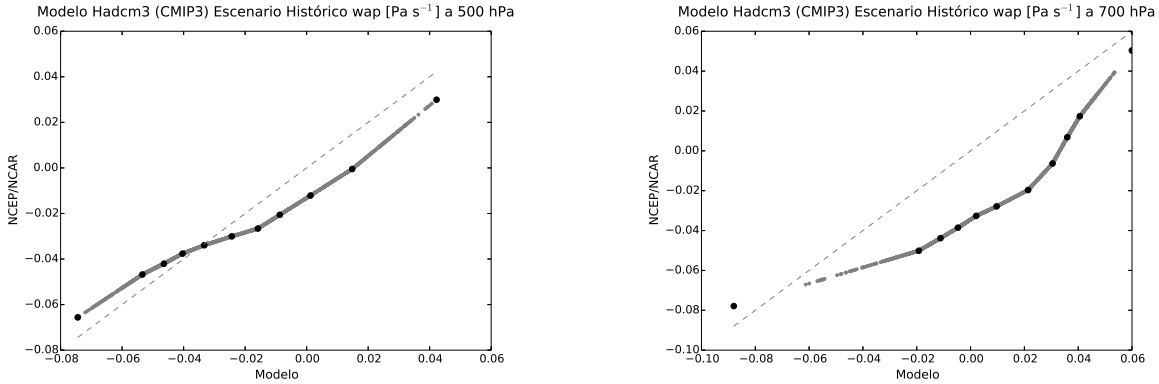
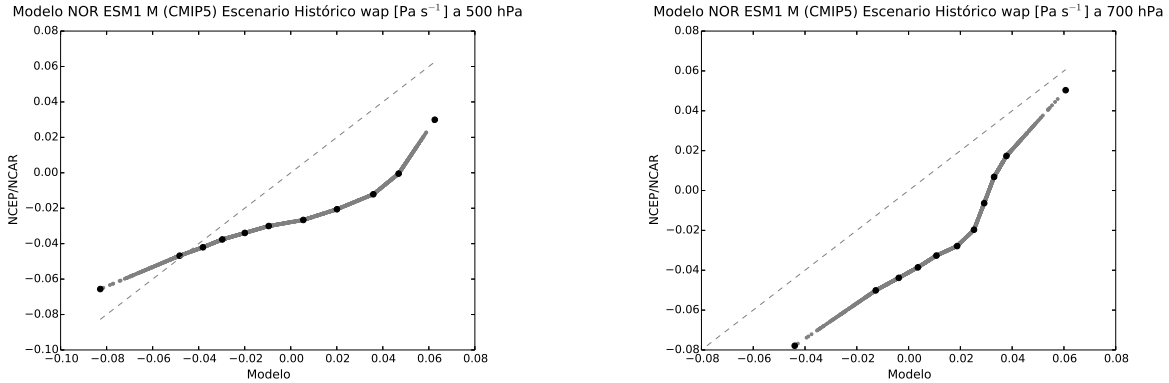
algunos modelos y niveles no es tan clara esta característica, como lo es NOR ESM1 M y NOR ESM1 ME a los 700 hPa. La altura geopotencial tiene un comportamiento satisfactorio en cuanto a la magnitud, se puede destacar como una de las que mejor se ajusta a la magnitud de gran escala en el siglo XX. Omega, por su lado, es sobrestimada de forma importante, donde para todos los percentiles, exceptuando los valores máximos, corresponden a valores negativos (convección) para NCEP/NCAR, mientras los modelos, presentan subsidencia para la mayoría de los percentiles. Los vientos zonales (Vientos U) tiene un gran ajuste a los obsevados para el modelo Had CM3 (CMIP3) en ambos niveles. En los modelos de CMIP5 se tiene un comportamiento similar para los 500 y 700 hPa, donde el primer nivel exhibe sobrestimación de los primeros percentiles y subestimación de los mayores, y el segundo se encuentra subestimado para toda la distribución.

Se presentan los gráficos Cuantil-a-Cuantil de las variables Velocidad Vertical Omega y Velocidad meridional U para los tres modelos seleccionados en el Capítulo 3 sobre los dos niveles de análisis. Las gráficas de las otras variables se encuentran en el Apéndice C.



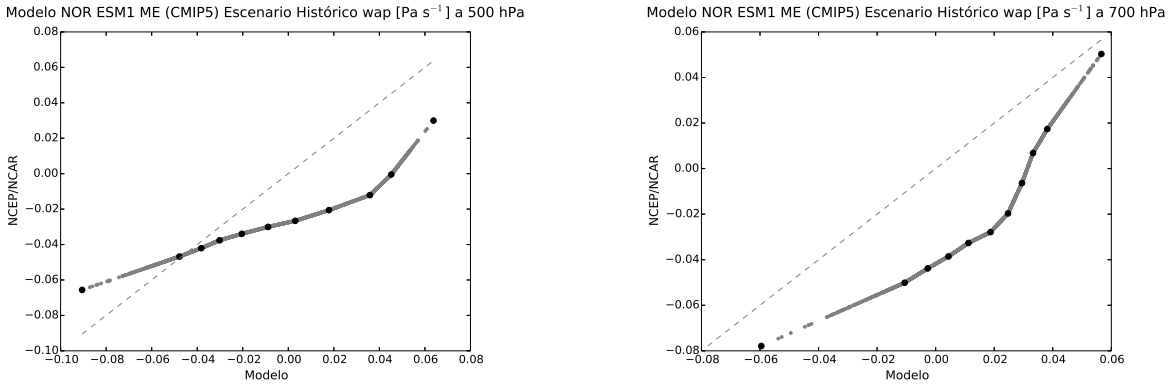
(a) (b)

Figura 4.8: Relacion Cuantil a Cuantil del modelo HAD CM3 (CMIP3) relativo a la variabilidad en Reanálisis para la variable Velocidad Vertical Omega



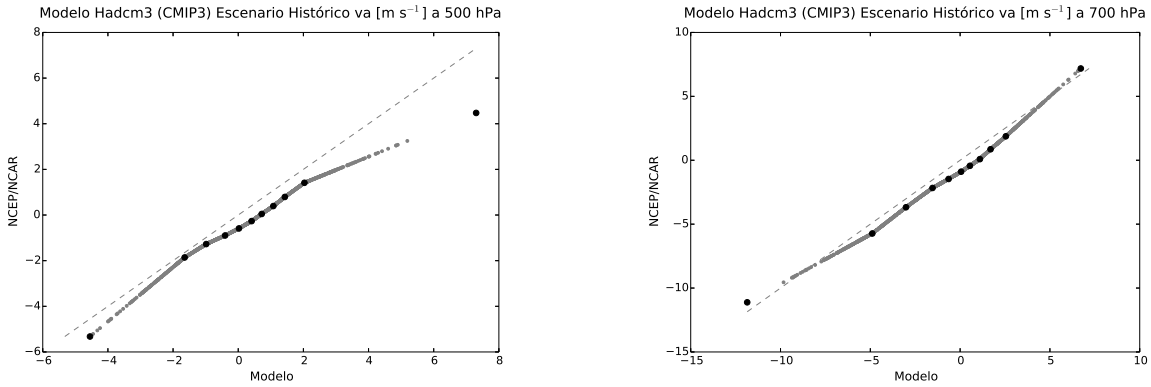
(a) (b)

Figura 4.9: Relacion Cuantil a Cuantil del modelo NOR ESM1 M (CMIP5) relativo a la variabilidad en Reanálisis para la variable Velocidad Vertical Omega



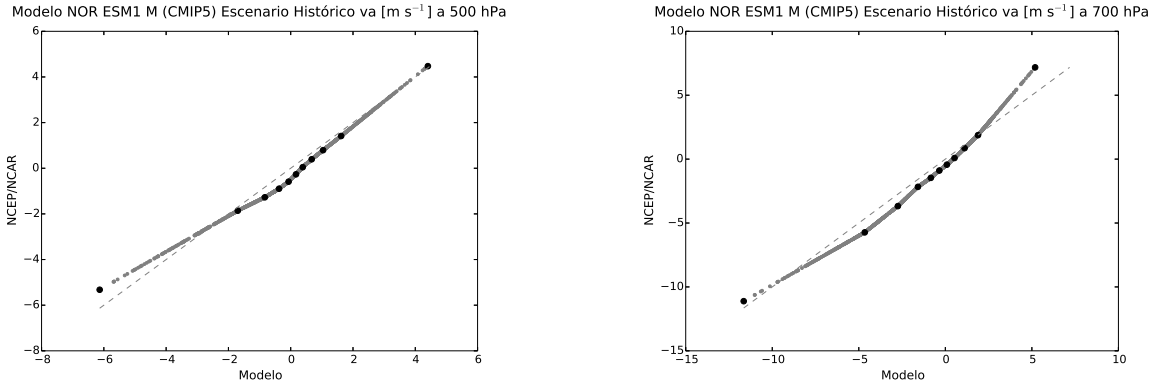
(a) (b)

Figura 4.10: Relación Cuantil a Cuantil del modelo NOR ESM1 ME (CMIP5) relativo a la variabilidad en Reanálisis para la variable Velocidad Vertical Omega



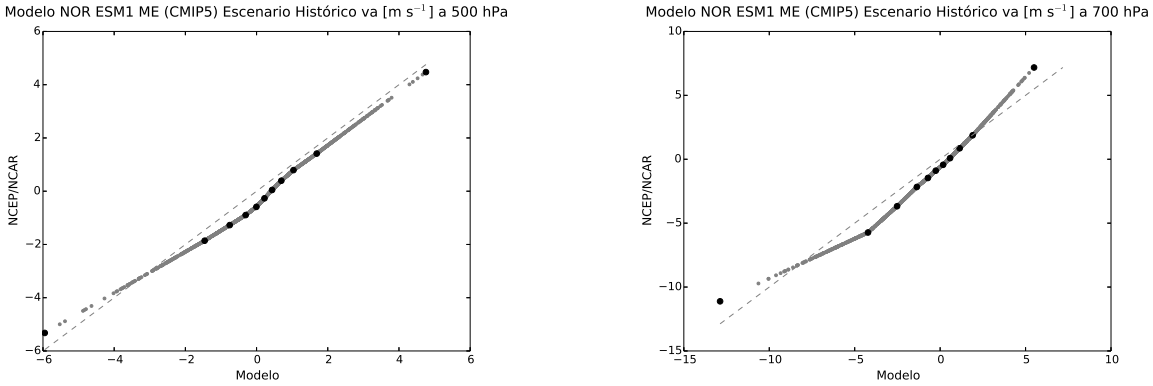
(a) (b)

Figura 4.11: Relación Cuantil a Cuantil del modelo HAD CM3 (CMIP3) relativo a la variabilidad en Reanálisis para la variable Velocidad Meridional V



(a) (b)

Figura 4.12: Relación Cuantil a Cuantil del modelo NOR ESM1 M (CMIP5) relativo a la variabilidad en Reanálisis para la variable Velocidad Meridional V



(a) (b)

Figura 4.13: Relación Cuantil a Cuantil del modelo NOR ESM1 ME (CMIP5) relativo a la variabilidad en Reanálisis para la variable Velocidad Meridional V

4.3. Proyección probabilística No-Paramétrica de lluvia

Una vez se tienen las herramientas de ajuste cuantil a cuantil, se obtienen las zonas de los diferentes escenarios de cada modelo validado usando como objetivo la hidroclimatología de Colombia. Cada una de estas series es reproyectada de acuerdo al modelo, nivel y variable para luego ser transformados en precipitación de manera probabilística usando histogramas conjuntos entre la precipitación y la variable macroclimática del Reanálisis. De esta manera se hicieron múltiples realizaciones de series de precipitación futuras bajo escenarios de cambio climático.

En las Figuras 4.14 y 4.15 puede observarse el histograma conjunto entre humedad relativa y Velocidad Vertical Omega para 700 hPa con la precipitación. Específicamente, la velocidad meridional presenta relaciones que tienden a la linealidad, sin embargo, como prueba, se realizaron diagramas punto a punto de la precipitación y las variables a gran escala, y fué evidente gran dispersión en los datos, lo que implica que una estrategia determinística directa entre los datos podría llevar a una mayor incertidumbre. Los histogramas nos permiten obtener diferentes distribuciones de frecuencia para cada valor de la variable macroclimática futuras y su efecto en la variabilidad de la lluvia.

La relación de las variables ya mencionadas y la precipitación, se desarrolla, de forma inversa para Omega (Figura 4.15) y directa con la humedad (Figura 4.14). Adicionalmente, en ambos existen dos focos de mayor variabilidad conjunta que responden al ciclo anual. En general puede observarse situaciones similares en las figuras correspondientes a el resto de variables macroclimáticas (Anexo C).

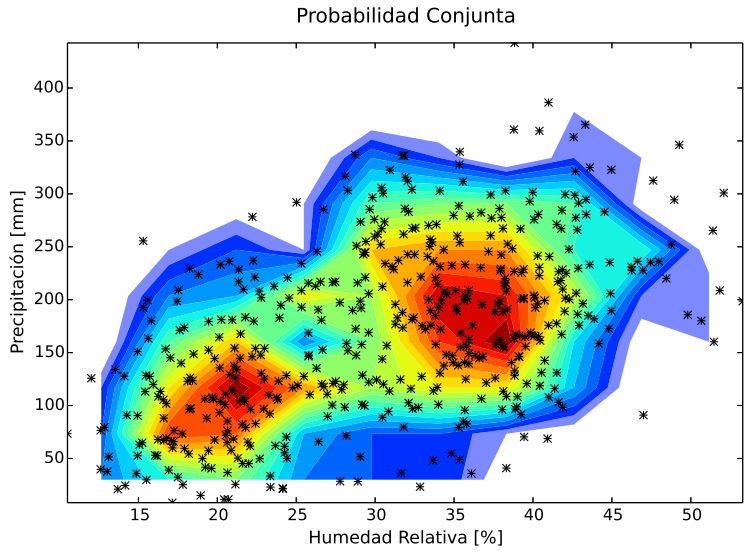


Figura 4.14: Relación Probabilística entre la Precipitación y la variable Humedad Relativa para 700 hPa

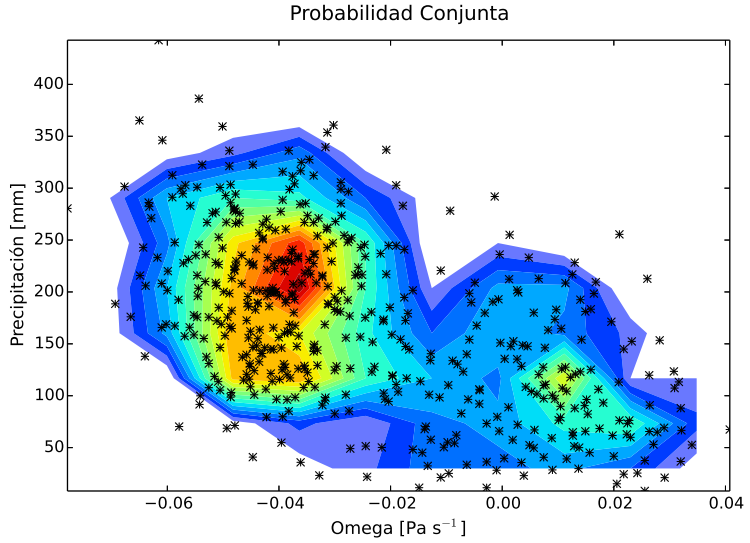


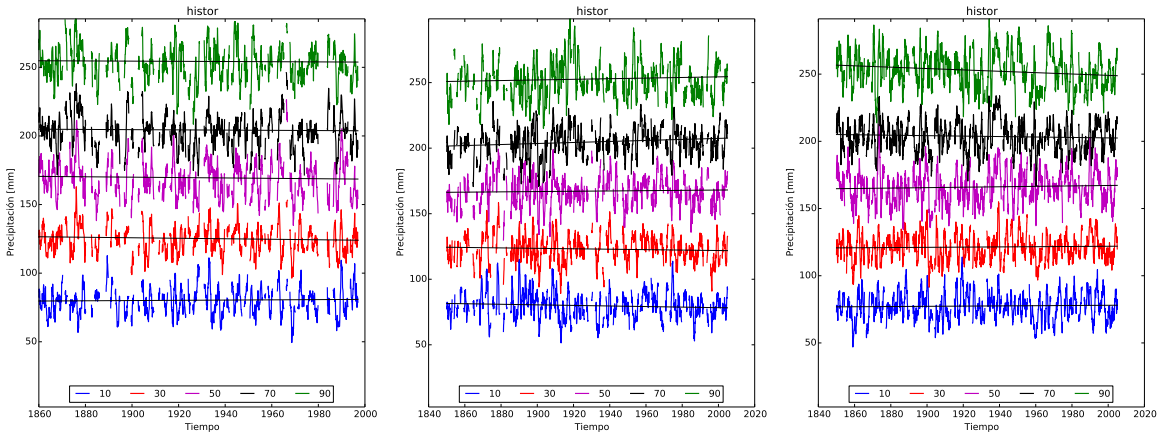
Figura 4.15: Relación Probabilística entre la Precipitación y la variable Velocidad Vertical Omega para 700 hPa

Una vez se tienen las herramientas de ajuste cuantil a cuantil, se obtienen las zonas de proyección de los diferentes escenarios de cada modelo validado usando como objetivo la hidroclimatología de Colombia, se reproyectan y luego son transformados en precipitación de manera probabilística usando los histogramas conjuntos. De esta manera se hicieron múltiples realizaciones de series de precipitación futuras bajo escenarios de cambio climático.

Las figuras a continuación presentan la precipitación proyectada para la variable Omega de los tres modelos y dos de los escenarios que representan las condiciones de emisiones actuales y el caso más crítico de generación de emisiones (historico, cmip3: commit, sresa2, cmip5: RCP26, RCP85). Algunas series presentan discontinuidades, lo que responde a que, para algunos valores de la variable atmosférica, el histograma no presentó valores asociados a la probabilidad conjunta.

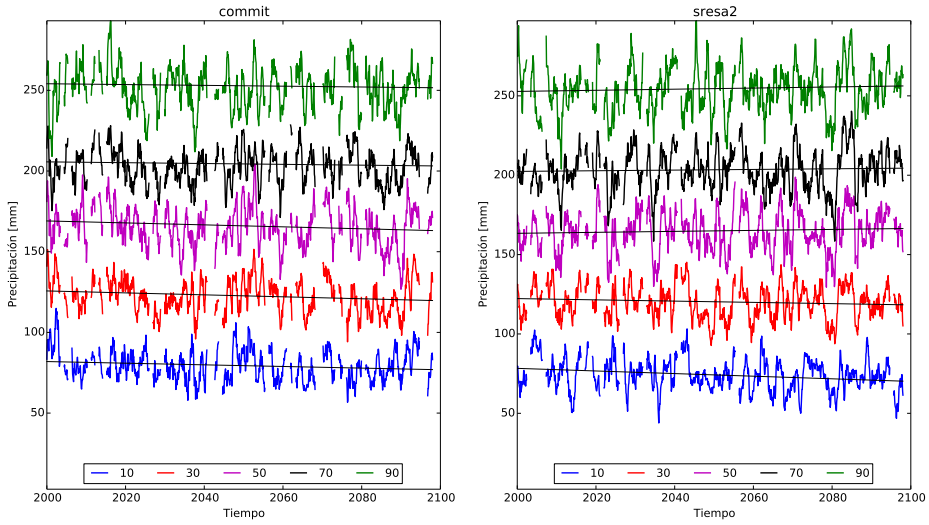
En el escenario histórico, los rangos de precipitación que cada percentil presenta tiene gran similitud entre los modelos (Figura 4.16). Esto era de esperarse para los modelos del CMIP5, que pertenecen a la última fase del CMIP, sin embargo HAD CM3, producto de una fase anterior, exhibe un comportamiento similar, lo cual sugiere que las diferencias entre fases, como lo es la resolución espacial, no constituye de forma obligatoria cambios en los resultados. Incluso la resolución espacial de HAD CM3 es aún más gruesa que la de NOR ESM1 M y NOR ESM1 ME, y aún así, los resultados no son muy distintos. Este tipo de comportamiento puede ser atribuido a diversas razones. Sin embargo, se resalta la íntima relación que existe entre las parametrizaciones y la escala espacial. En algunos casos, existen modelos con parametrizaciones determinadas que resuelven la dinámica y la física de forma satisfactoria, y otros que presentan otras parametrizaciones con resoluciones espaciales más finas, y sus resultados no se consideran aceptables. Adicionalmente, para este escenario no se observan tendencias significativas que puedan considerarse para esta resolución temporal, específicamente (mensual).

En el escenario COMMIT, se fijan las emisiones a partir del año 2000 que se mantienen durante todo el siglo XXI. La precipitación bajo estas condiciones no presenta cambios evidentes de la variabilidad en la precipitación. El escenario RCP26 impone condiciones de aumento hasta la mitad del presente siglo y disminución en adelante, sin embargo tiene un comportamiento similar al escenario COMMIT del CMIP3.



(a) HAD CM3 (CMIP3) (b) NOR ESM1 M (CMIP5) (c) NOR ESM1 ME (CMIP5)

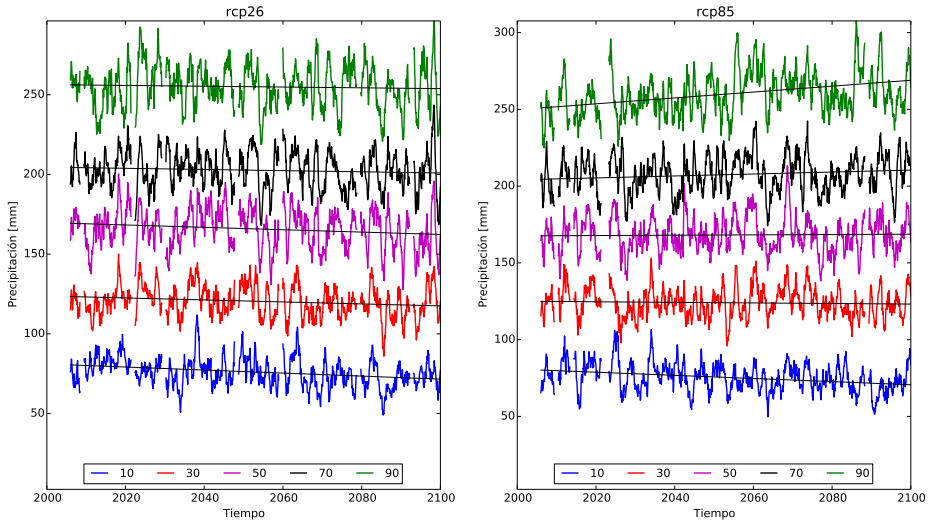
Figura 4.16: Precipitación Proyectada para el escenario Histórico de los modelos seleccionados



(a) Escenario COMMIT

(b) Escenario SRESA2

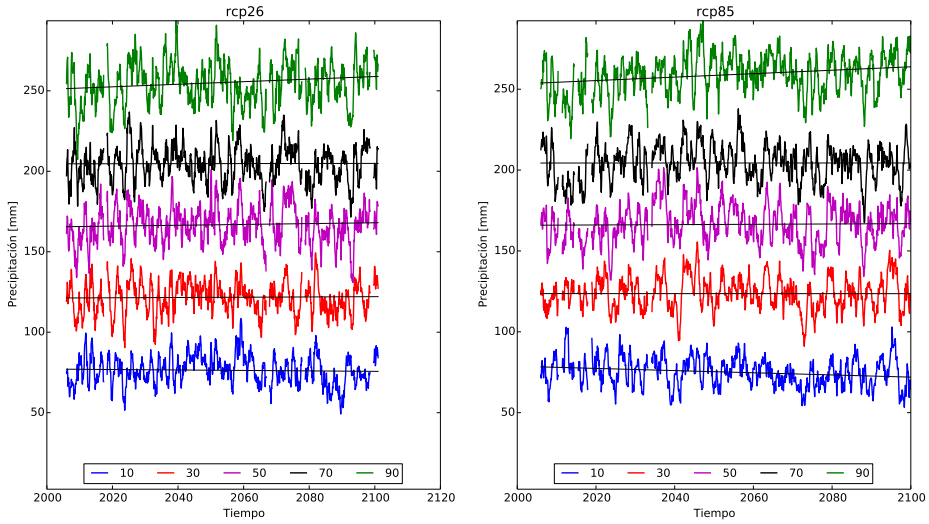
Figura 4.17: Precipitación Proyectada del modelo HAD CM3 (CMIP3)



(a) Escenario RCP26

(b) Escenario RCP85

Figura 4.18: Precipitación Proyectada del modelo NOR ESM1 M (CMIP5)



(a) Escenario RCP26

(b) Escenario RCP85

Figura 4.19: Precipitación Proyectada del modelo NOR ESM1 ME (CMIP5)

En el caso de los escenarios más desfavorables del CMIP3 y CMIP5 se observan cambios en el rango de variabilidad para del percentil 90 y 10, una leve tendencia al aumento y a la disminución, respectivamente. Resultados similares se encontraron por Uran Zea (2015, en curso) en registros de estaciones ubicadas en el Valle de Aburrá para resoluciones temporales menores (Figura 4.20). Se identifica que decadalmente las precipitaciones de menor intensidad dismunuyen. De forma similar se puede observar la Figura 4.21 extraida del estudio asociado a el proyecto Cambio Climático desarrollado por la Universidad Nacional para EPM, donde para precipitaciones cada 3h para un modelo de circulación general bajo forzadores de aumento de emisiones de CO_2 se presentan disminuciones de los mínimos y tendencia al aumento en el resto de los percentiles. En el presente estudio se tiene que para resoluciones mensuales las distribuciones no tienen cambios importantes en el percentil 50, sin embargo las colas (10 y 90) si tienen una leve tendencia al largo plazo.

En la Segunda Comunicación del IDEAM (2010) donde se realiza proyecciones de precipitaciones, temperatura y otros análisis de vulnerabilidad sobre el país en escanarios de cambio climático, se encuentra que para registros históricos sobre el departamento de Antioquia no se presentan cambios importantes de los regímenes de lluvia pero para escenarios propuestos por el IPCC de aumento de emisiones hay disminución de la precipitación. En la Tercera Comunicación, aunque aún no publicada, pero mencionada en diferentes medios de comunicación, funcionarios de la Institución reportaron aumentos para la misma zona. Esto reafirma la aplicación de una metodología objetiva, tal como se procuró en la presente investigación.

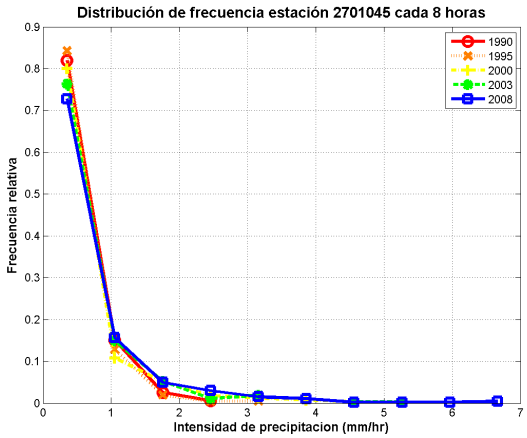


Figura 4.20: Histograma - Precipitación de la Estación 2701045 (EPM) para resolución temporal de 8 horas

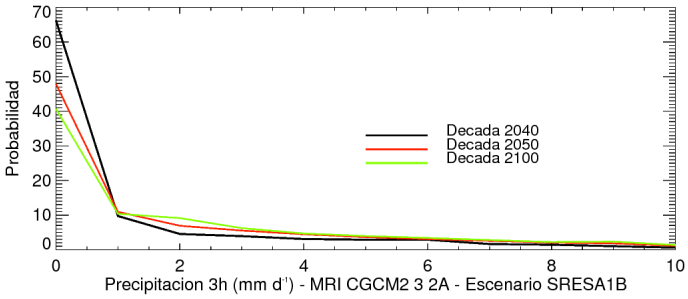


Figura 4.21: Histograma - Precipitación Modelo MRI CGCM2 3 2A futuro para resolución temporal de 3 horas

Capítulo 5

Resumen y Conclusiones

El estudio de cambio climático ha sido un tema de gran importancia por su amplio impacto a nivel ambiental y económico en el ámbito mundial. El clima tropical es tal vez el más dinámico del planeta y en ese sentido es también uno de los más caóticos en el sentido técnico de la palabra: Pequeñas alteraciones en los forzadores que modulan el ambiente tropical pueden tener grandes efectos en la magnitud y dirección de los vientos, en la temperatura superficial del mar, en la distribución y convergencia de humedad, en los patrones espacio-temporales de convección, y finalmente en la variabilidad de la precipitación. En Colombia en particular el reto de entender como las perturbaciones globales, regionales y locales al sistema climático influyen en la variabilidad de la precipitación es aún mayor puesto que desde el punto de vista de una cuenca ubicada por ejemplo en la zona Andina, existen muchas fuentes de humedad posibles que dan origen a eventos de precipitación considerables, incluyendo en dichas fuentes la evapotranspiración local, al igual que advección proveniente de fuentes oceánicas (tanto del océano Atlántico como del Pacífico) y de cuencas como la del Amazonas, Orinoco, Magdalena, entre otras. Entre las fuentes de variabilidad del clima tropical se incluye el Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (Eventos El Niño y La Niña) que históricamente ha modulado la hidroclimatología de Colombia con consecuencias importantes en diferentes sectores económicos. De igual manera, la climatología de la región también se ve influenciada por cambios de largo plazo de origen natural (interno al sistema) o antrópico que requieren ser cuantificadas en detalle. Los investigadores de las ciencias de la tierra han desarrollado múltiples herramientas para tratar de entender los diferentes cambios en el régimen climático regional y local que podrían resultar bajo escenarios de cambio climático de origen antrópico. Entre ellas se encuentran los modelos de circulación general, que simulan el sistema climático ante forzamientos asociados, por ejemplo, la variabilidad en la cantidad de gases de efecto de invernadero en la atmósfera, y dan idea de posibles dinámicas que se pueden generar a partir de esas condiciones. Hasta ahora dichos modelos son la herramientas más sofisticada que se tienen como para este tipo de investigaciones. Sin embargo, éstos son modelos numéricos, y como tal, tienen asociado un grado de incertidumbre que podría ser importante a la hora de interpretar los resultados.

El objetivo principal del presente trabajo es la proyección de cambios de la precipitación en escenarios de cambio y variabilidad climática a partir de una metodología objetiva me-

diante modelos de circulación general (modelos acoplados de CMIP3 y CMIP5) y técnicas estadísticas. En este proceso fué necesario garantizar que la representatividad asociada a la migración Sur-Norte, Norte-Sur de la Zona de Convergencia Inter-Tropical, y la variabilidad interanual en respuesta al Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur sea representada por los modelos numéricos con los cuales se llevó acabo la proyección de cambios futuros. Para lograr esto, se realizó una selección de modelos del producto CMIP de la tercera (CMIP3) y quinta fase (CMIP5), que consistió en evaluar su capacidad de capturar los procesos climáticos gobernates de mayor importancia sobre Colombia. Se plantearon cuatro *"filtros"* del comportamiento espacio-temporal sobre la región de estudio para la variable Omega en 20 modelos del CMIP3 y 44 modelos del CMIP5 disponibles del *Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison* (PCMDI). Dichos *"filtros"* cosistieron en el análisis de climatologías y ciclos anuales para la verificación de los modelos que satisfacían la bimodalidad causada por el paso de la ZCIT sobre el país de los vientos Verticales (Omega). De igual forma se realizaron los ciclos multianuales para los vientos Horizontales (U y V), del cual se obtuvo para la gran mayoría de modelos resultados no satisfactorios. En la evaluación de el Niño-Oscilación del Sur se generaron mapas de correlación punto a punto del promedio espacial de la zona de estudio con el Pacífico. Mediante los datos de Omega (Velocidad vertical del viento) del reanálisis NCEP/NCAR se compararon la totalidad de los modelos en el proceso de selección.

En esta etapa del trabajo, los modelos acoplados presentaron mayores deficiencias en la distribución espacio-temporal de la convección, que la distribución temporal mediante los ciclos anuales, refiriéndose a climatologías espacialmente distribuídas en el primer caso y ciclos anuales regionales en el segundo, como es de esperarse. Se presentaron casos donde satisfacían una característica y otra no, tal como se observó en el modelo GISS E2 R CC del CMIP5, donde el ciclo anual tiene un comportamiento muy cercano en forma y valores a lo dado por NCEP/NCAR y su distribución espacio-temporal es de las más deficientes frente a los modelos evaluados para el CMIP5. Un caso similar se obtuvo para el modelo GISS AOM del CMIP3 con un ciclo anual que exhibe una forma aceptable y climatologías muy deficientes en su distribución espacio-temporal. Esto responde a efectos del proceso de promedio espacial que impone los valores predominantes y causa buenos o malos comportamientos del ciclo anual y efectos contrarios en la distribución espacio-temporal.

Los resultados obtenidos para los ciclos anuales del CMIP5 se presentaron mejoras en cuanto a las magnitudes frente a los resultados del CMIP3. En cuanto a las distribuciones espaciales, siguen teniendo comportamientos similares en ambas fases (CMIP3 y CMIP5). De este primer paso se seleccionaron los modelos aceptables para ambos niveles.

Posteriormente se llevo a cabo el análisis de correlaciones, de los cuales, la mayoría de los modelos no presenta influencia del ENSO en variabilidad convectiva sobre Colombia. Se esperaba que la covariabilidad entre la zona de estudio y el Pacífico presentara correlaciones mayores, tal como exhiben los resultados del reanálisis. La covariabilidad presenta un centro convectivo de correlaciones altas ubicado en el centro de Pacífico relacionadas con anomalías de la Celda de Walker. En los modelos se tienen correlaciones muy bajas, incluso para para aquellos que representan un centro convectivo sobre el Pacífico y fueron aceptados en la selección. Modelos como MIROC 3 2 HIRES (CMIP3) y CESM1 WACCM (CMIP5) se consideraron satisfactorios para la representación de las climatologías (distribución espacio-temporal) y los ciclos anuales (distribución temporal) sobre la zona de estudio, sin embargo no son adecuados

reproduciendo los efectos del ENSO en los patrones convectivos y por tal razon ambos fueron descartados. Los modelos de CMIP3 y CMIP5 a destacar por su desempeño aceptable con respecto a la influencia de variabilidad del Pacífico sobre la climatología del país sobre los dos niveles evaluados, se tienen solo el modelo HADCM3 del primer grupo y FIO ESM, MIROC5, NORESM 1 M y NORESM 1 ME del segundo grupo, de los cuales FIO ESM y MIROC5 no cumplen con la variabilidad espacio-temporal de las climatologías para ambos niveles, razon por la cual se descartan.

Finalmente fueron seleccionados tres modelos: HAD CM3 del CMIP3 y NORESM 1 M y NORESM 1 ME del CMIP5. Como paso final se verificó variabilidad temporal de las anomalías del Pacífico mediante la transformada de Onditas de la serie obtenida del promedio espacial de zonas sobre el este, oeste y centro de Pacífico y sobre Colombia, de los modelos seleccionados. Se identifica, de manera satisfactoria que los modelos seleccionados satisfacen la influencia de la variabilidad a nivel espacial y temporal de la oscilación de baja frecuencia que representa el ENSO en la actividad convectida en Colombia. En general no se esperaba tan bajo número de modelos que fueran aceptables, sin embargo los procesos que aportan variabilidad en el país por su ubicación y condiciones superficiales, era de esperarse que los modelos encuentren mayor dificultad para representar las condiciones adecuadamente. Es de resaltar que, en cuanto a las magnitudes, CMIP5 supera a los modelos del CMIP3, sin embargo en cuanto a la distribución espacio temporal, tienen comportamientos similares.

Adicionalmente a la evaluación de la representatividad de los modelos de aspectos fundamentales de la climatología Colombiana y su variabilidad, este trabajo incluye la proyección de los cambios en la precipitación en escenarios de cambio y variabilidad climática mediante una metodología objetiva a partir de una combinación de modelos numéricos globales y técnicas estadísticas. La técnica aplicada es de naturaleza probabilísca no-paramétrica que relaciona en conjunto la variabilidad atmosférica como parte de la fuente de variabilidad de la precipitación a escala local. Como parte del análisis fué necesario identificar zonas de variabilidad global y regional con mayor influencia en la precipitación local. En dicho proceso se generaron mapas de correlación que relacionara la precipitación in situ y el comportamiento macroclimático. Dado que se plantea la caracterización de la lluvia sobre el Valle de Aburrá, se obtiene el promedio tiempo a tiempo de los registros de cada estación a resolución mensual, mediante el cual finalmente se generan las relaciones con las variables a gran escala. Entre las variables se resalta principalmente las correspondientes a los campos de vientos, donde la advección, en el caso de los vientos horizontes (U y V), se exhibe de forma evidente mediante un vórtice que arrastra humedad hacia el país, principalmente, desde el Pacífico hacia los Andes, que a su vez favorece condiciones convectivas. En el caso de la velocidad vertical (Omega) presenta un dipolo sobre el Océano Pacífico que se encuentra relacionado con la dinámica de la Celda de Walker. Es clara la influencia a escala regional que tiene el campo de vientos sobre la variabilidad a escala local. En general los mapas de correlación mostraron la modulación sobre la precipitación por parte de las variables como respuesta a la migración de la ZCIT. Ya identificadas las zonas se realiza la corrección de magnitud mediante un ajuste cuantil-a-cuantil del siglo XX entre el reanálisis y los modelos. Como era de esperarse, existe subestimaciones y sobre estimaciones en la mayoría de los casos. Las incertidumbres inherentes a los modelos numéricos generan este tipo de sesgos que deben ser corregidos ya que pueden alterar los resultados. Finalmente las series de precipitación obtenidas a partir de la técnica estadística aplicada en el presente trabajo muestra cambios sutiles para el escenario más desfavorable

del CMIP5 (RCP85), principalmente. Para este es posible identificar tendencias a largo plazo en los extremos, donde los percentiles 10 y 90 muestran disminución y aumento hasta el año 2100, sin tendencias significativas para los demás percentiles. El histograma de la lluvia mensual no tiene traslación de la mediana, sin embargo si tiene cambios en las colas. Este comportamiento a resoluciones temporales menores también es notorio, sin embargo puede notarse que para otros percentiles también existen tendencias, lo cual no es detectado para esta resolución. Esto es interesante, ya que los cambios en la precipitación bajo escenarios de aumento de emisiones muestran manifestaciones distintas de acuerdo a la escala temporal. En cuanto a los escenarios RCP26 y COMMIT del CMIP3 y 5, respectivamente no son evidentes efectos significativos de las emisiones sobre la precipitación. Es importante resaltar que técnica aplicada presuponen que las condiciones de superficie como la topografía, la cobertura y uso del suelo locales se mantienen tal y como en la actualidad, lo que genera que los cambios en la precipitación, sean respuesta, exclusivamente cambios en las condiciones climáticas globales y regionales.

En general fue identificada la alta incertidumbre que tienen los modelos de circulación general en la solución de los procesos atmosféricos y oceánicos, y su acoplamiento. Esto puede ser respuesta a la complejidad de los fenómenos físicos de naturaleza caótica que los modelos intentan responder, tal como la circulación de la humedad atmosférica. Esto tiene como consecuencia una alta complejidad en la representación de los fenómenos físicos y su susceptibilidad a errores. Sin embargo éstas son herramientas potentes donde el uso de sus resultados dependen del criterio del usuario y el cuidado con el cual haga análisis partiendo de sus datos, con plena consciencia de las debilidades que tienen y que su uso no apropiado puede representar estudios con resultados erróneos.

Es importante mencionar que los resultados de extrapolación temporal aquí presentados pueden y deben ser validados con metodologías complementarias. En otras palabras, los resultados auí presentados constituyen una base sólida para un estudio de subescalamiento dinámico a partir de los modelos seleccionados. Especificamente la metodología consistría en alimentar modelos regionales con dominio sobre el territorio de Colombia a partir de las variables de los modelos globales seleccionados. Esta metodología constituye una extensión natural del trabajo hasta ahora desarrollado y tiene el potencial de convertirse en una herramienta estratégica para la gestión del recurso hídrico puesto que también sería de utilidad para plantear diferentes escenarios de usos de suelo, entre otros.

Apéndice A

Modelos de Circulación General

A.1. Características Modelos CMIP3

Cuadro A.1: Modelos CMIP3

Grupo	**País**	**Modelo**	**País**
Beijing Climate Center	China	BCC-CM1	1,900°x1,900°
Bjerknes Centre for Climate Research	Norway	BCCR-BCM2.0	1,900°x1,900°
Canadian Centre for Climate Modelling Analysis	Canada	CGCM3.1(T47)	
Canadian Centre for Climate Modelling Analysis	Canada	CGCM3.1(T63)	
Météo-France / Centre National de Recherches Météorologiques	France	CNRM-CM3	1,900°x1,900°
CSIRO Atmospheric Research	Australia	CSIRO-Mk3.0	1,900°x1,900°
CSIRO Atmospheric Research	Australia	CSIRO-Mk3.5	1,900°x1,900°
Meteorological Institute of the University of Bonn, Meteorological Research Institute of KMA, and Model and Data group.	Germany / Korea	ECHO-G	3,900°x3,900°
US Dept. of Commerce / NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA	GFDL-CM2.0	2,000°x2,500°
US Dept. of Commerce / NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA	GFDL-CM2.1	2,000°x2,500°
NASA / Goddard Institute for Space Studies	USA	GISS-AOM	3,000°x4,000°
NASA / Goddard Institute for Space Studies	USA	GISS-EH	4,000°x5,000°
NASA / Goddard Institute for Space Studies	USA	GISS-ER	4,000°x5,000°
LASG / Institute of Atmospheric Physics	China	IAP FGOALS-g1.0	2,800°x2,800°

Grupo	País	Modelo	País
Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	Italy	INGV-SXG	1,125°x1,125°
Institute for Numerical Mathematics	Russia	INM-CM3.0	4,000°x5,000°
Institut Pierre Simon Laplace	France	IPSL-CM4	2,500°x3,750°
Center for Climate System Research (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC)	Japan	MIROC3.2 (hi-res)	1,125°x1,125°
Center for Climate System Research (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC)	Japan	MIROC3.2 (medres)	1,125°x1,125°
Max Planck Institute for Meteorology	Germany	MPI ECHAM5	1,875°x1,875°
Meteorological Research Institute	Japan	MRI-CGCM2.3.2	2,800°x2,800°
National Center for Atmospheric Research	USA	NCAR CCSM3	1,400°x1,400°
National Center for Atmospheric Research	USA	NCAR PCM1	2,800°x2,800°
Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office	UK	UKMO-HadCM3	2,500°x3,750°
Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office	UK	UKMO-HadGEM1	1,250°x1,250°

A.2. Escenarios CMIP3

Cuadro A.2: Escenarios de simulación CMIP3

Escenarios	Descripción
La simulación del siglo XX al 2000	Empezando desde las condiciones preindustriales a finales del 1800) con forzadores antropogénicos y naturales.
Experimento de cambio climático 1	Simulación del siglo XXI con SRES B1 (forzador bajo, es decir, concentraciones de CO2 cerca 550ppm para 2100) de 2000 a 2100.
Experimento de cambio climático 2	Simulación del siglo XXI con SRES A1B (forzador medio, es decir, concentración de CO2 cerca de 700ppm para 2100) de 2000 a 2100.
Experimento de cambio climático 3	Simulación del siglo XXI con SRES A2 (forzador alto, es decir, concentraciones de CO2 cerca 820 ppm para 2100) de 2000 a 2100.
Escenario de compromiso para cambio climático 1	Fijar todos los valores de concentración para el año 2000 y hasta 2100 (CO2 aproximado de 360ppm).
Escenario de compromiso para cambio climático 2	Fijar todos los valores de concentración para el año 2100 para B1 y hasta 2200(CO2 aproximado de 550ppm).

Escenarios	Descripción
Escenario de compromiso para cambio climático 3	Fijar todos los valores de concentración para el año 2100 para A1B y hasta 2200 (CO2 aproximado de 700ppm)
Forzador idealizado y experimento de estabilización 1	Incremento de la concentración de 1 % de CO2 por año doblándose en el año 70 como el control y adicionalmente el año 150 con CO2 fijo hasta 2xCO2.
Forzador idealizado y experimento de estabilización 2	Incremento de la concentración de 1 % por año deCO2 hasta 4xCO2 en el año 150.
Control para 100 años con todos los forzadores	mantene constantes el mismo periodo de tiempo como en el punto 1.
Experimento de sensibilidad climática	Instantáneamente doblar concentración de CO2 instantáneamente para llegar al equilibrio atmosférico acoplado con un océano no dinámico. Como entrada forzador de nubes (Cloud Forcing Model Intercomparison Project (CFMIP)).
Extensión de los escenarios A1b y B1	En escenarios de cambio climático hasta 2300.

A.3. Características Modelos CMIP5

Cuadro A.3: Modelos CMIP5

Grupo	País	Modelo	País
Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	China	BCC CSM1.1	2,8°x2,8°
Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	China	BCC CSM1.1m	1,125°x1,1°
College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University	China	BNU ESM	2,8°x2,8°
Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	Canada	CanESM2	2,8°x2,8°
National Center for Atmospheric Research	USA	CCSM4	1,25°x0,94°
National Science Foundation, Department of Energy/National Center for Atmospheric Research	USA	CESM1 BGC	1,25°x0,94°
National Science Foundation, Department of Energy/National Center for Atmospheric Research	USA	CESM1 CAM5	1,25°x0,94°
National Science Foundation, Department of Energy/National Center for Atmospheric Research	USA	CESM1 FASTCHEM	1,25°x0,94°
National Science Foundation, Department of Energy/National Center for Atmospheric Research	USA	CESM1 WACCM	2,5°x1,9°

Grupo	**País**	**Modelo**	**País**
Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici	Italy	CMCC CESM	3,75°x3,7°
Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici	Italy	CMCC CM	0,75°x0,75°
Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici	Italy	CMCC CMS	2,81°x2,79°
Centre National de Recherches Meteorologiques / Centre Europeen de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique	France	CNRM CM5	1,875°x1,85°
Centre National de Recherches Meteorologiques / Centre Europeen de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique	France	CNRM CM5 2	1,4°x1,4°
CSIRO/BOM	Australia	CSIRO BOM ACCESS 1.0	1,875°x1,25°
CSIRO/BOM	Australia	CSIRO BOM ACCESS 1.3	1,875°x1,25°
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation/Queensland Climate Change Centre of Excellence	Australia	CSIRO Mk3.6.0	1,875°x1,86°
EC-EARTH consortium	Netherl.	EC EARTH	1,125°x1,125°
LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, CESS, Tsinghua University	China	FGOALS G2	2,8°x3,27°
The First Institute of Oceanography, SOA	China	FIO ESM	2,8°x2,8°
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory NOAA	USA	GFDL CM2.1	2,5°x2,0°
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory NOAA	USA	GFDL CM3	2,5°x2,0°
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory NOAA	USA	GFDL ESM2G	2,5°x2,0°
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory NOAA	USA	GFDL ESM2M	2,5°x2,0°
NASA Goddard Institute for Space Studies	USA	GISS E2 H	2,5°x2,0°
NASA Goddard Institute for Space Studies	USA	GISS E2 H CC	2,5°x2,0°
NASA Goddard Institute for Space Studies	USA	GISS E2 R	2,5°x2,0°
NASA Goddard Institute for Space Studies	USA	GISS E2 R CC	2,5°x2,0°

Grupo	**País**	**Modelo**	**País**
Met Office Hadley Centre (additional HadGEM2-ES realizations contributed by Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)	China UK	HadCM3	3,75°x2,5°
National Institute of Meteorological Research/Korea Meteorological Administration	Korea	HadGEM2 AO	1,875°x1,25°
Met Office Hadley Centre (additional HadGEM2-ES realizations contributed by Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)	UK	HadGEM2 CC	1,875°x1,25°
Met Office Hadley Centre (additional HadGEM2-ES realizations contributed by Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)	UK	HadGEM2 ES	1,875°x1,25°
Institute for Numerical Mathematics	Russia	INM CM4	2,0°x1,5°
Institut Pierre-Simon Laplace	France	IPSL CM5A LR	3,75°x1,9°
Institut Pierre-Simon Laplace	France	IPSL CM5B LR	3,75°x1,9°
Institut Pierre-Simon Laplace	France	IPSL CM5A MR	2,5°x2,5°
Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	Japan	MIROC4h	0,56°x0,56°
Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	Japan	MIROC5	1,4°x1,4°
Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	Japan	MIROC CHEM	2,8°x2,8°
Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	Japan	MIROC ESM	2,8°x2,8°
Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	Germany	MPI ESM LR	1,87°x1,87°
Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	Germany	MPI ESM MR	1,87°x1,87°
Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	Germany	MPI ESM P	1,87°x1,87°
Meteorological Research Institute	Japan	MRI CGCM3	1,87°x1,87°
Meteorological Research Institute	Japan	MRI ESM1	1,125°x1,12°

Grupo	País	Modelo	País
Norwegian Climate Centre	China	NorESM1 M	2,5°x1,9°
Norwegian Climate Centre	China	NorESM1 ME	2,5°x1,9°

A.4. Escenarios CMIP5

Cuadro A.4: Escenarios de simulación CMIP5

Escenarios	Descripción
piControl	Corrida con control Preindustrial
historical	Pasado aproximadamente 1.5 siglos (1850-2005)
amip	Corrida AMPI (SSTs observada y hielo marino prescrito para 1979 al presente.
rcp45	Proyección futura (2006-2300)forzada por RCP4.5
rcp85	Proyección futura (2006-2300)forzada por RCP8.5
rcp26	Proyección futura (2006-2300)forzada por RCP2.6
rcp60	Proyección futura (2006-2100)forzada por RCP6
1pctCO2	Punto de referencia 1 % yr-1 incremento en CO2 (hasta cuadruplicar)
abrupt4xCO2	Cuadruplica CO2 abruptamente, para posteriormente mantener el valor fijo.
sstClim	SSTs y hielo marino climatológico impuesto por piControl
sstClim4xCO2	Como en sstClim, pero 4xCO2 impuesto
sstClimAerosol	Como en sstClim, pero con aerosoles especificamente del año 2000 de la corrida histórica.
sstClimSulfate	Como en sstClim, pero con aerosoles sulfatados especificamente del año 2000 de la corrida histórica.
esmControl	Condiciones impuestas preindustriales como en PiControl, pero con CO2 atmosférico determinado por el mismo modelo.
esmHistorical	Simulaciones del pasado, con en el histórico, pero impulsadas por las emisiones de CO2 en lugar de las concentraciones.
esmrcp85	Proyecciones futuras como en rcp85, pero impulsadas por las emisiones de CO2 lugar de las concentraciones.
esmFixClim1	Codigo de radiación visto con concentraciones de CO2 en piControl, pero con el ciclo del carbon del 1 % por año y aumentando.
esmFdbk1	Ciclo de Carbono visto con concentraciones de CO2 en piControl, , pero con el ciclo del carbon del 1 % por año y aumentando.
amip4xCO2	Como en AMIP, pero con codigo de radiación de 4xCO2

Escenarios	**Descripción**
amipFuture	Anomalias patron de SST adicionales para condiciones de AMIP (como es llamada para CFMIP)
aquaControl	SSTs impuesto zonalmente uniforme sobre un oceano cubriento la Tierra (como es llamado para CFMIP)
aqua4xCO2	Como en aquaControl, pero con 4xCO2
aqua4K	Como en AquaControl, pero con incremento uniforme 4-K en SST.
amip4K	Como en AMIP, pero con un incremento uniforme 4-K en SST.
historicalNat	Simulación histórica pero con forzamientos natules solamente.
historicalGHG	Simulación histórica pero con forzamiento GHG solamente.
historicalMisc	Simulación histórica pero con otros agentes forzantes individuales o combinación de forzantes.
historicalExt	Extensión histórica hasta el año 2012
midHolocene	Condiciones del medio Holoceno (como es llamado para PMIP)
lgm	Condiciones del último glacial máximo (como es llamado para PMIP)
past1000	Forzadores naturales para 850-1850 (como es llamado para PMIP)
decadalXXXX	Pronóstico/prediciones decadales, algunos a 30 años.
noVolcXXXX	Pronóstico pero sin volcane.
volcIn2010	Pronóstico decadal con erupción del volcán de Pinatubo en el año 2010
sst2030	SST y algunas otras condiciones para 2026-35 especificado de un esperimento de modelos acoplados