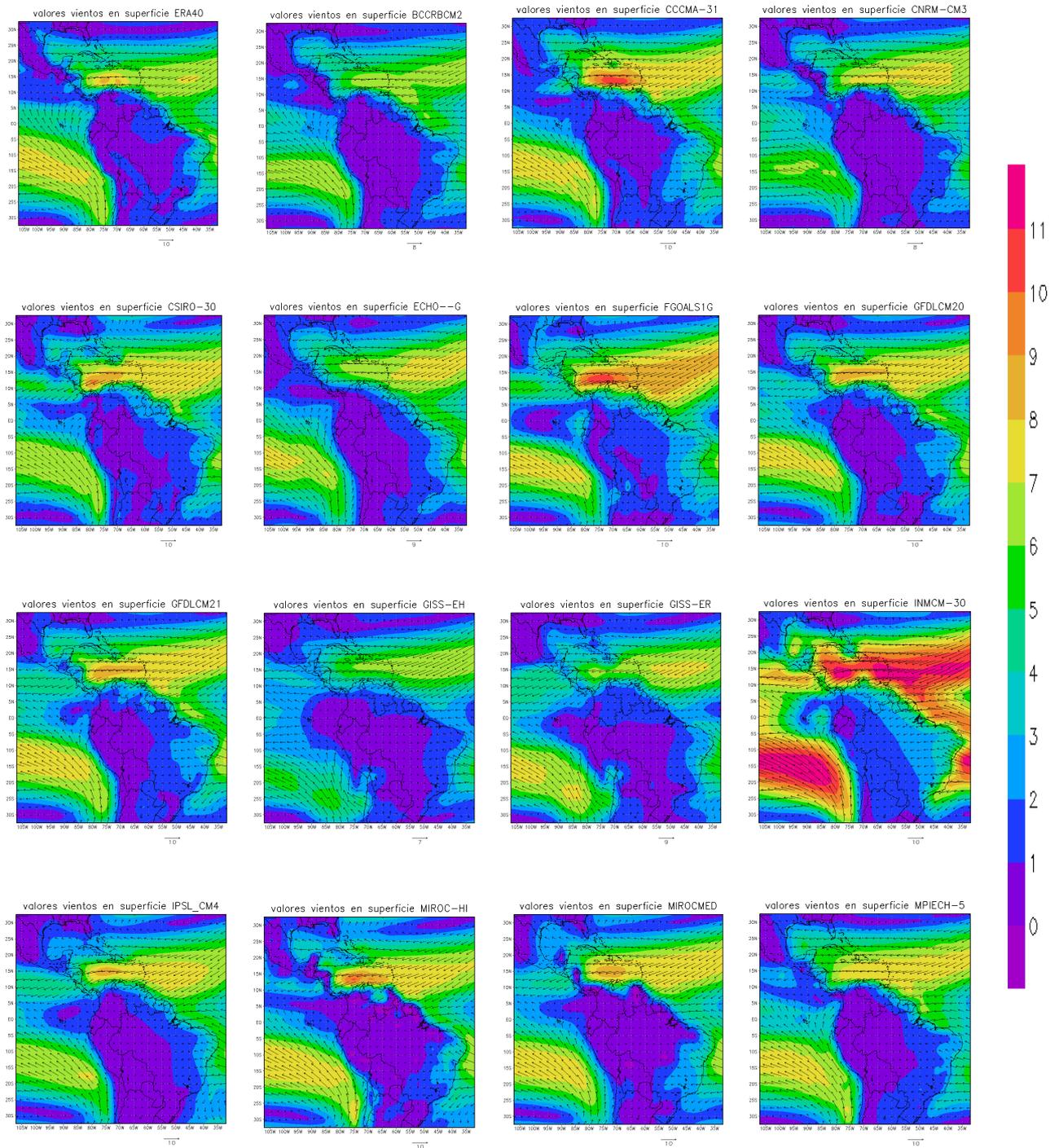
UNFCCC. (1998). *PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO*.

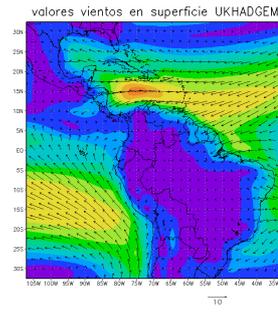
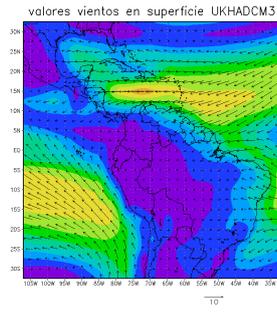
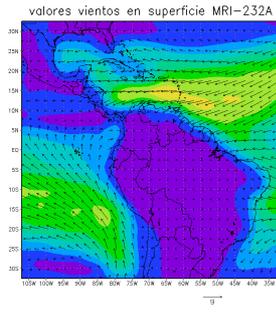
WCRP-CMIP3, 2010. Multi-model Database, de <https://esg.llnl.gov:8443/index.jsp>

Wigley T., 2008. *MAGICC/SCENGEN 5.3: User Manual*. NCAR.

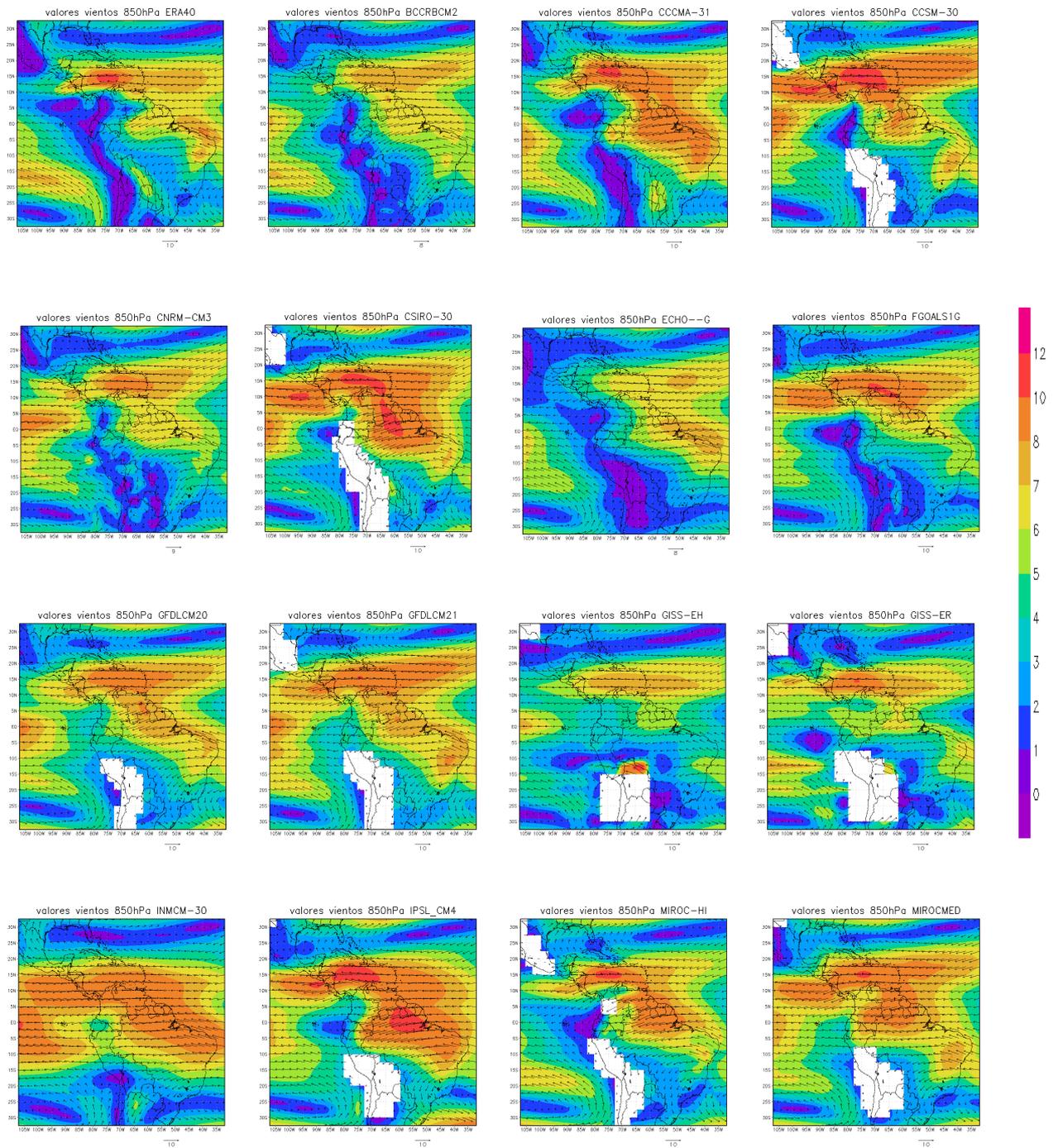
Xie P., and P. A. Arkin, 1996: Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2539-2558.

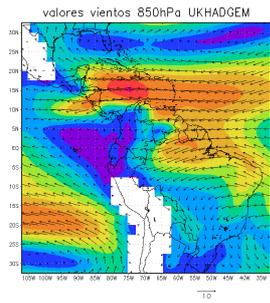
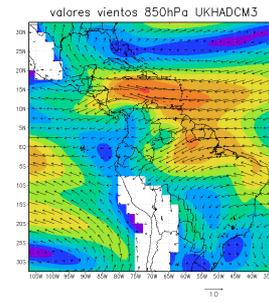
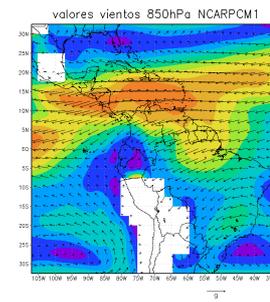
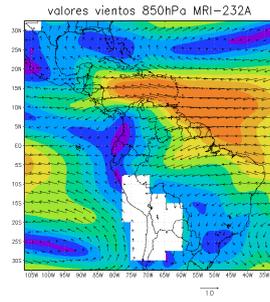
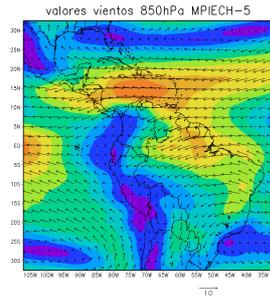
A. **Anexos:** Distribución de la intensidad y dirección de viento anual en superficie de los datos de referencia ERA-40 y las representaciones de los 20 modelos evaluados.



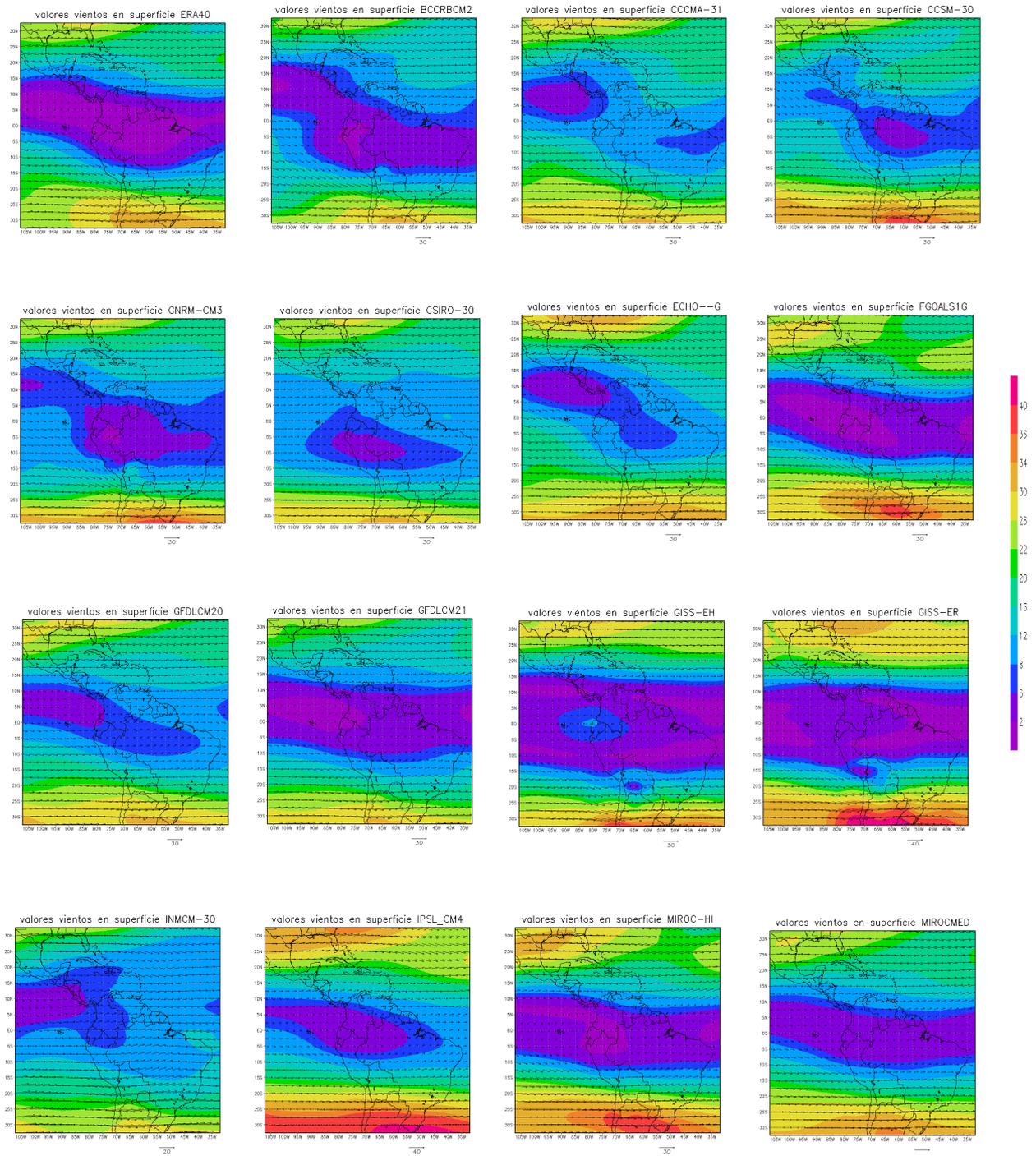


B. Anexos: Distribución de la intensidad y dirección de viento anual a 850hPa de los datos de referencia ERA-40 y las representaciones de los 20 modelos evaluados.

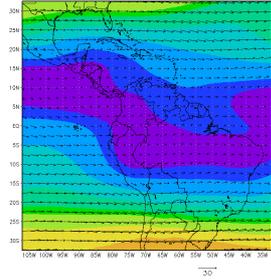




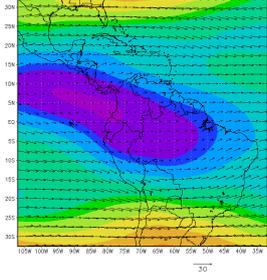
C. Anexos: Distribución de la intensidad y dirección de viento anual a 200hPa de los datos de referencia ERA-40 y las representaciones de los 20 modelos evaluados.



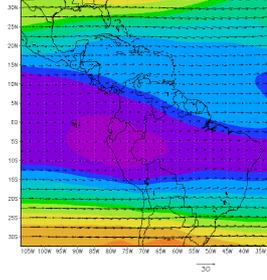
valores vientos en superficie MPIECH-5



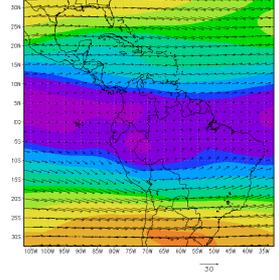
valores vientos en superficie MRI-232A



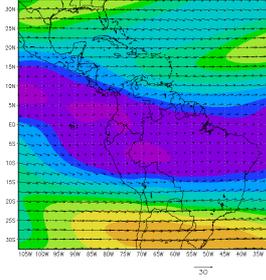
valores vientos en superficie NCARPCM1



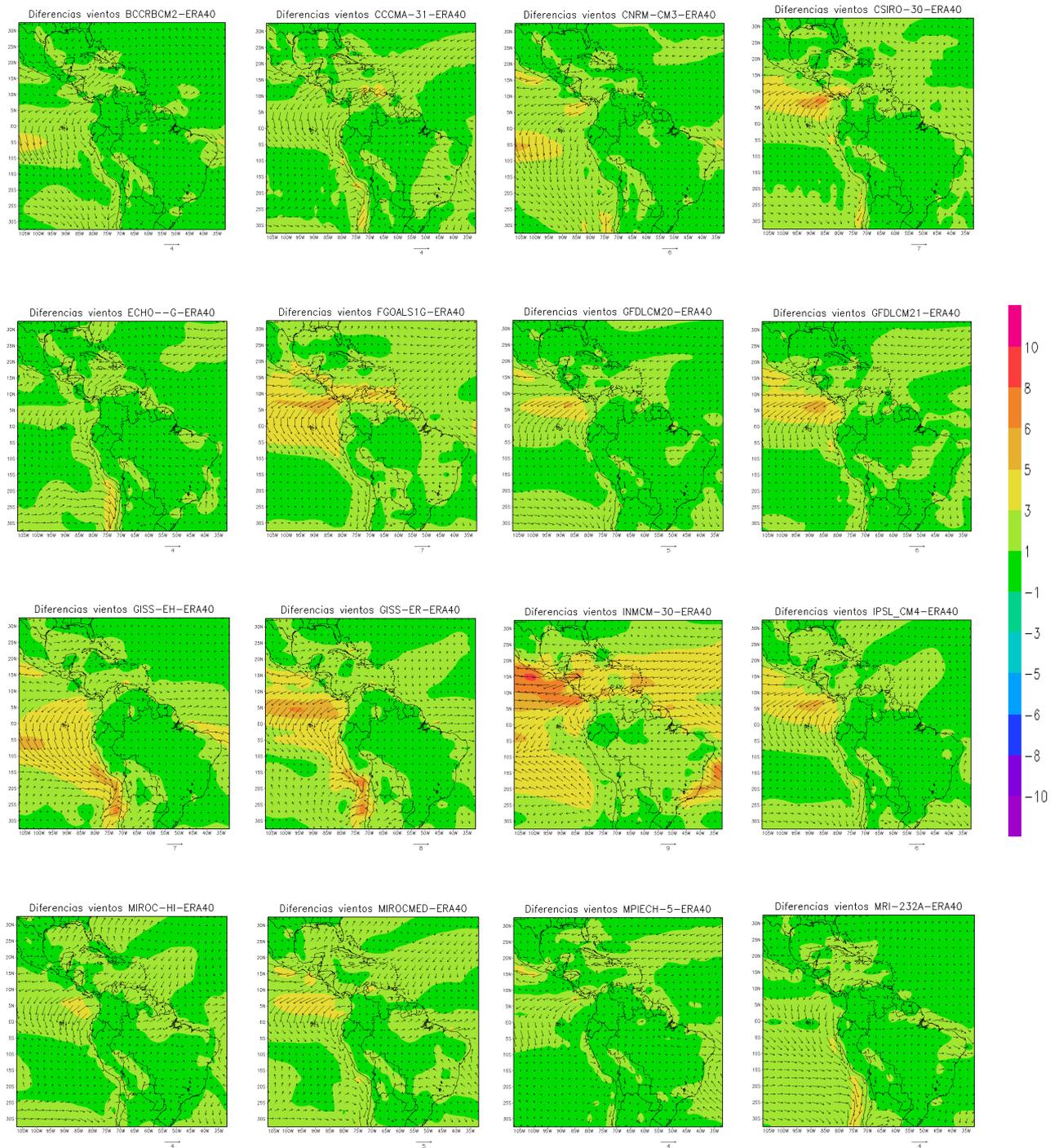
valores vientos en superficie UKHADCM3

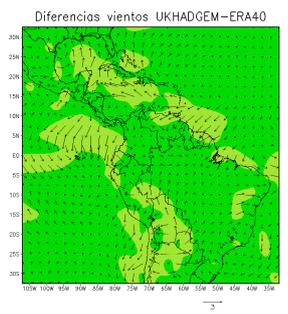
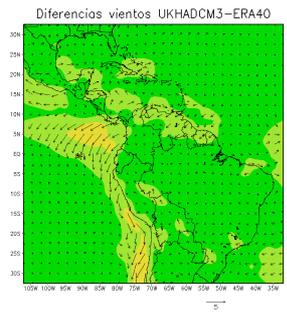


valores vientos en superficie UKHADGEM

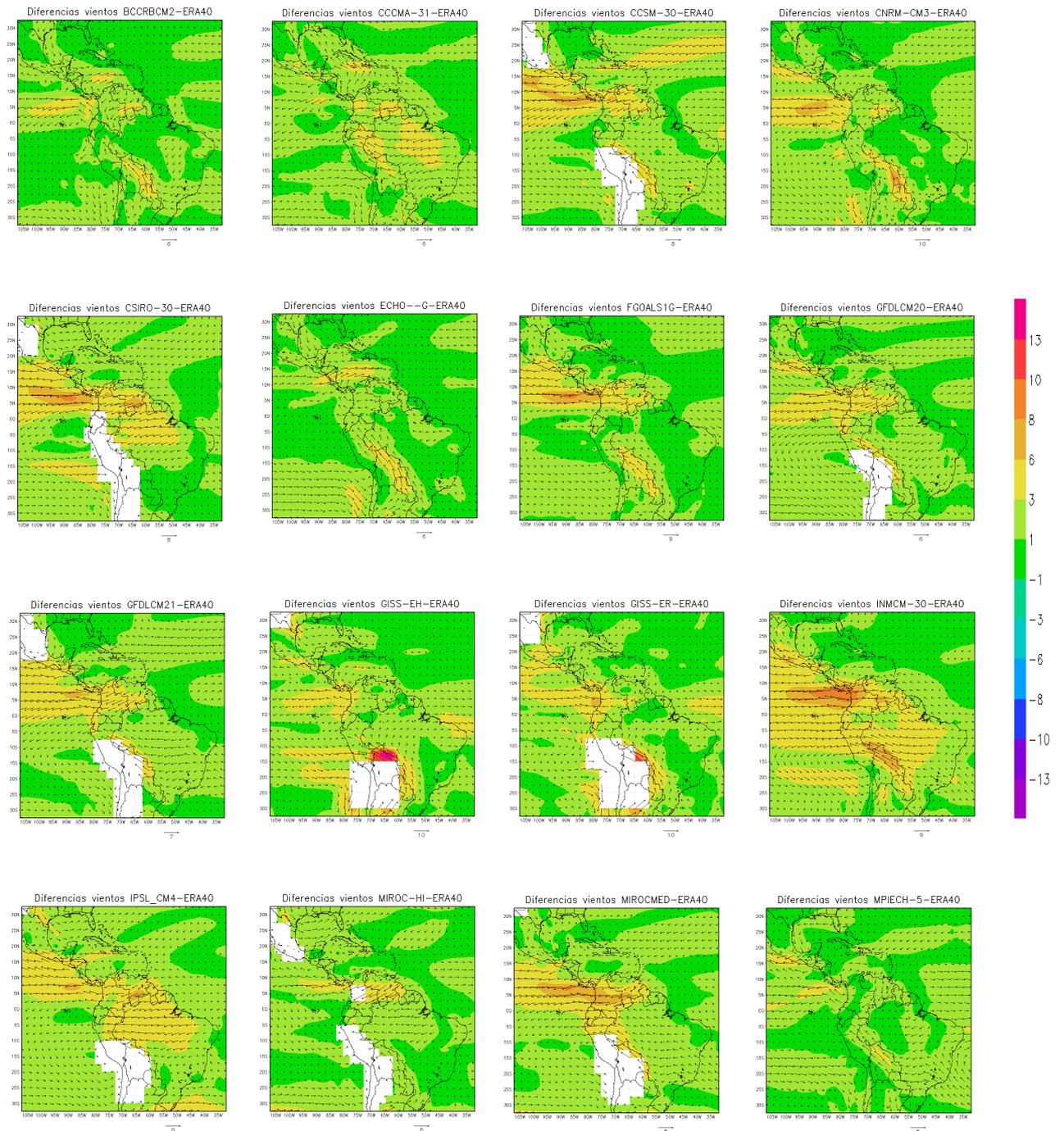


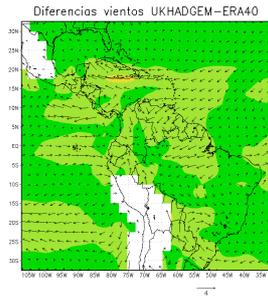
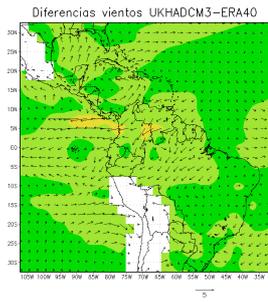
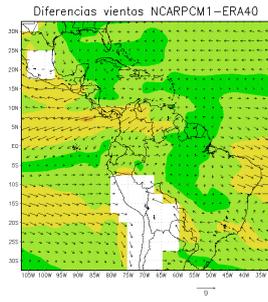
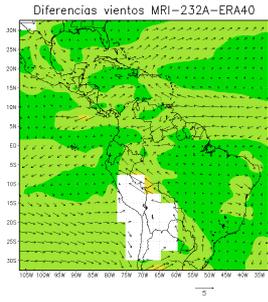
D. Anexos: Distribución espacial del error medio de la intensidad y dirección de viento anual en superficie de los 20 modelos evaluados con respecto a los datos de referencia ERA-40.



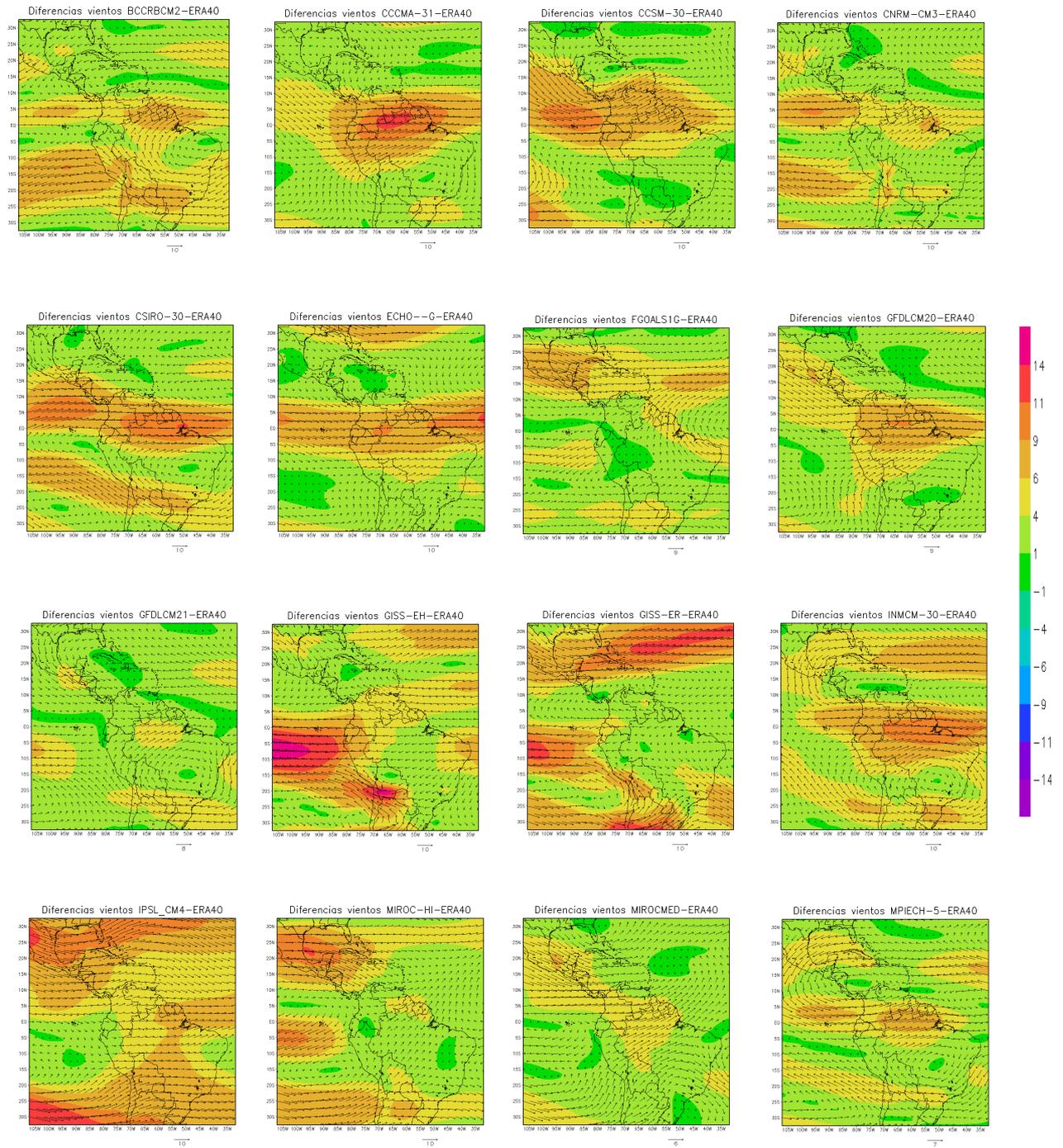


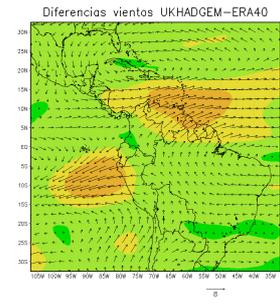
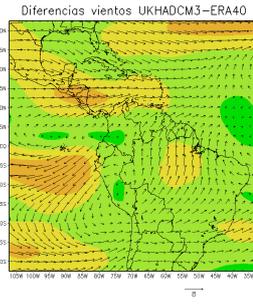
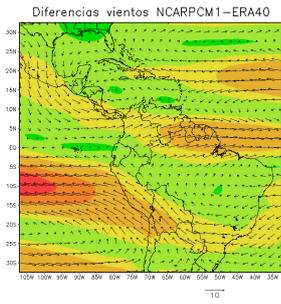
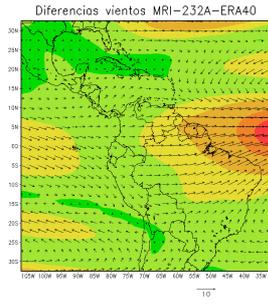
E. **Anexos:** Distribución espacial del error medio de la intensidad y dirección de viento anual a 850hPa de los 20 modelos evaluados con respecto a los datos de referencia ERA-40.



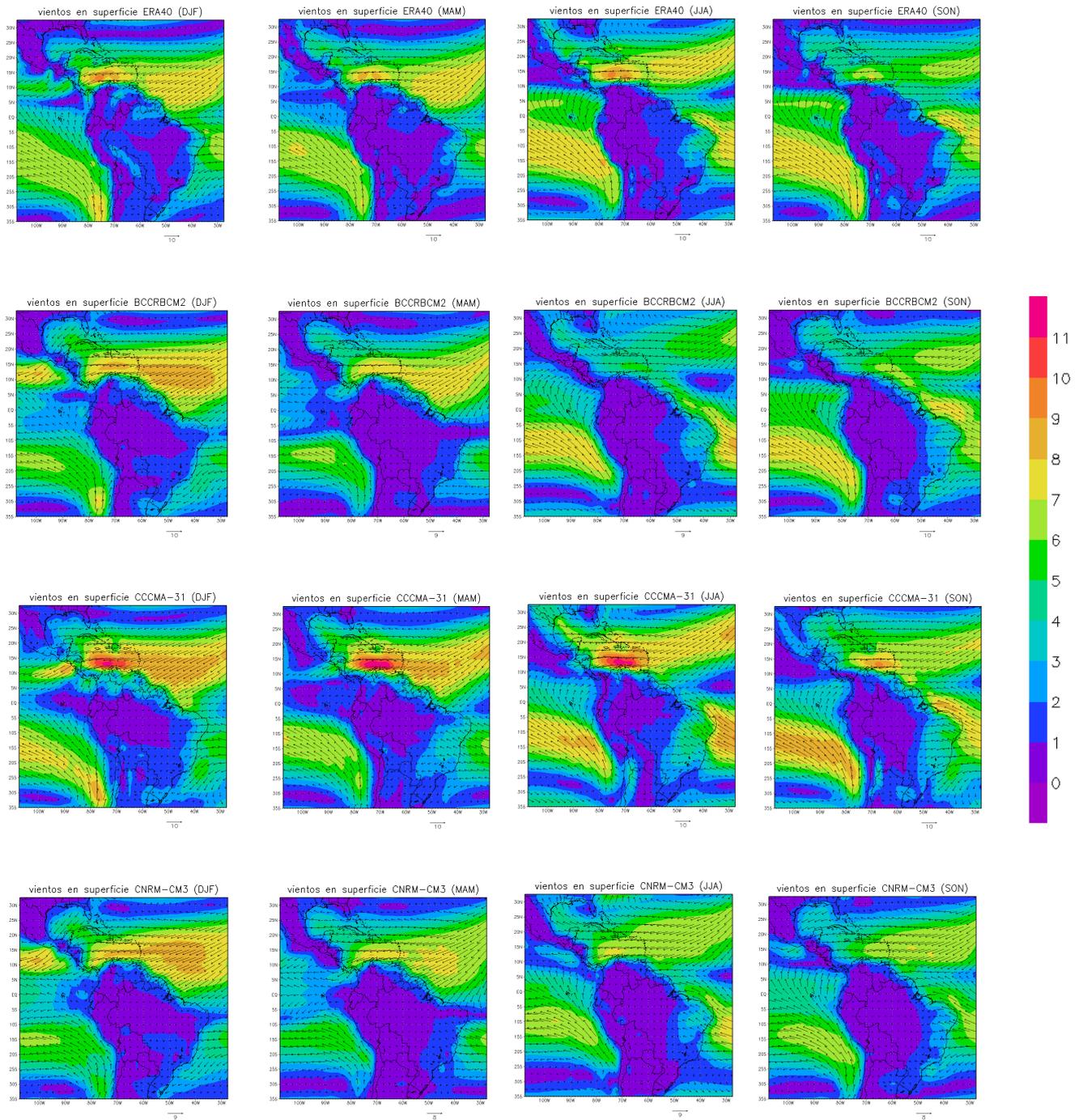


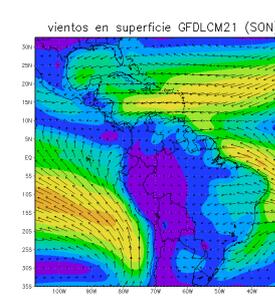
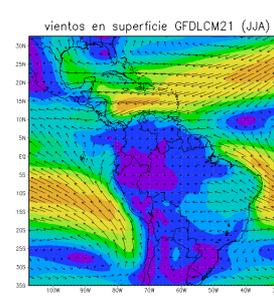
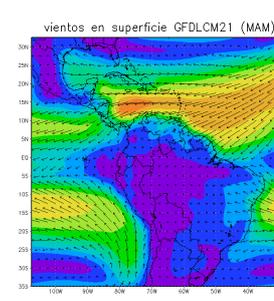
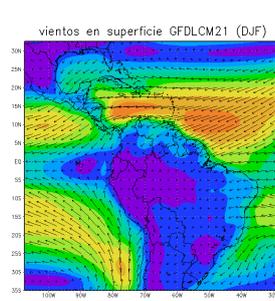
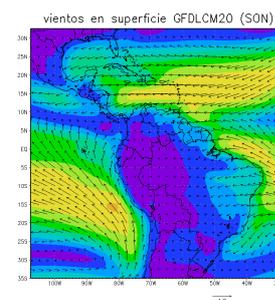
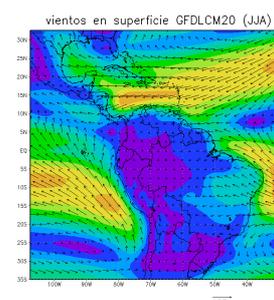
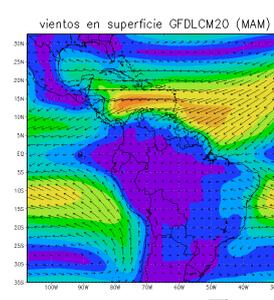
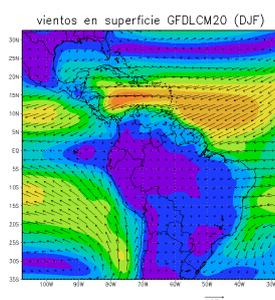
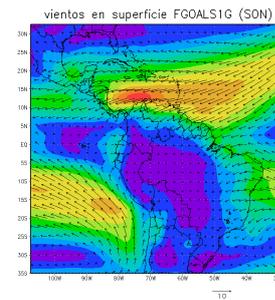
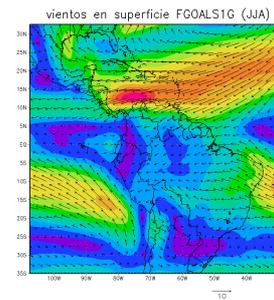
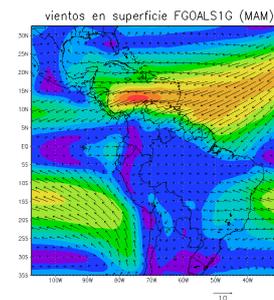
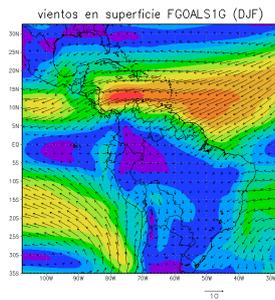
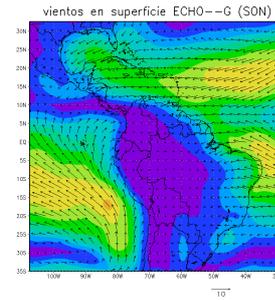
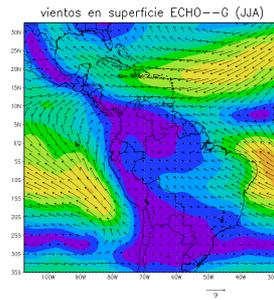
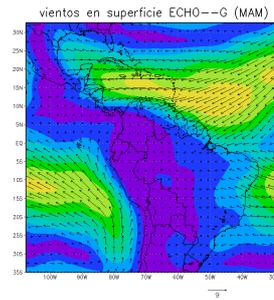
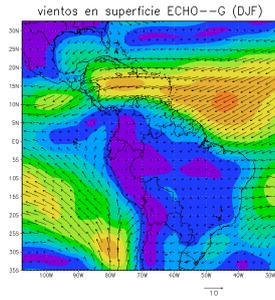
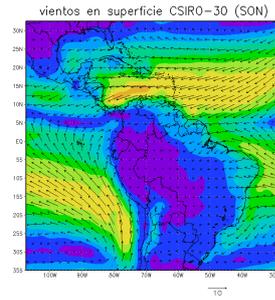
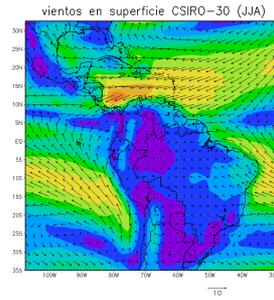
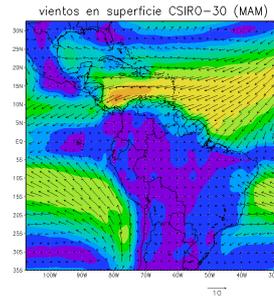
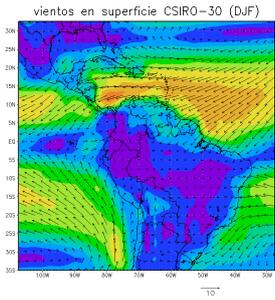
F. **Anexos:** Distribución espacial del error medio de la intensidad y dirección de viento anual a 200hPa de los 20 modelos evaluados con respecto a los datos de referencia ERA-40.

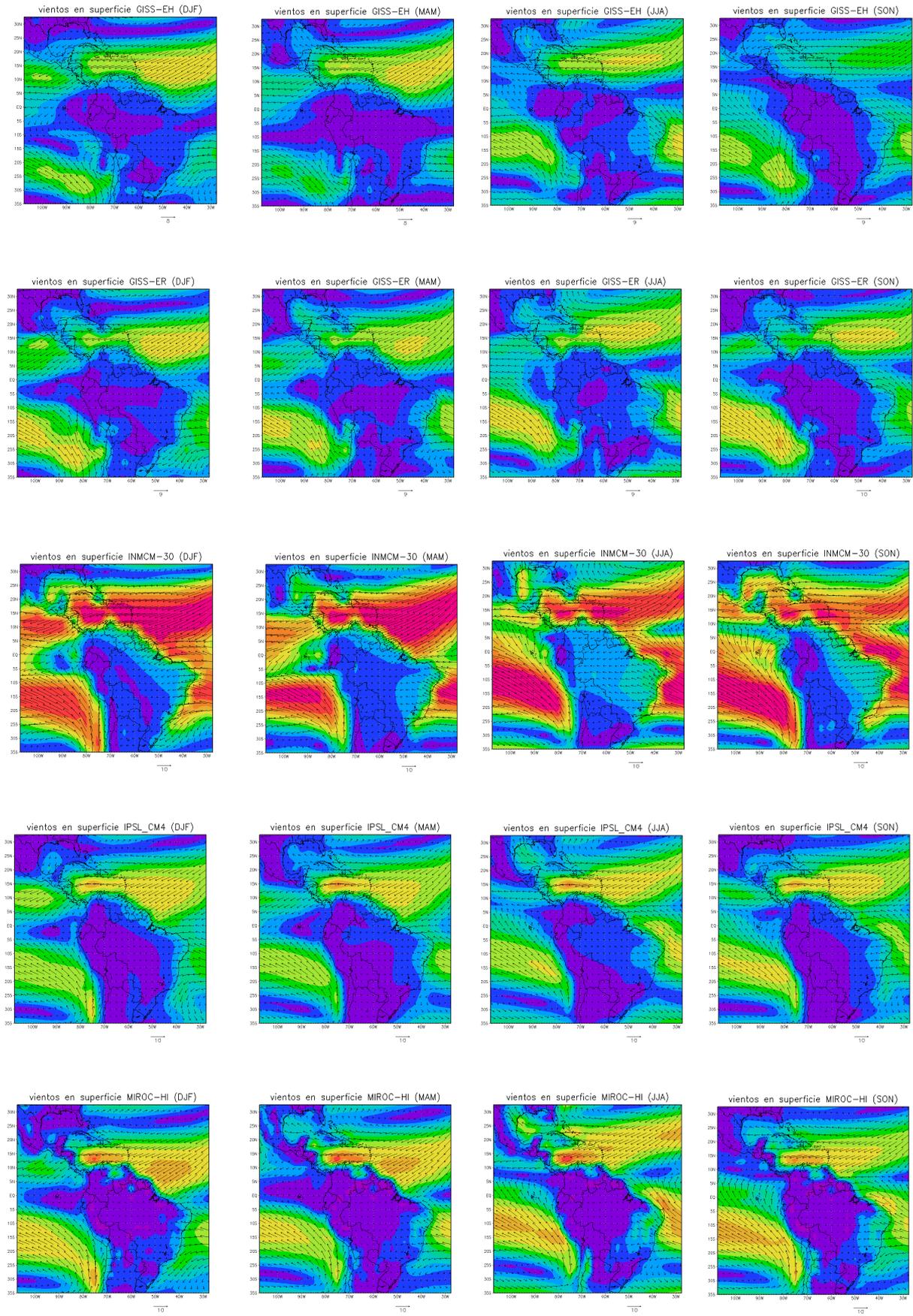


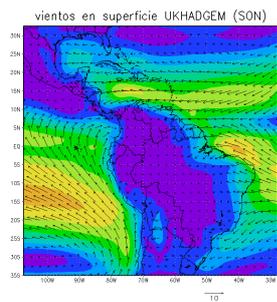
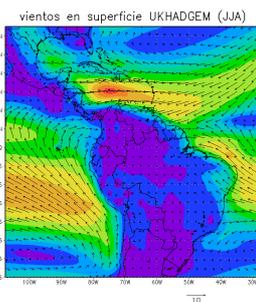
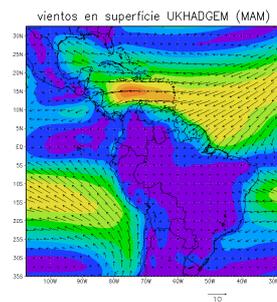
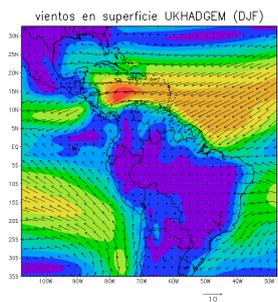
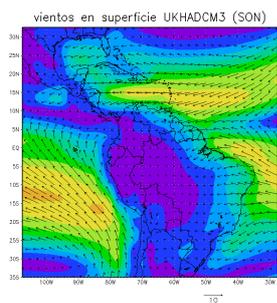
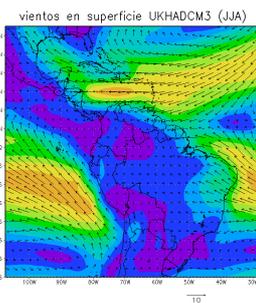
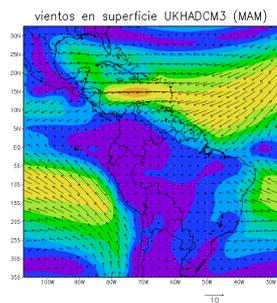
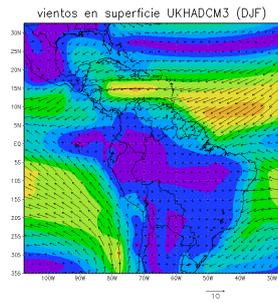
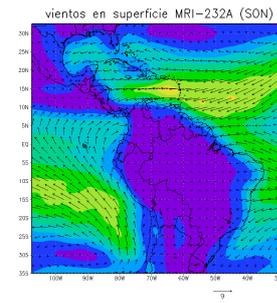
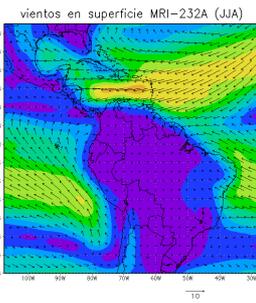
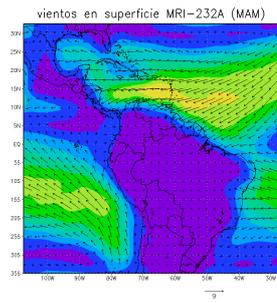
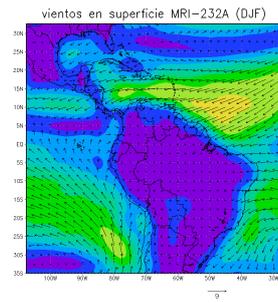
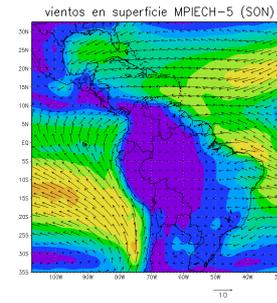
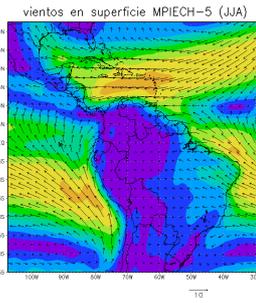
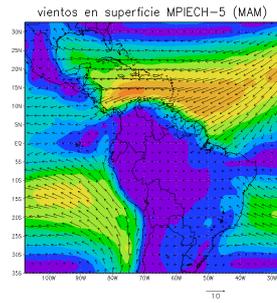
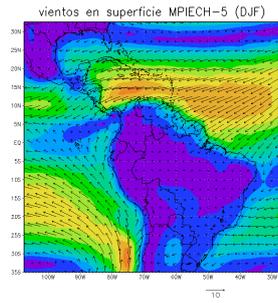
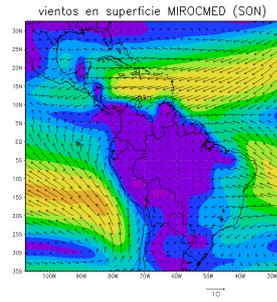
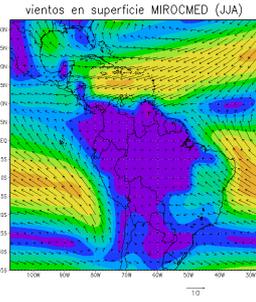
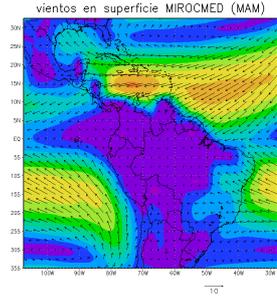
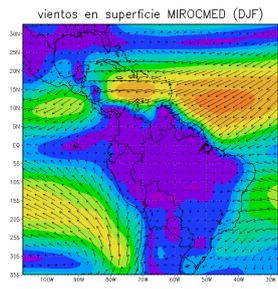


G. Anexos: Distribución de la intensidad y dirección de viento en superficie de las estaciones DJF, MAM, JJA, SON de los datos de referencia ERA-40 y las representaciones de los 20 modelos evaluados.

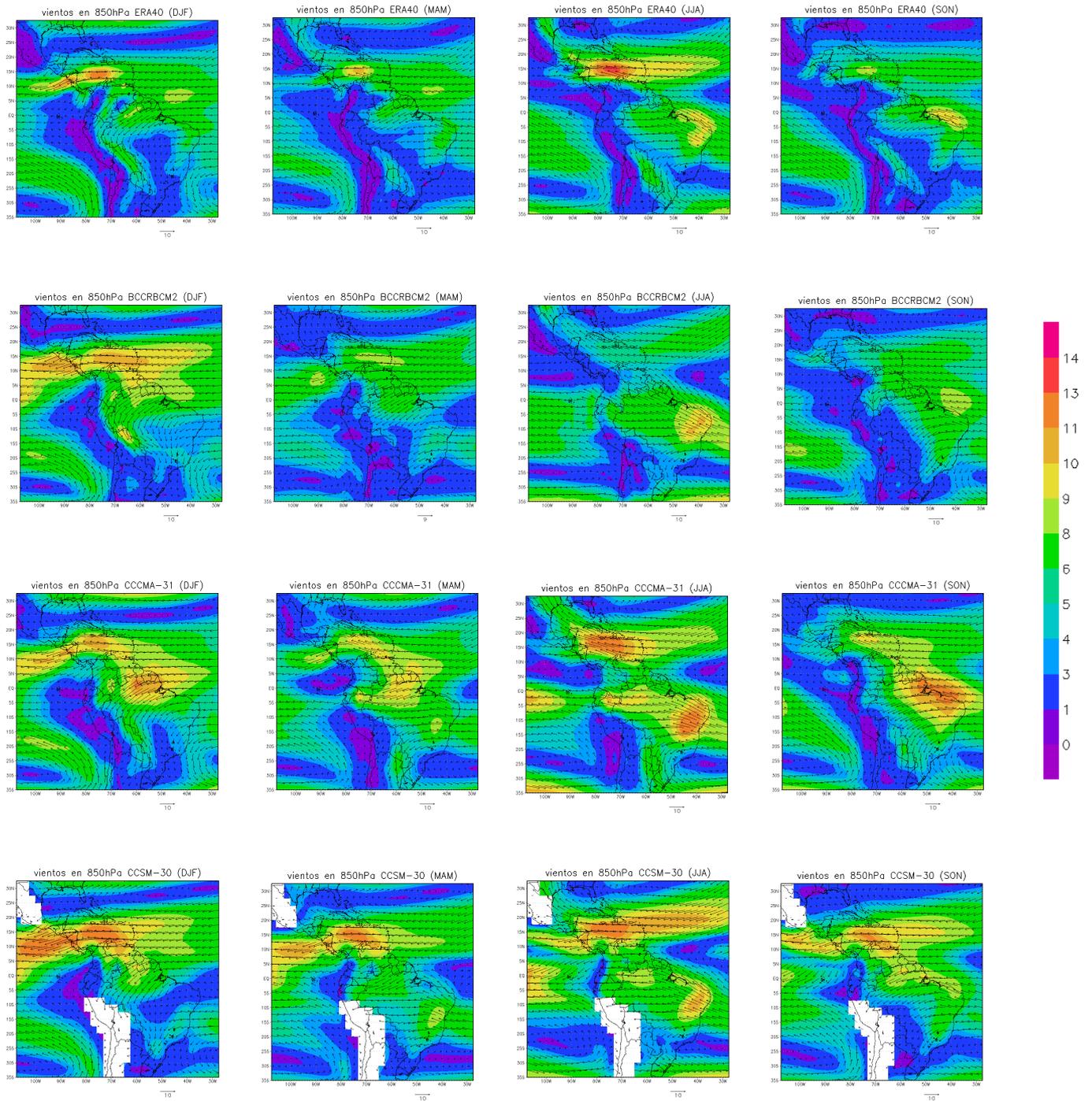


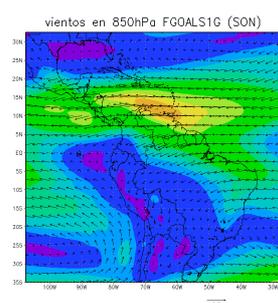
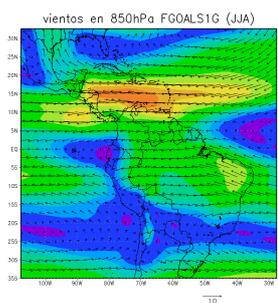
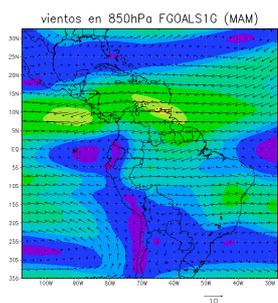
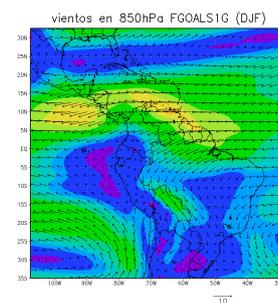
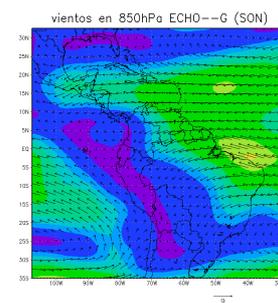
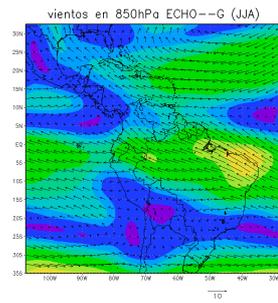
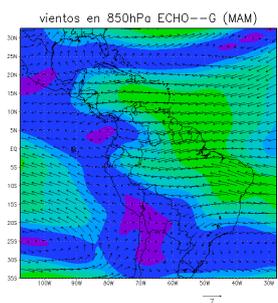
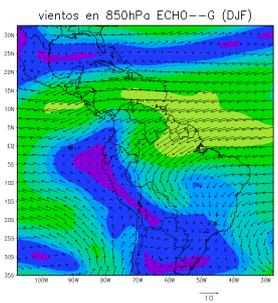
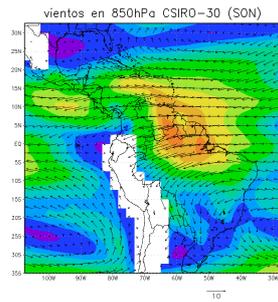
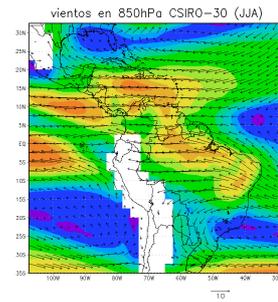
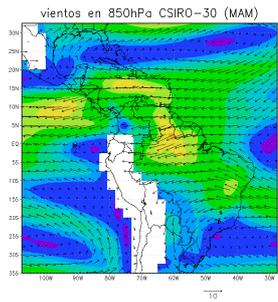
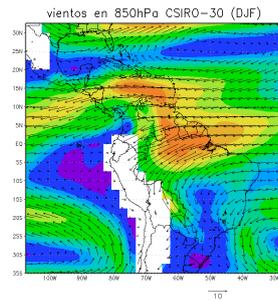
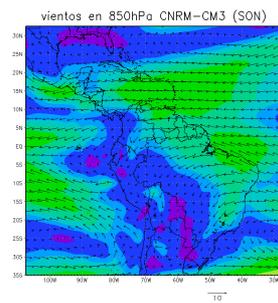
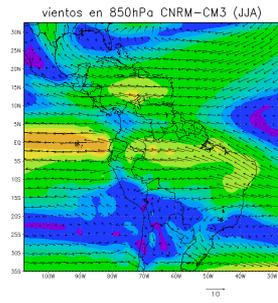
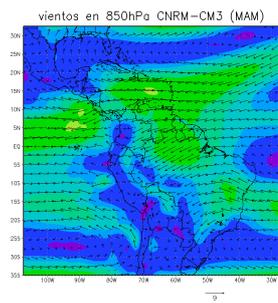
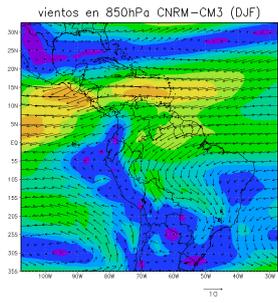


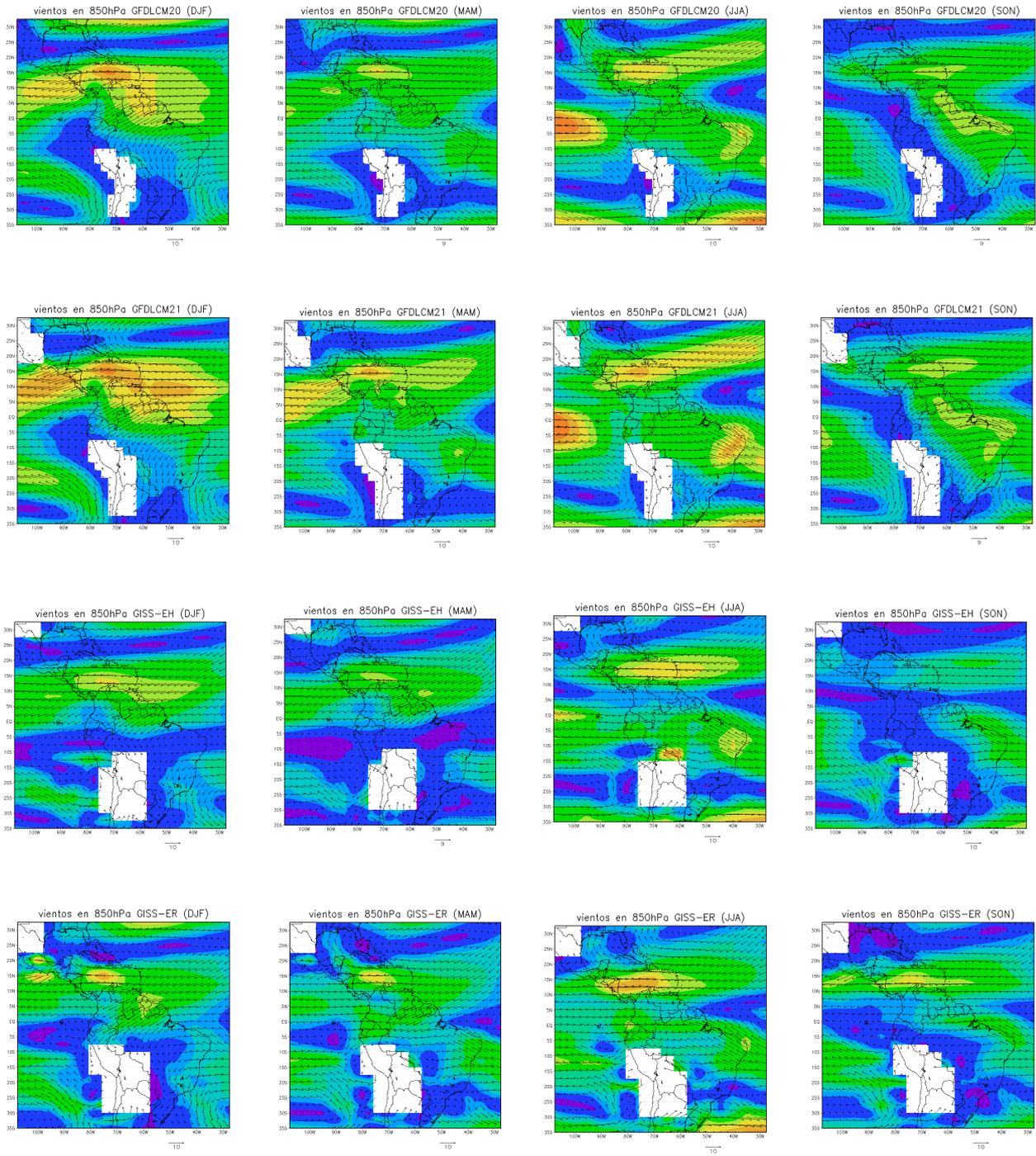


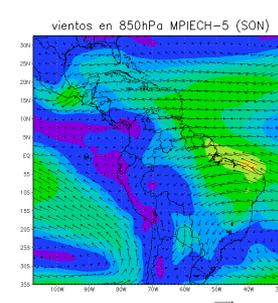
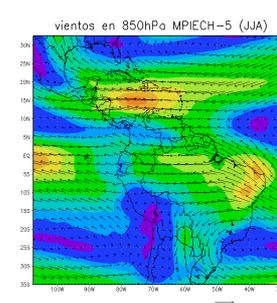
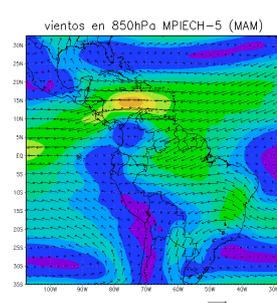
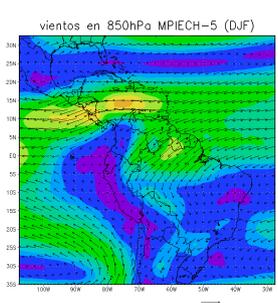
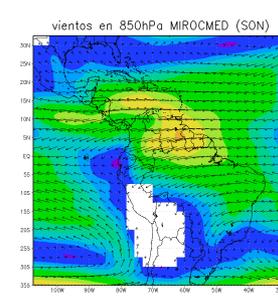
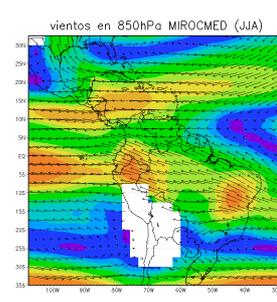
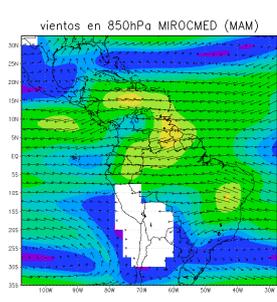
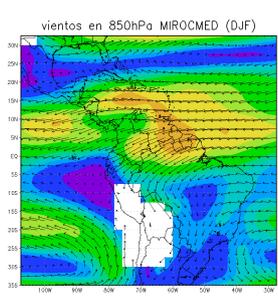
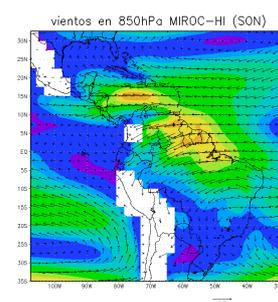
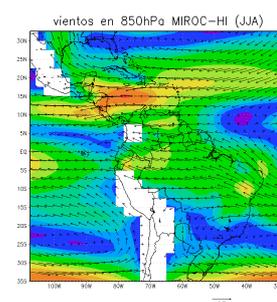
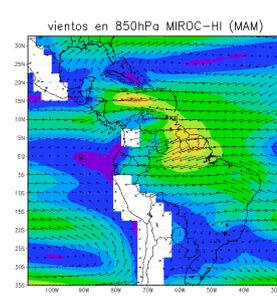
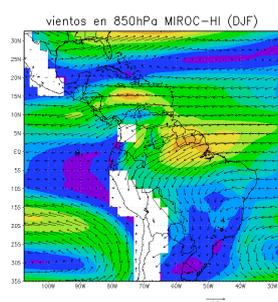
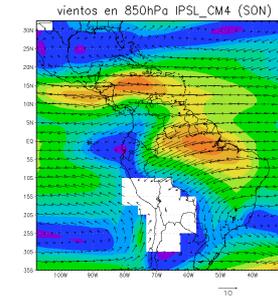
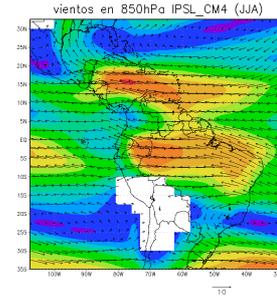
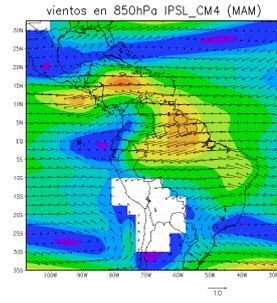
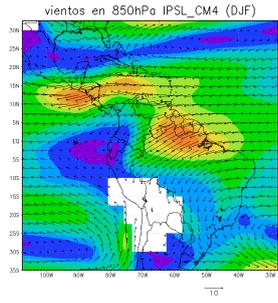
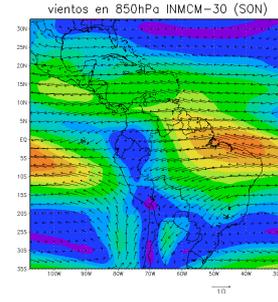
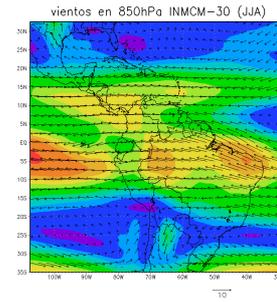
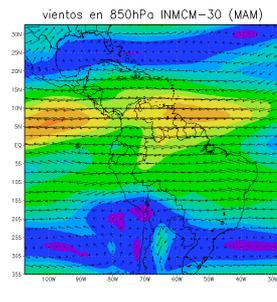
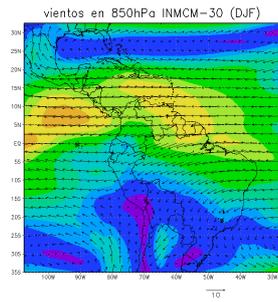


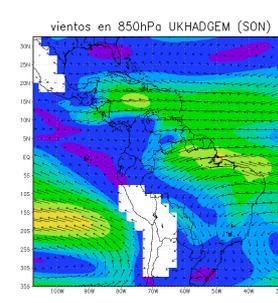
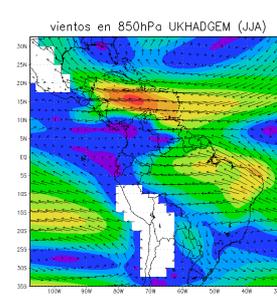
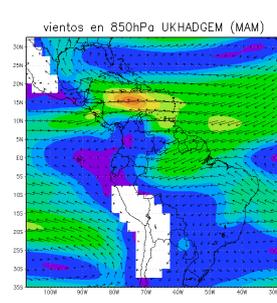
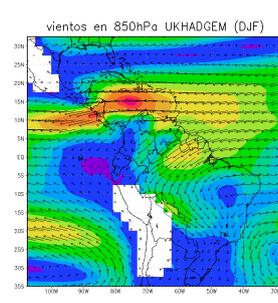
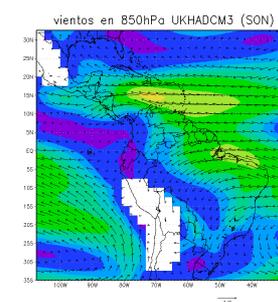
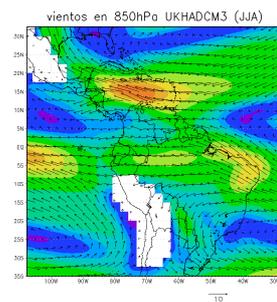
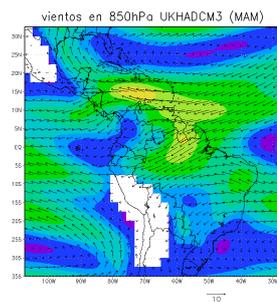
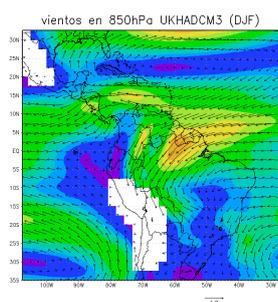
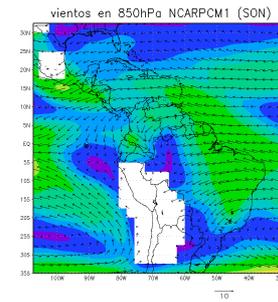
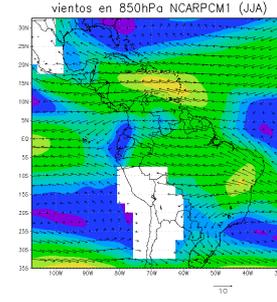
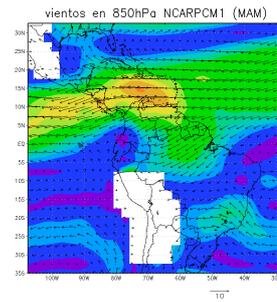
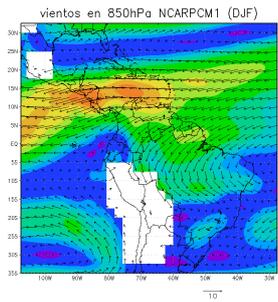
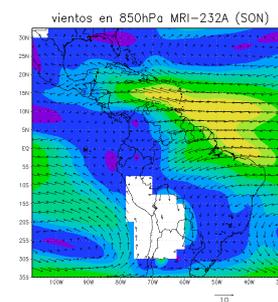
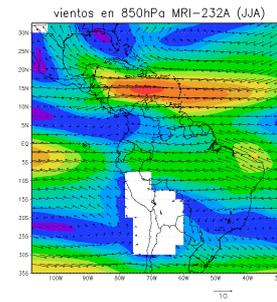
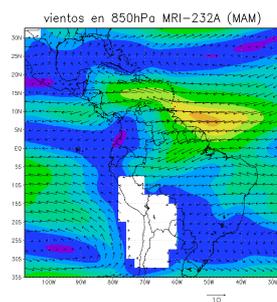
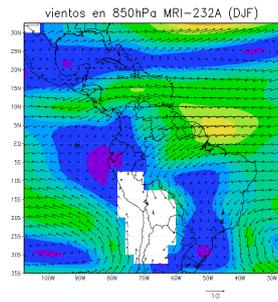
Anexos: Distribución de la intensidad y dirección de viento en 850hPa de las estaciones DJF, MAM, JJA, SON de los datos de referencia ERA-40 y las representaciones de los 20 modelos evaluados.



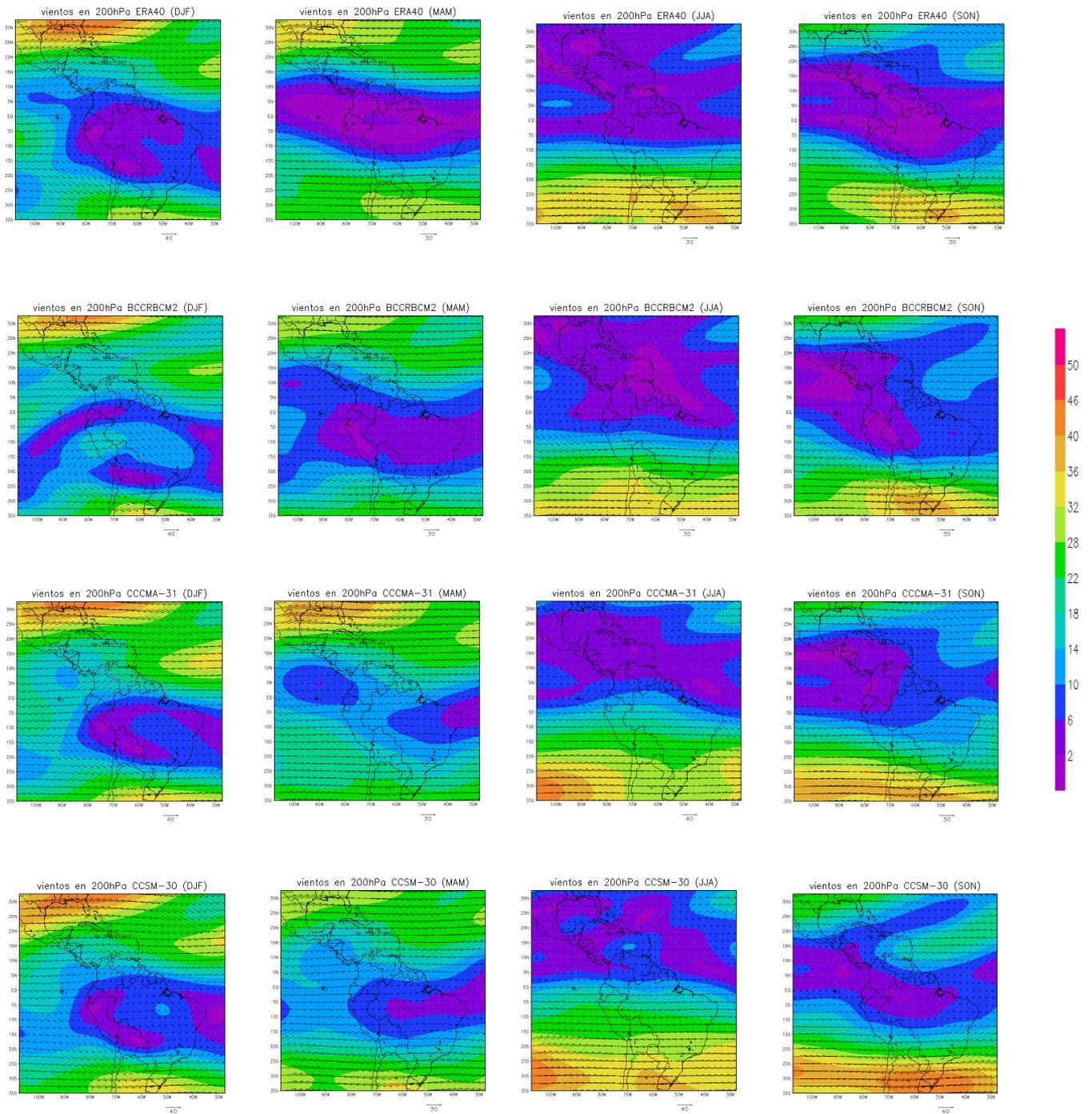


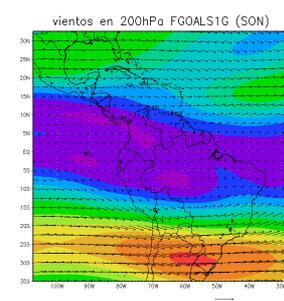
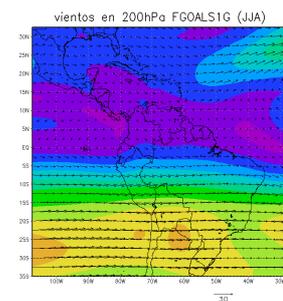
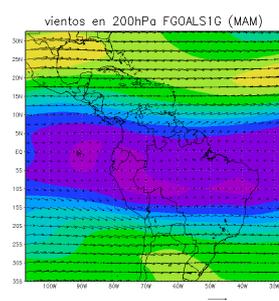
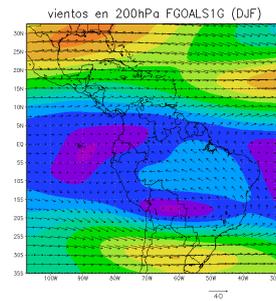
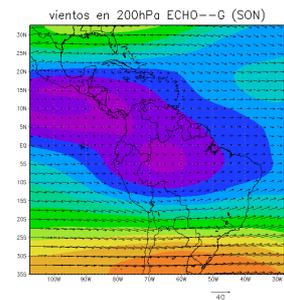
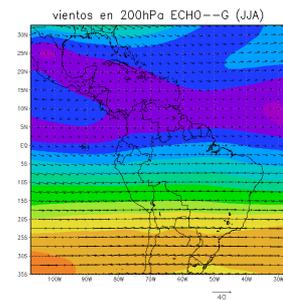
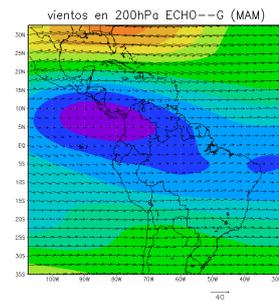
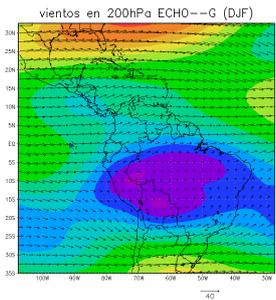
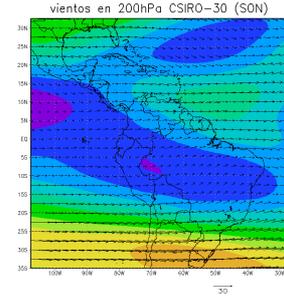
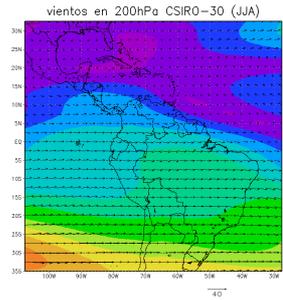
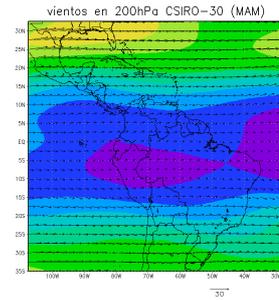
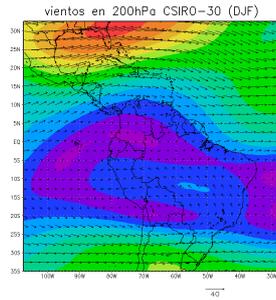
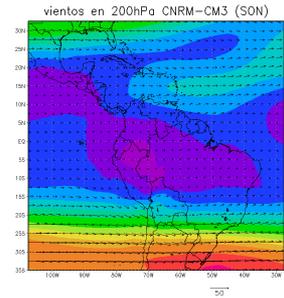
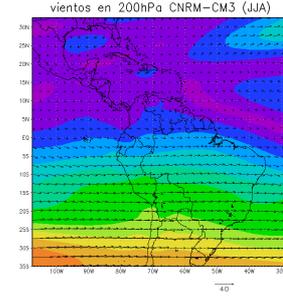
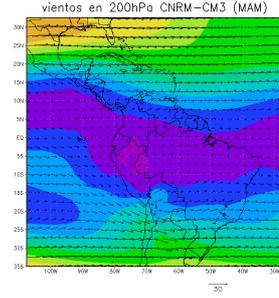
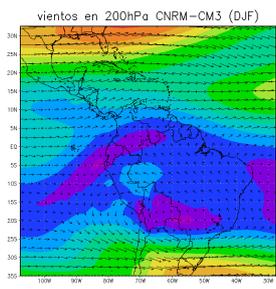


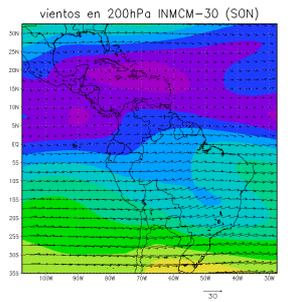
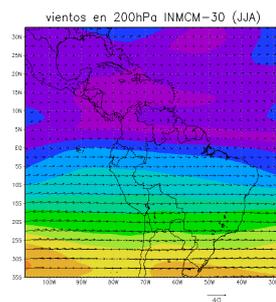
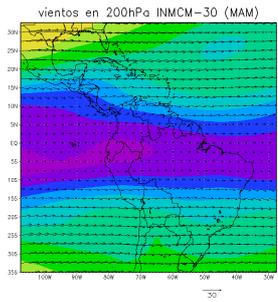
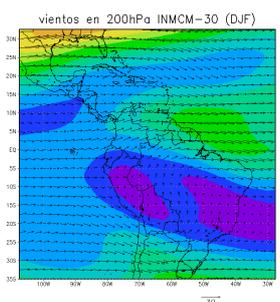
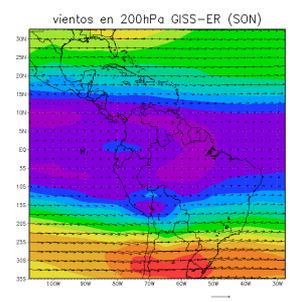
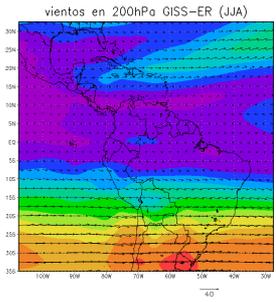
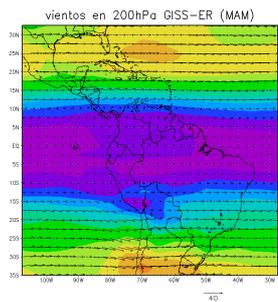
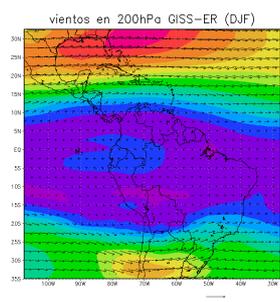
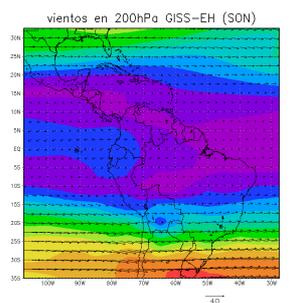
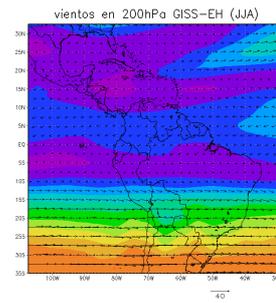
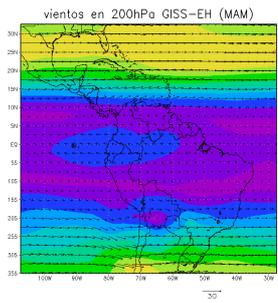
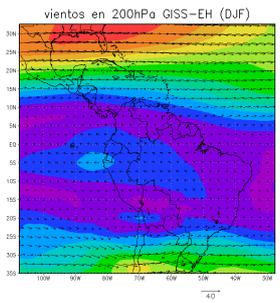
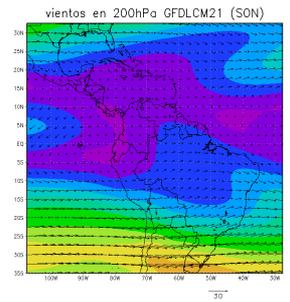
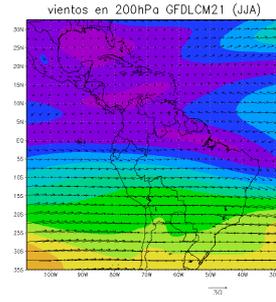
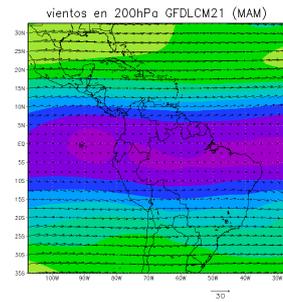
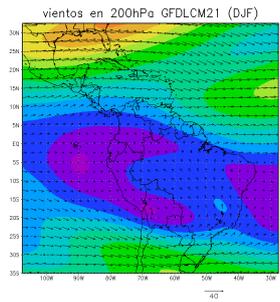
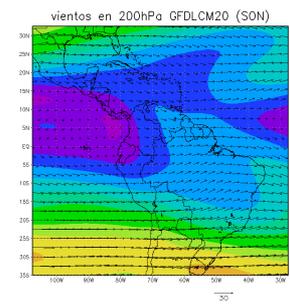
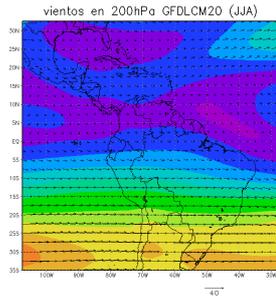
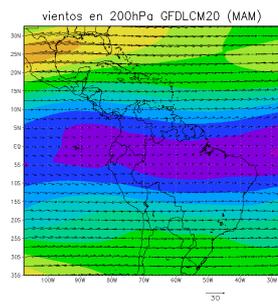
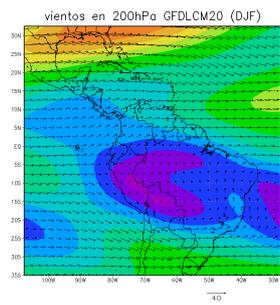


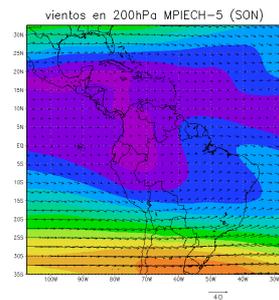
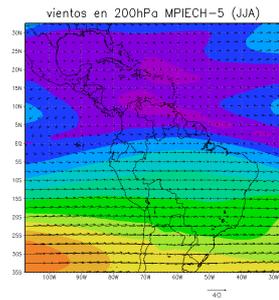
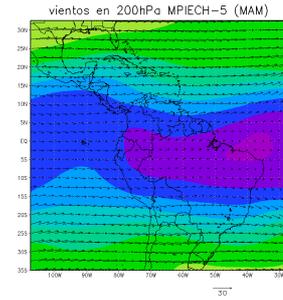
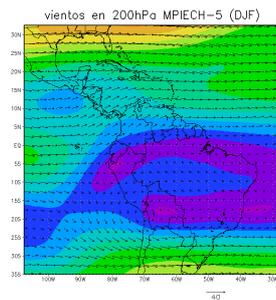
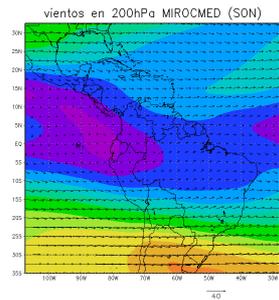
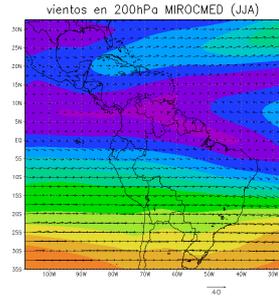
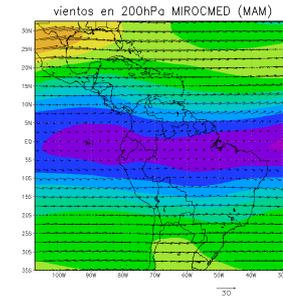
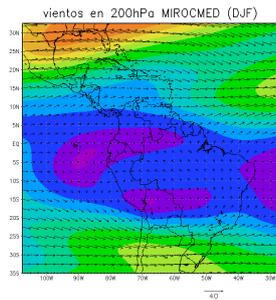
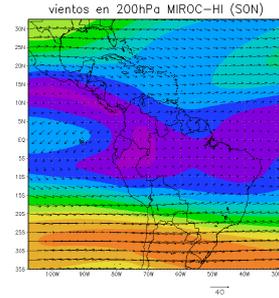
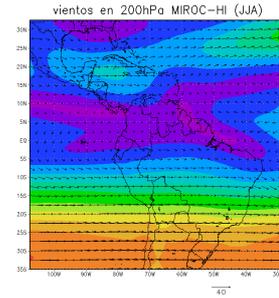
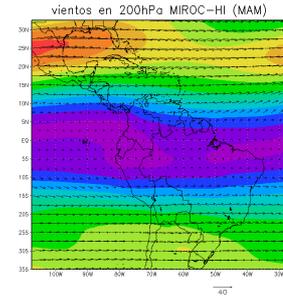
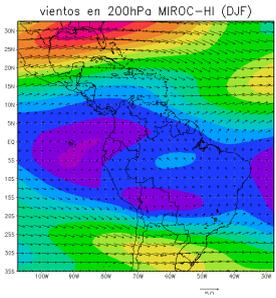
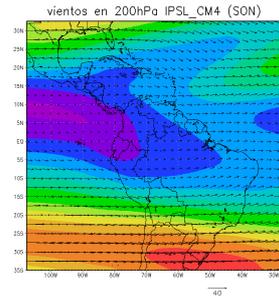
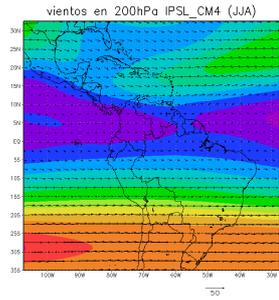
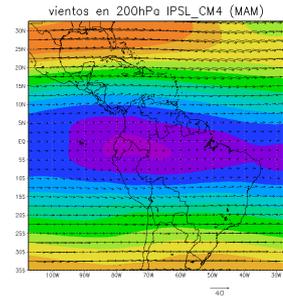
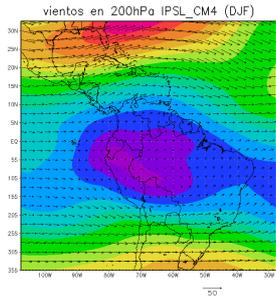


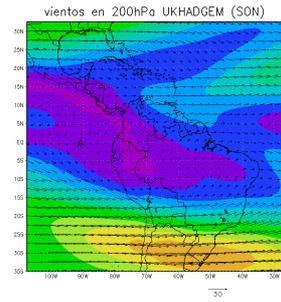
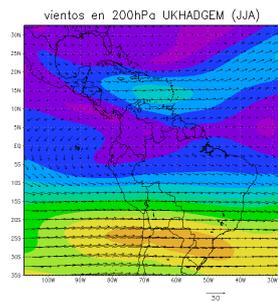
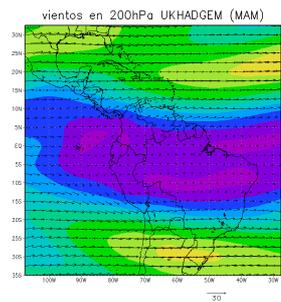
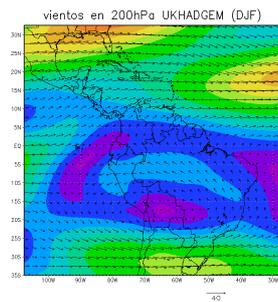
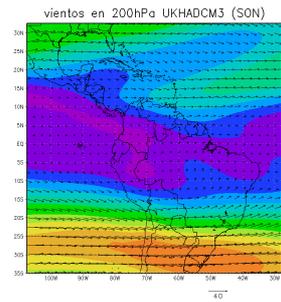
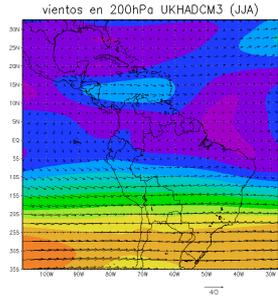
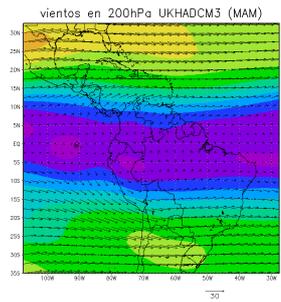
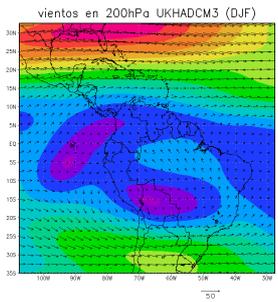
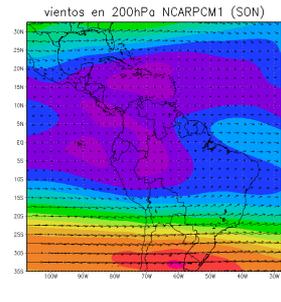
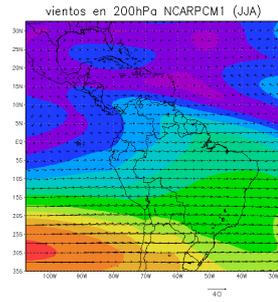
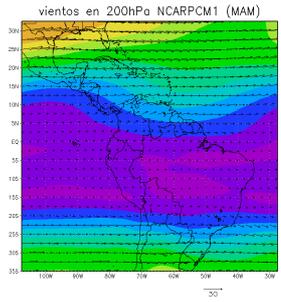
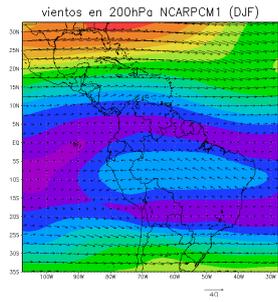
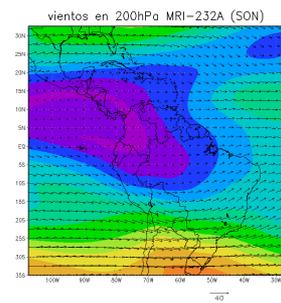
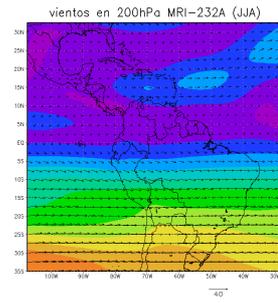
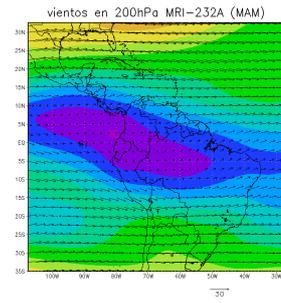
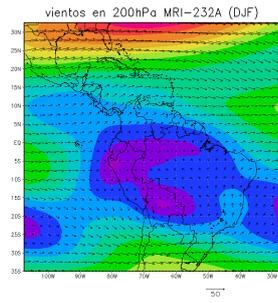
H. **Anexos:** Distribución de la intensidad y dirección de viento en 200 hPa de las estaciones DJF, MAM, JJA, SON de los datos de referencia ERA-40 y las representaciones de los 20 modelos evaluados.



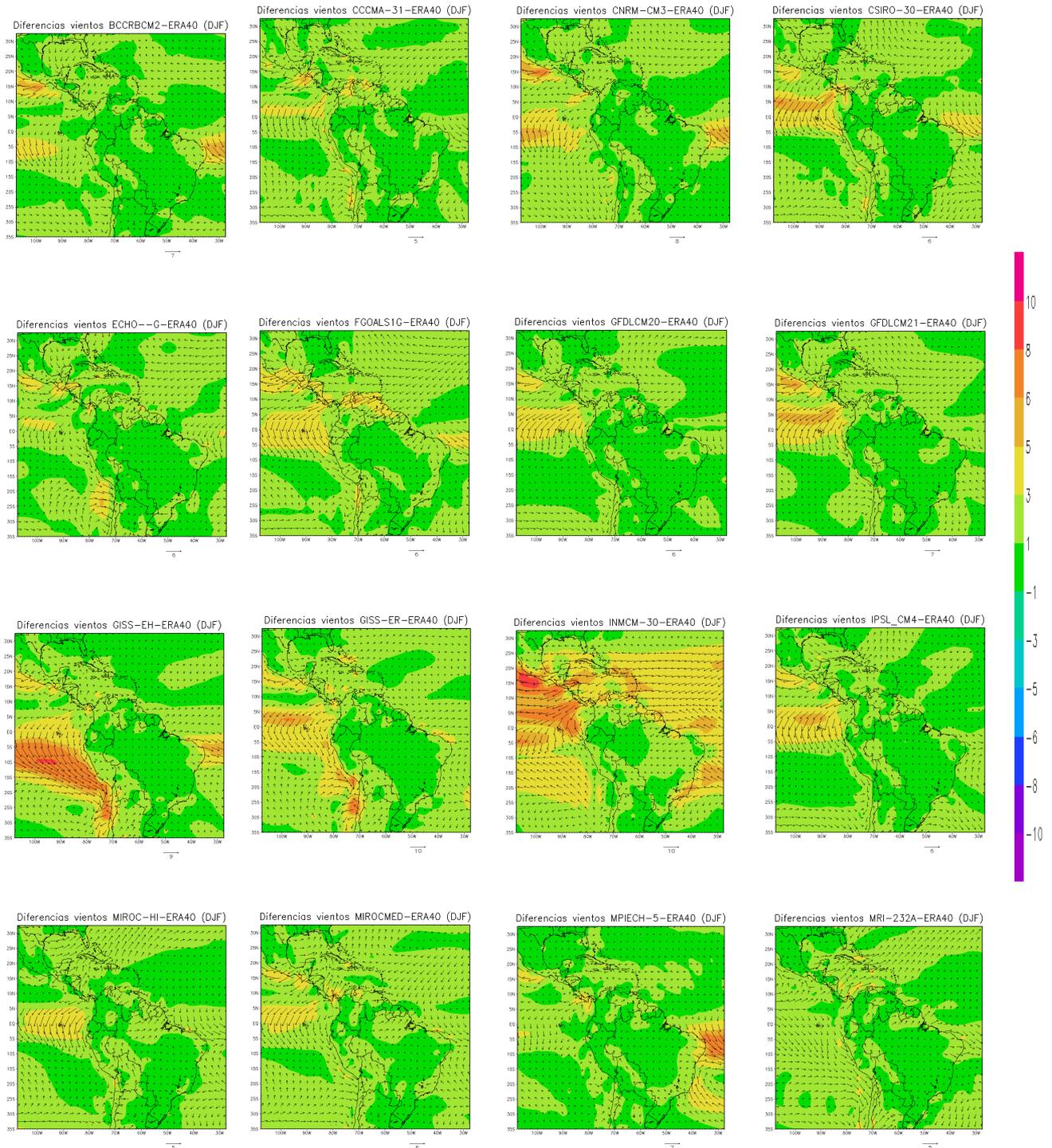




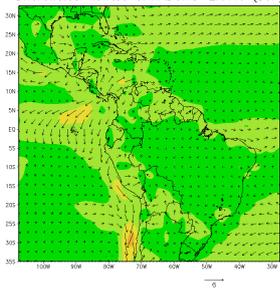




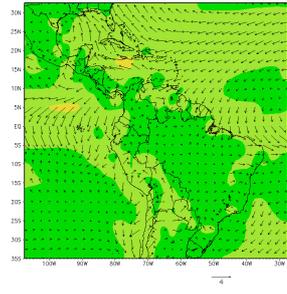
I. **Anexos:** Distribución espacial del error medio de la intensidad y dirección de viento en superficie en la estación DJF de los 20 modelos evaluados con respecto a los datos de referencia ERA-40.



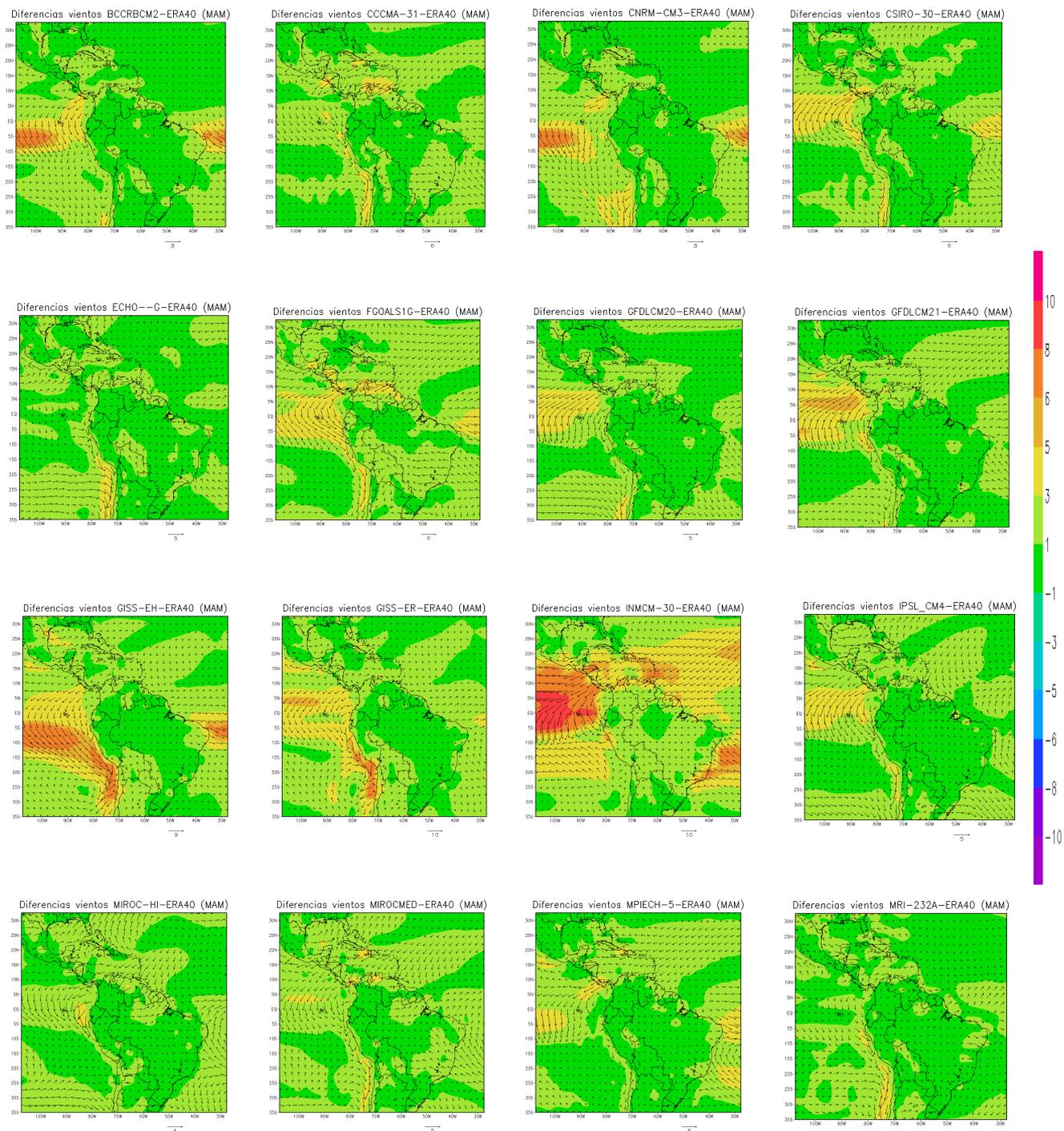
Diferencias vientos UKHADCM3-ERA40 (DJF)

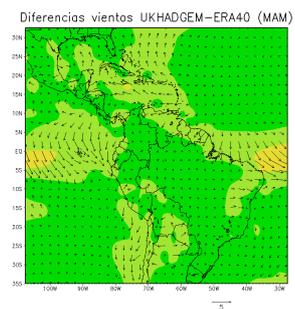
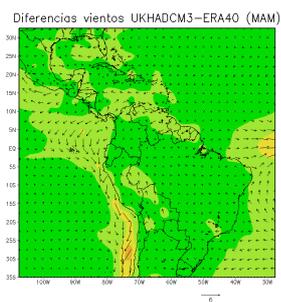


Diferencias vientos UKHADGEM-ERA40 (DJF)

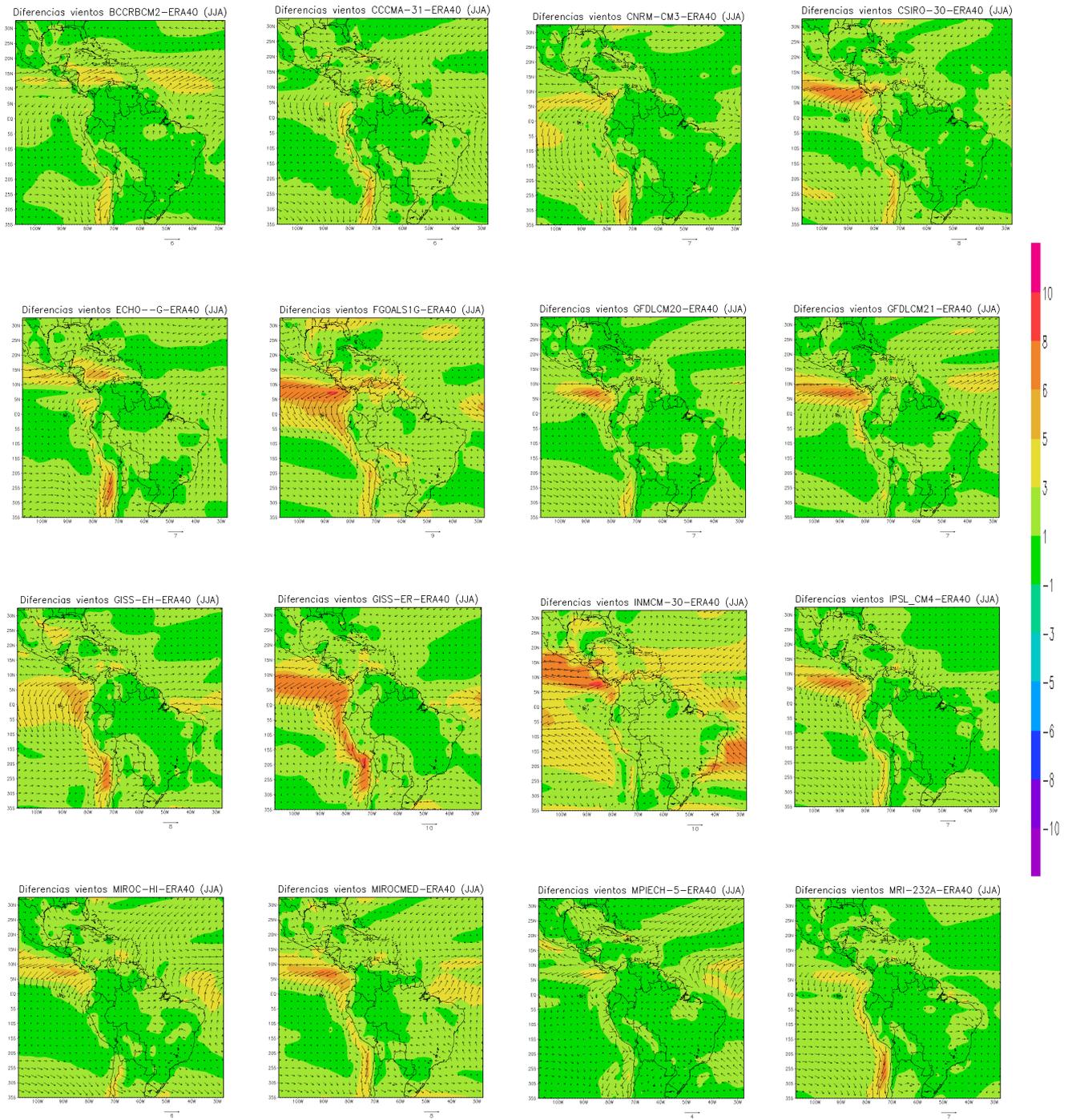


J. Anexos: Distribución espacial del error medio de la intensidad y dirección de viento en superficie en la estación MAM de los 20 modelos evaluados con respecto a los datos de referencia ERA-40.

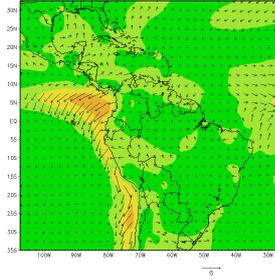




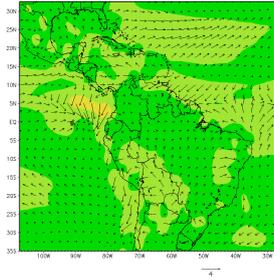
K. Anexos: Distribución espacial del error medio de la intensidad y dirección de viento en superficie en la estación JJA de los 20 modelos evaluados con respecto a los datos de referencia ERA-40.



Diferencias vientos UKHADCM3-ERA40 (JJA)



Diferencias vientos UKHADGEM-ERA40 (JJA)



L. **Anexos:** Distribución espacial del error medio de la intensidad y dirección de viento en superficie en la estación SON de los 20 modelos evaluados con respecto a los datos de referencia ERA-40.

