



Síntesis sobre la evaluación y proyección de la variabilidad interanual del clima relacionada con los fenómenos El Niño y la Niña

**Andrea Rodríguez Roa
Bogotá, 2012**

Este es un producto de los proyectos COL/62378 y COL/74081 del PNUD, en el marco del Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital, Bogotá-Cundinamarca (PRICC)

Socios del PRICC:

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM

Departamento de Cundinamarca – Secretaría de Región Capital e Integración Regional, Secretaría de Planeación, Secretaría de Ambiente, Oficina de Atención y Prevención de Desastres.

Alcaldía Mayor de Bogotá - Secretaría Distrital de Ambiente, Secretaría Distrital de Planeación, FOPAE y EAAB

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR

Corporación Autónoma Regional del Guavio – CORPOGUAVIO

Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía – CORPORINOQUIA

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

Parques Nacionales Naturales de Colombia

Con la Colaboración de:

España

Gobierno de Quebec

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Departamento Nacional de Planeación

Unidad Coordinadora:

Ricardo José Lozano Picón. - Director del Proyecto, IDEAM

Jimena Puyana Eraso- Oficial de programa de Medio Ambiente y Energía, PNUD

Javier Eduardo Mendoza Sabogal - Coordinador

Jason García Portilla - Asesor

Isabel Castro Robledo - Profesional Administrativo

Juan Carlos Forero - Asesor Comunicaciones

Isabella Satine - Diseño Gráfico

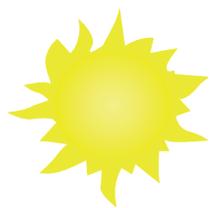
Fotografías:

Fotografía portada: cortesía Oficina de Comunicaciones Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

© 2012 Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital, Bogotá-Cundinamarca

© 2012 Rodríguez Roa, Andrea Citar como: *Síntesis sobre la evaluación y proyección de la variabilidad interanual del clima relacionada con los fenómenos El Niño y la Niña Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital Bogotá – Cundinamarca (PRICC)*

Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital, Bogotá - Cundinamarca, 32 hojas. 2012.



PRiCC

Plan Regional Integral de Cambio Climático
Región Capital, Bogotá Cundinamarca

CONTENIDO

Presentación.....	5
Resumen.....	6
1. Evaluación de los Modelos Climáticos Globales (MCG's) en la representación de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Pacífico.....	7
1.1 Modelos Climáticos Globales Utilizados en el Evaluación.....	7
1.2 Distribución Espacial de la Temperatura superficial del mar (TSM) media anual.....	8
1.3 Distribución de la Desviación Estándar de la TSM.....	11
1.3.1 Desviación Estándar de la TSM en las regiones El Niño.....	13
1.4 Análisis Espectral.....	14
2. PROYECCIONES DE LA TSM EN EL PACÍFICO.....	13
3. Proyecciones de la precipitación y temperatura en Colombia con relación a la variabilidad interanual de la TSM correspondiente a los fenómenos de El Niño y La Niña.....	18
Conclusiones y recomendaciones.....	
Bibliografía	

Presentación

Los retos que la variabilidad y el cambio climático imponen a la sociedad de la Región Capital trascienden lo ambiental e incluyen todos los aspectos relacionados con nuestras actividades sobre los territorios. Los patrones y procesos de producción, extracción, asentamiento y consumo, van a estar influenciados por la forma como el clima cambie. Mayor ocurrencia e intensidad de eventos extremos, climas más secos o más húmedos, tendrán efectos directos sobre la economía, la cultura, el medio ambiente y las decisiones políticas (municipales, departamentales y distritales) que se tomarán en el futuro cercano, así como en la planeación territorial, sectorial e institucional de largo plazo.

Todo este conjunto de decisiones permeará de manera directa todos los aspectos relacionados con la calidad de vida de los cundinamarqueses y bogotanos, quienes cada vez más relacionan los cambios en el clima con los desastres y las emergencias, dejando de lado las oportunidades de adaptación que estos nuevos escenarios pueden traer para el desarrollo de la Región.

Por este motivo, el Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital, Bogotá – Cundinamarca (PRICC), se ha constituido y se consolida como una plataforma de trabajo interinstitucional que permite construir las directrices técnicas, así como una estrategia regional, implementada a través de medidas y proyectos prioritarios de mitigación y adaptación a la variabilidad y al cambio climático, que permitirá a la Región Capital tener las bases científicas para enfrentar los retos y aprovechar las oportunidades de estos nuevos escenarios. El PRICC es además, uno de los modelos piloto mundiales que, por iniciativa de la Alcaldía de Bogotá y de la Gobernación de Cundinamarca, vienen impulsando las Naciones Unidas (PNUD) y el IDEAM, junto con la activa participación de otros importantes socios (CAR, Corpoguvio, Corporinoquia, PNNC, IAvH, DNP y MADS), para fortalecer las capacidades y la toma de decisiones de las instituciones regionales públicas, para avanzar en la construcción de territorios resilientes a la variabilidad y al cambio climático. Este esfuerzo cuenta con el apoyo financiero de los Gobiernos de España y de Quebec.

A partir de lo anterior, este estudio, Síntesis sobre la evaluación y proyección de la variabilidad interanual del clima relacionada con los fenómenos El Niño y la Niña” permite tener una guía para la toma de decisiones de quienes han asumido o asumirán responsabilidades desde el gobierno regional, en materia de la generación de conocimiento y acciones para la mitigación del cambio climático.

Javier Eduardo Mendoza

Coordinador PRICC

Resumen

Este documento contiene la síntesis de la evaluación y proyección de la variabilidad interanual del clima relacionada con el fenómeno El Niño – Oscilación del Sur (ENOS). Inicialmente se sintetiza los resultados de la evaluación de 20 Modelos Climáticos Globales (MCGs) utilizados en el cuarto informe de evaluación (AR4) del IPCC, en la representación de la variabilidad de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) del clima presente referente al periodo 1971-2000; con el objetivo de seleccionar los mejores modelos, que permitan posteriormente una simulación probablemente más precisa de los escenarios futuros. Esta selección se realizó clasificando los modelos mediante la implementación de estadísticos, la comparación de la distribución espacial de los campos medios y el análisis espectral. Posteriormente se muestran los resultados de las proyecciones de la TSM y su variabilidad relacionada con el ciclo ENOS, bajo los escenarios de emisiones A1B, A2 y B1 del IPCC, para los periodos 2011-2030, 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, utilizando los modelos seleccionados en la evaluación. Finalmente se presenta el posible comportamiento de la precipitación y la temperatura del aire para el territorio colombiano con relación a la variabilidad interanual de la TSM.

Andrea Rodríguez Roa

2012

1. Evaluación de los Modelos Climáticos Globales (MCG's) en la representación de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Pacífico.

Los Modelos Climáticos Globales son una representación tridimensional de la circulación general de la atmósfera y 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 (IPCC, 2009). Sin embargo existe incertidumbre en la representación del sistema climático por los modelos y no todos describen el clima actual con una precisión similar. Por tanto, para tener una mayor fiabilidad en la generación de escenarios futuros de cambio climático con relación a los fenómenos de El Niño y La Niña, se realiza una evaluación de los MCGs en la representación de la variabilidad interanual del clima presente a partir de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en la región del Pacífico.

En la evaluación se implementan diferentes técnicas utilizadas por la comunidad científica en la evaluación y ponderación de los diferentes resultados de las simulaciones de los modelos. Para el caso de la evaluación de la temperatura superficial del mar frente a los datos de referencia (proyecto ERSST de la NOAA) se utilizan los estadísticos de correlación, error cuadrático medio, sesgo y el error cuadrático medio corregido, en la comparación de las series simuladas y observadas. Igualmente se implementa el diagrama de Taylor, comparaciones de las distribuciones espaciales de los campos medios, y herramientas en el análisis de la variabilidad climática, como la desviación estándar y el análisis espectral, evaluando la identificación de los modos de variabilidad y el ciclo relacionado con las fases cálidas y frías del Océano Pacífico.

1.1 Modelos Climáticos Globales Utilizados en la Evaluación.

Se utilizaron los datos de 20 modelos climáticos globales tomados de la base de datos WCRP-CMIP3 (PCMDI, 2004) de la variable de temperatura superficial del mar (TSM) del periodo 1971-2000. En la Tabla 1 se muestran los modelos utilizados en la evaluación.

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 implementaron los MCGs. El objetivo de este proyecto 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 diseñó 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.

Tabla 1. Modelos implementados en la Evaluación

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
		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
		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	T42 L20
MIROC3.2(hires)	Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC) (Japan)	T106 L56
MRI-CGCM2.3.2	Meteorological Research Institute (Japan)	T42 L30
ECHAM5/MPI-OM	Max Planck Institute for Meteorology (Germany)	T63 L32
CCSM3	National Center for Atmospheric Research (USA)	T85 L26
PCM		T42 L18
UKMO-HadCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Met Office (UK)	96 × 72 L19
UKMO-HadGEM1		N96 L38

1.2 Distribución Espacial de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) media anual

En la Figura 1 se representa la distribución espacial de la TSM media anual en la región del Pacífico Ecuatorial para los datos ERSST de la NOAA y se muestran las simulaciones de la TSM media anual de los modelos más cercanos al patrón de distribución observado.

Los datos de la NOAA evidencian el aumento significativo de la temperatura a lo largo del Ecuador desde Sudamérica hacia Oceanía, representando el gradiente de temperatura con la lengua fría en el este y aguas cálidas en el oeste. Los modelos como el CCCMA-31, CCSCM-30, ECHO—G, GFDLCM20, GFDLCM21, MIROC-HI, MPIECH-5, MRI-232A y UKHADCM3 tienden a reproducir este patrón con gran aproximación, con valores cercanos de la TSM en cada punto del pacífico, aunque algunos de estos modelos infraestiman las altas temperaturas que se dan hacia el sector de Australia. Los modelos FGOALS1G, GISS-EH y GISS-ER representan un patrón muy diferente a lo real, en donde se sobrestima altamente la temperatura, especialmente hacia las costas de Suramérica en la región El Niño 1+2 (0°-10°S y 80°W-90°W).

La Figura 1 permite además observar la incertidumbre de los resultados de la representación de los modelos de la TSM, reconociendo los límites de los MCGs para dar una respuesta con cierta confiabilidad, por lo tanto, aunque se seleccionen los modelos más óptimos siempre existirá un grado de incertidumbre.

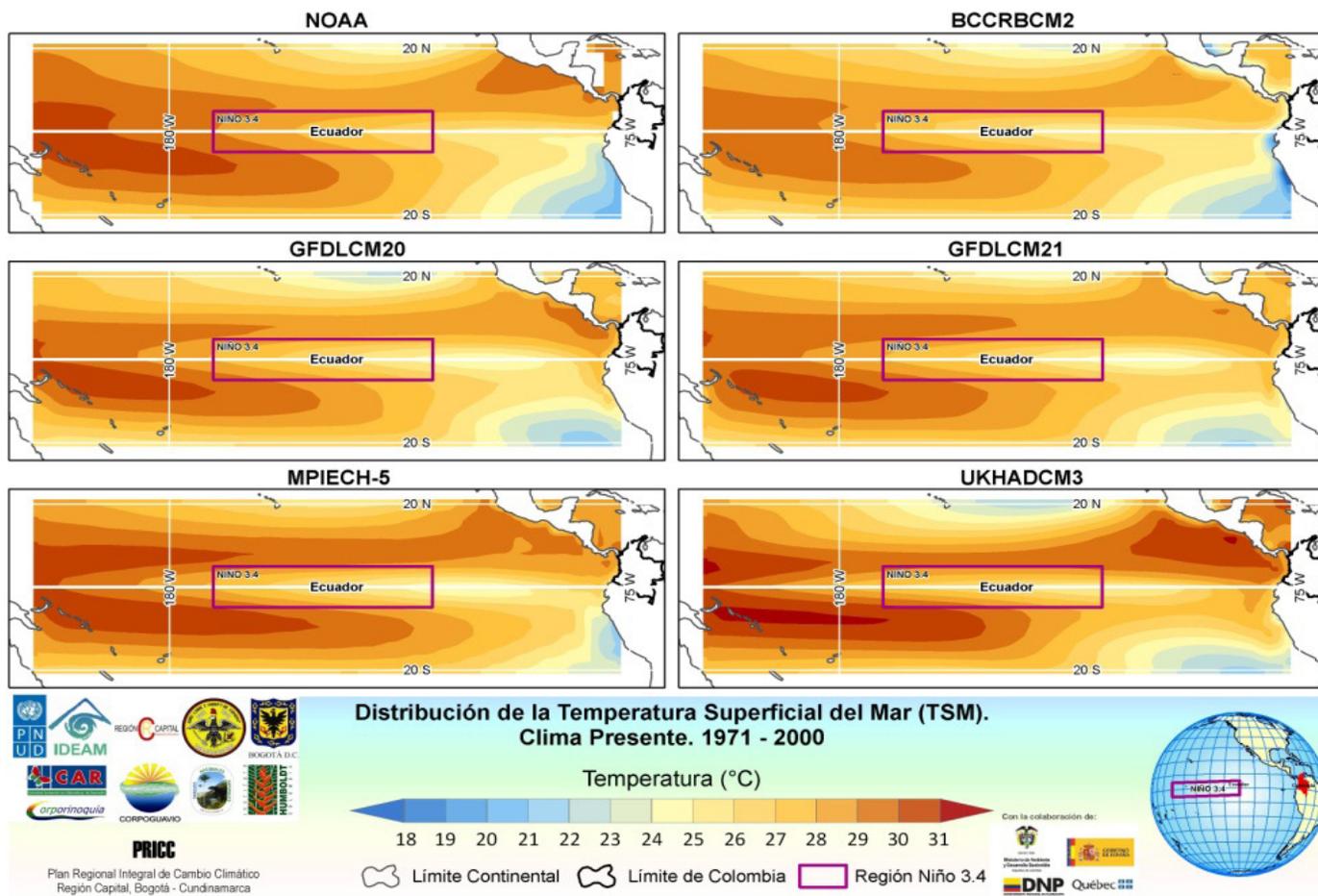


Figura 1. Distribución de la TSM anual del periodo 1971-2000 en la región del Pacífico de los datos de la NOAA y algunos modelos del AR4.

En la Tabla 2 se resume la clasificación de los 20 modelos en la representación de la TSM media anual en el pacífico para el periodo 1971-2000, mediante un código tipo semáforo, en el cual el color verde representa la clasificación del modelo en un nivel superior, el amarillo en medio y el rojo en inferior. La categorización se hace con los resultados de los estadísticos de correlación (CORRE), raíz del error cuadrático medio (RMSE), sesgo (BIAS) y raíz del error cuadrático medio corregido (RMSE_C). Los modelos con mayor cantidad de estadísticos en verde tendrán una mejor simulación de la variable que los resaltados en rojo. A partir de esta idea se puede destacar que los modelos más próximos a la TSM media anual observada son: el CCSM-30, GFDLCM21, GFDLCM20, MPIECH-5 y MRI-232A.

Tabla 2. Clasificación de los MCGs en la representación de la TSM a nivel anual en el Pacífico.

	CORRE	RMSE	BIAS	RMSE_C
BCCRBCM2	0.7	2.2	1.8	1.2
CCMA-31	0.8	1.0	0.7	0.7
CCSM-30	0.9	0.9	0.2	0.9
CNRM-CM3	0.7	1.9	1.5	1.2
CSIRO-30	0.9	1.5	1.2	0.9
ECHO--G	0.9	0.8	0.5	0.6
FGOALS1G	0.8	1.4	0.6	1.2
GFDLCM20	0.9	0.9	0.5	0.8
GFDLCM21	0.9	0.8	0.2	0.8
GISS-EH	0.6	1.5	0.0	1.5
GISS-ER	0.5	1.8	0.4	1.7
INMCM-30	0.8	1.5	1.0	1.1
IPSL-CM4	0.9	1.2	0.8	0.9
MIROC-HI	0.8	1.2	0.6	1.1
MIROCMED	0.9	1.4	1.0	0.9
MPIECH-5	0.8	1.0	0.3	0.9
MRI-232A	1.0	0.7	0.5	0.4
NCARPCM1	0.6	1.5	0.4	1.4
UKHADCM3	0.8	1.2	0.1	1.2
UKHADGEM	0.8	1.8	1.4	1.2

1.3 Distribución de la Desviación Estándar de la TSM

La desviación estándar (σ) permite medir la capacidad de los modelos en la simulación de los modos de variabilidad climática de las diferentes cantidades meteorológicas. Los valores bajos de σ indican que la variabilidad entre un periodo de tiempo y otro, por ejemplo entre años, es muy parecida, por lo cual no hay una representación importante de modos de variabilidad, mientras que si son altos indican una buena representación.

Para comparar la variabilidad de las series de la TSM de los datos observados (NOAA) y los datos simulados por los MCGs, se gráfica la desviación estándar espacialmente, como se observa en la Figura 2. A partir de esta representación, los modelos con mayor similitud de la desviación estándar en cada punto de la región del pacífico, serán los más cercanos al modo de variabilidad de la TSM real. Por tanto, por semejanza con lo representado en las observaciones, los modelos BCCRBCM2, CNRM-CM3, GFDLCM20, GFDLCM21 y MPIECH-5 muestran una buena capacidad para simular modos de variabilidad de la TSM, mientras que modelos como FGOALS1G, GISS-EH, GISS-ER y el IPSLCM4 no son recomendables para esta representación.

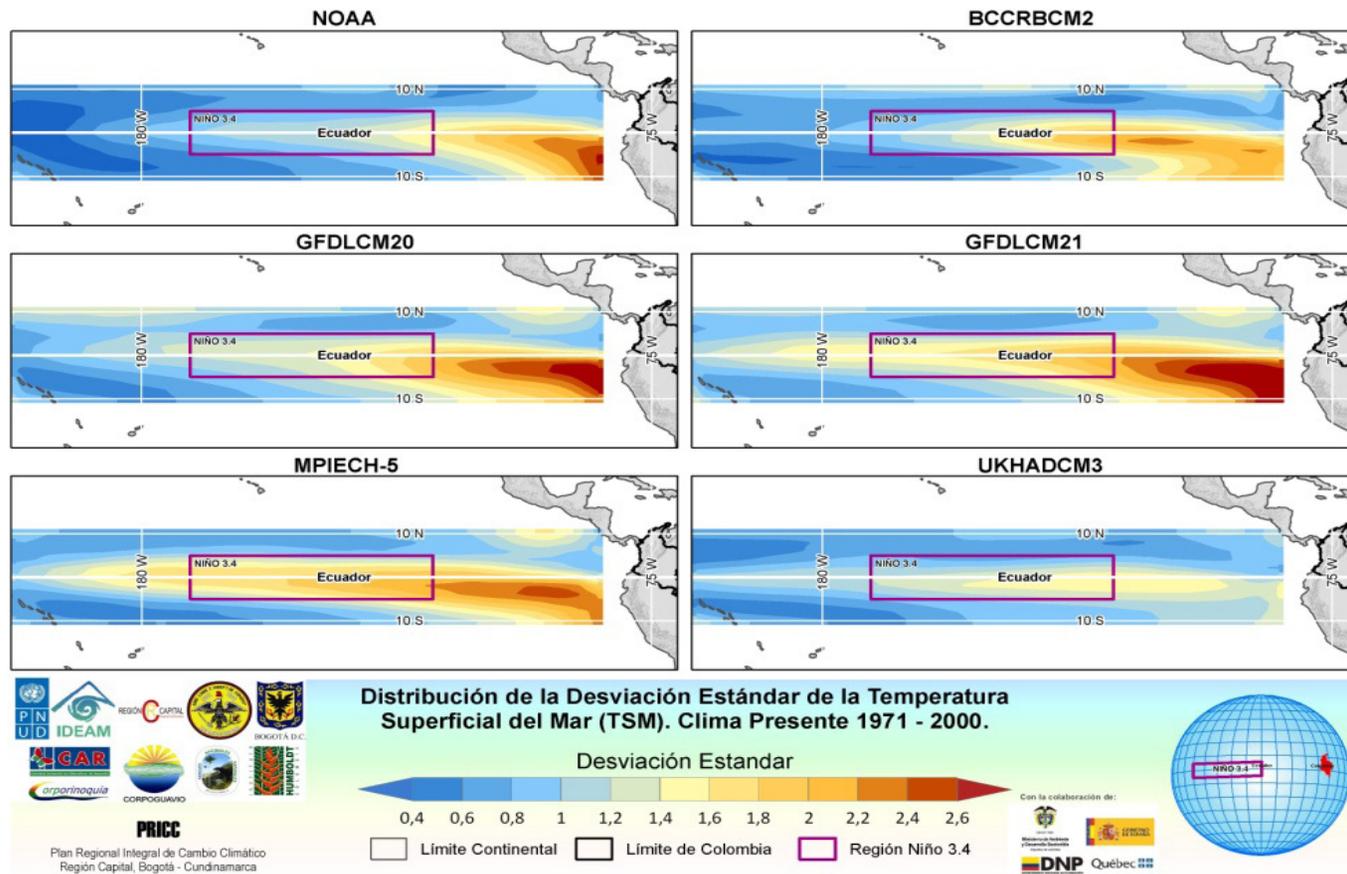


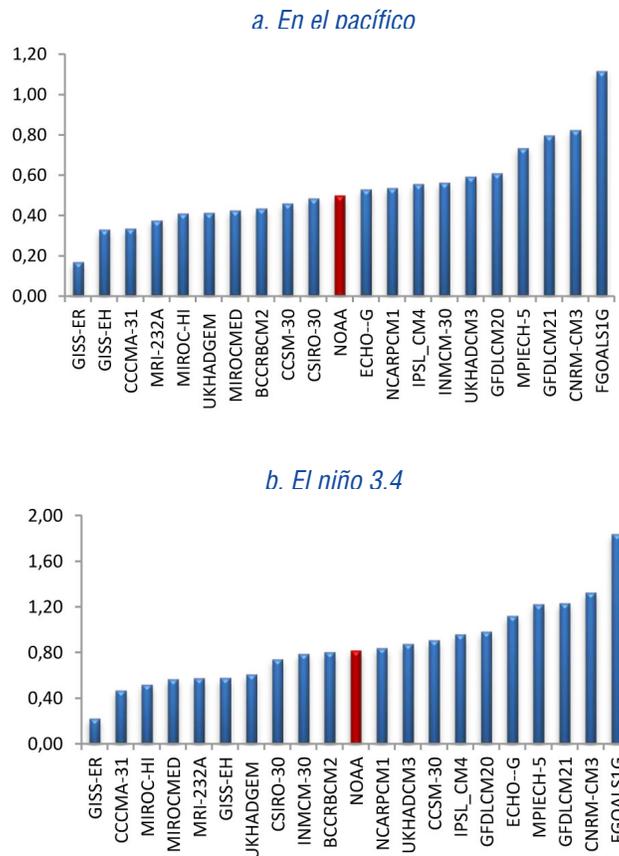
Figura 2. Desviación estándar de la temperatura superficial del mar en el Pacífico para la serie de tiempo de 1971-2000 de los datos de la NOAA y algunos modelos del AR4.

1.3.1 Desviación Estándar de la TSM en las regiones El Niño

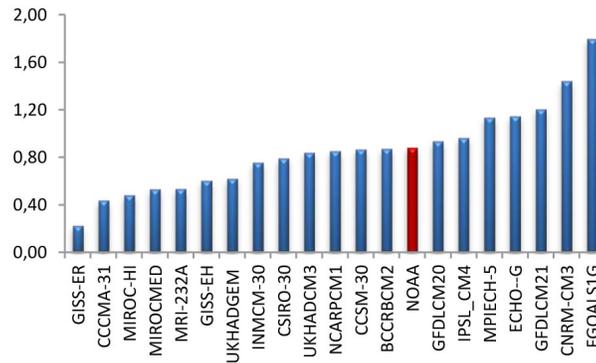
Para una mayor información de la variabilidad de la TSM en el Pacífico y en la comparación de los datos observados y simulados, se representa en la Figura 3 el valor de la desviación estándar de la serie de anomalías de la TSM, en las regiones Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4. Se asume que los modelos con una desviación estándar igual o cernada a lo observado (NOAA) corresponden a los modelos que representan de manera similar la variabilidad de las anomalías de la TSM en cada región.

Modelos como el FGOALS1G, el CNRM-CM3 y el GFDLCM21 muestran una sobrestimación de la variabilidad de la TSM en las diferentes regiones del Pacífico, mientras que el GISS-ER, MRI-232A y el UKHADGEM presentan una subestimación. Gran parte de los modelos evidencian dificultad para simular la variabilidad de las anomalías en la región Niño 3.

En general los modelos FGOALS1G y GISS-ER presentan las mayores diferencias con lo observado, mientras que los modelos BCCRBCM2, CCSM-30, CSIRO-30 y el NCARPCM1 son lo más cercanos.



c. El Niño 3



d. El Niño 4

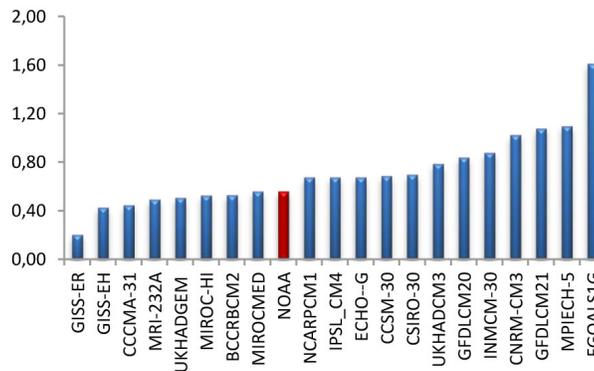


Figura 3. Desviación estándar de las serie de anomalías de la TSM del periodo 1971-2000 de los datos de la NOAA y los 20 modelos del AR4, en las diferentes regiones El Niño.

1.4 Análisis Espectral

En la evaluación de la variabilidad interanual relacionada con el fenómeno El Niño – Oscilación del Sur (ENOS) es pertinente identificar a partir de las series de tiempo de las anomalías de la TSM los ciclos relacionados con las condiciones cálidas y frías del Océano Pacífico. Uno de los métodos implementados en estos casos es el análisis espectral, el cual tiene por objeto descomponer una serie en sus componentes individuales de frecuencia, permitiendo reconocer los periodos más relevantes de ondas contenidas en una señal.

Periodos de 2 a 7 años correspondientes a 24 meses y 84 meses relacionados con el periodo del ENOS se tratan de identificar en el eje x (en escala logarítmica) de los espectros de potencia de la Figura 4, resultado del análisis espectral de las series de anomalías de la TSM en la región El Niño 3.4, de las observaciones (NOAA) y las simulaciones de los modelos más cercanos.

En la Figura 4 se muestran los modelos que identifican con mayor proximidad los ciclos relacionados con las condiciones cálidas y frías del Océano Pacífico, entre los que se encuentran: el BCCRBCM2, CNRM-CM3, CSIRO-30, GFDLCM20, GFDLCM21, MPIECH-5 y el UKHADCM3, reconociendo estos modelos como los más óptimos en la simulación de variabilidad interanual relacionados con los fenómenos El Niño y la Niña.

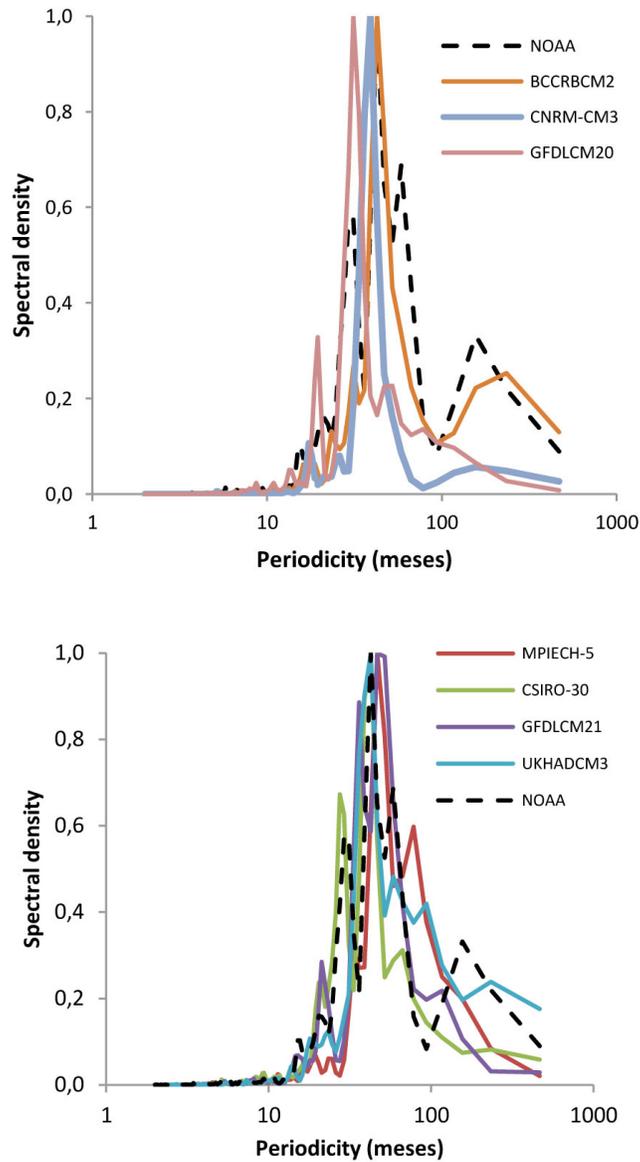


Figura 4. Espectros de potencia resultante del análisis espectral de las series de anomalías de la TSM de la NOAA y los modelos más cercanos, en la región El Niño 3.4.

A partir de los diferentes métodos implementados en la evaluación de la representación de la TSM y su variabilidad, los modelos que se destacan en la simulación de la variabilidad interanual y los cuales identifican el ciclo relacionado con las fases cálidas y frías del Océano Pacífico son: el BCCRBCM2, CSIRO-30, GFDLCM20, GFDLCM21, MPIECH-5 y el UKHADCM3. Por lo tanto estos seis modelos son los implementados en el análisis de los escenarios de cambio climático de la TSM en el Pacífico.

2. Proyecciones de la TSM en el pacífico.

Para la generación de los escenarios de cambio climático se han utilizado los resultados de las simulaciones de los seis modelos seleccionados, bajo los escenarios de emisiones balanceado (A1B), pesimista (A2) y optimista (B1).

En las Figuras 5, 6 y 7, se muestra la variación multianual de la TSM en el Pacífico del ensamblado de los modelos seleccionados, para los periodos: 2011-2030, 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, con respecto al periodo 1970-2000, bajo los escenarios A1B, A2 y B1. De las figuras se puede analizar que las diferencias de la TSM son mayores en los escenarios A1B y A2 que en el B1, y que a través del tiempo los incrementos de la TSM son mayores en todos los escenarios, siendo el periodo 2071-2100 el de más altos valores.

Los incrementos más altos en el periodo 2011-2030 oscilan entre 0.7 °C y 0.8 °C, en el 2011-2040 entre 0.7 °C y 0.9 °C, en el 2041-2070 entre 1.3 °C y 1.7 °C y en el periodo 2071-2100 entre 1.7 °C y 3.0 °C. Los aumentos mayores se dan bajo el escenario A2 y los menores en B1.

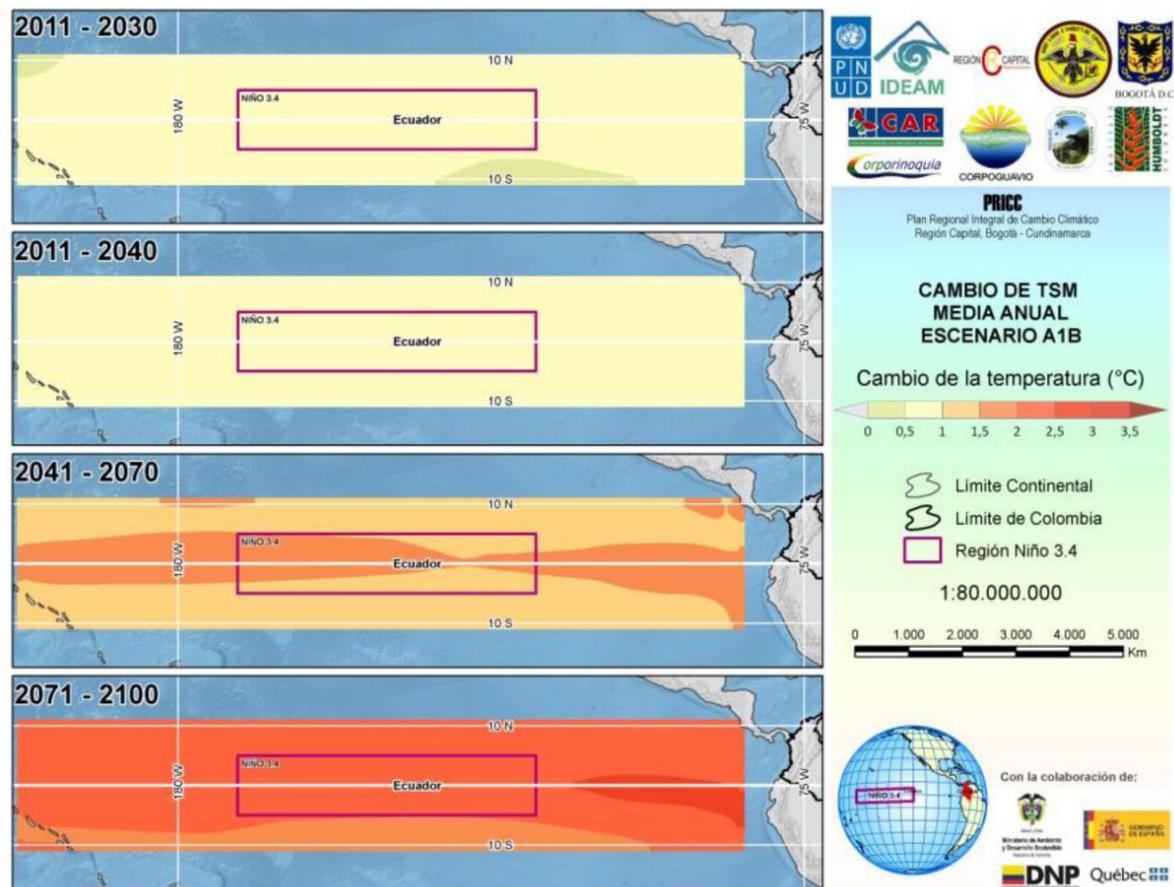


Figura 5. Variación de la TSM anual para el pacífico en los periodos 2011-2030, 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 con el modelo ensamblado en el escenario A1B con respecto al periodo 1970-2000.

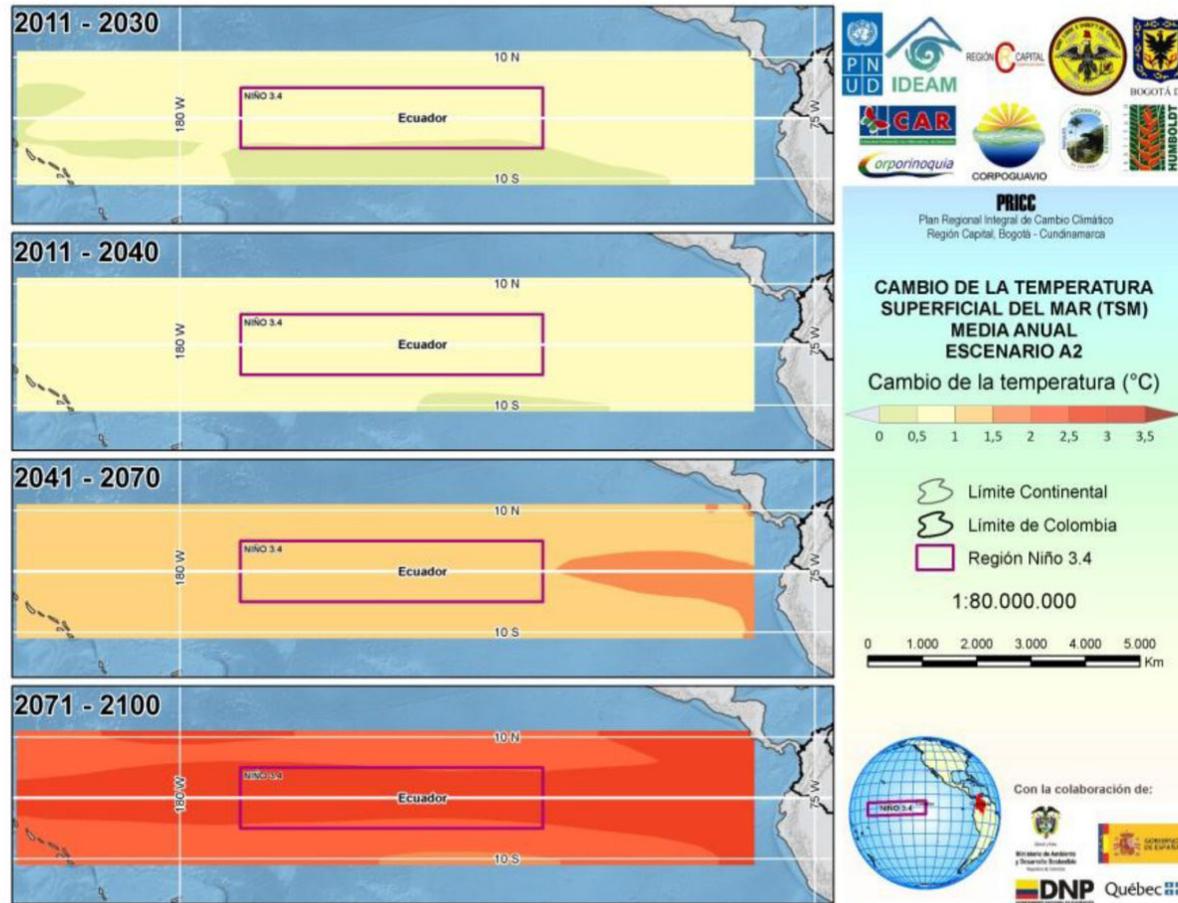


Figura 6. Variación de la TSM anual para el pacífico en los periodos 2011-2030, 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 con el modelo ensamblado en el escenarios A1B con respecto al periodo 1970-2000

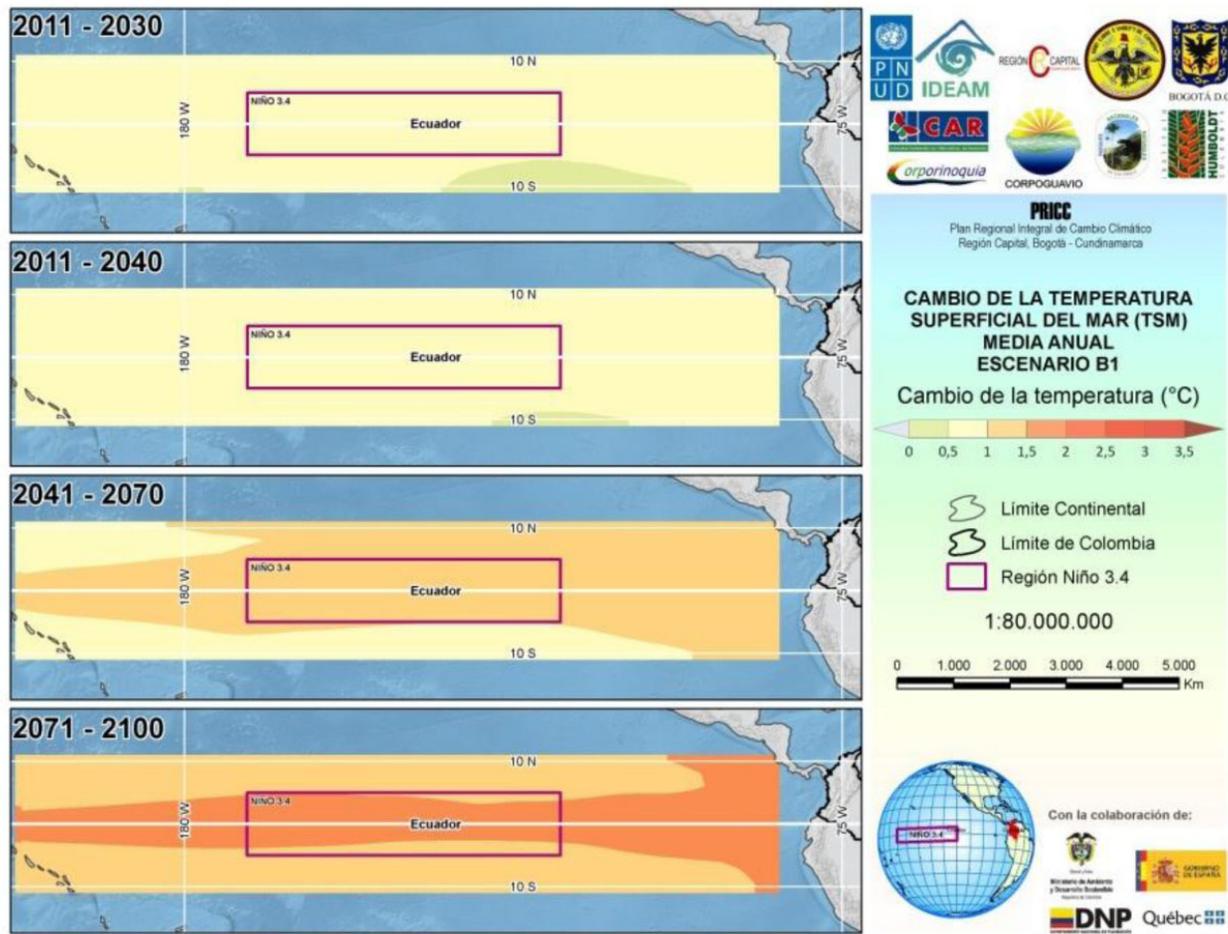


Figura 7. Variación de la TSM anual para el pacífico en los periodos 2011-2030, 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 con el modelo ensamblado en el escenario B1 con respecto al periodo 1970-2000.

2.1 Análisis de las proyecciones de la Variabilidad de la TSM

Los análisis de los ciclos predominantes en las proyecciones de las series de la TSM, en los que se pretende identificar las fases cálidas y frías del Océano Pacífico, muestran en general que la señal de estos fenómenos, bajo los tres escenarios, manifiestan una disminución en su periodo, lo que significa una mayor frecuencia en los cambios de las condiciones cálidas y frías.

Para dar una idea de la ocurrencia de las fases cálidas y frías en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 se construyeron con la serie de tiempo de la TSM, los valores del Índice Oceánico El Niño ONI, que es calculado como la media móvil de tres puntos de la serie mensual de anomalías de la TSM en la región Niño 3.4, con base en el periodo 1971-2000 (Climate Prediction Center, 2009).

La Tabla 3 contiene el número de fases cálidas y frías del Océano Pacífico en la región El Niño 3.4 y su duración promedio, para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 bajo escenarios A1B, A2 y B1, dados a partir de los valores del ONI calculados de la serie de TSM del modelo BCCRBCM2. Esto da una idea de las posibles fases cálidas y frías para los periodos futuros, que como causa del aumento de la TSM, evidencian una tendencia a que el Océano Pacífico permanezca bajo condiciones cálidas. Por lo tanto estas fases son más recurrentes y de gran duración, mientras que las fases frías, son menores y de duración más corta. **La tendencia hacia el calentamiento de la TSM vincula una semi permanencia de la fase cálida del océano para el último periodo del siglo, y la reducción casi nula de las fases frías.**

No se puede indicar con lo anterior que el fenómeno El Niño sea predominante en los periodos futuros, ya que este fenómeno es una interacción Océano-Atmosférica y hasta el momento se ha realizado un análisis específicamente de la TSM, no sabiendo aún de las condiciones futuras de la atmósfera. Más aún es claro que las proyecciones evidencian un aumento progresivo de la temperatura del Océano Pacífico.

Tabla 3. Número y duración promedio de fases cálidas y frías del Océano Pacífico para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 determinados de la serie de la TSM del modelo BCCRBCM2 bajo los escenarios A1B, A2 y B1.

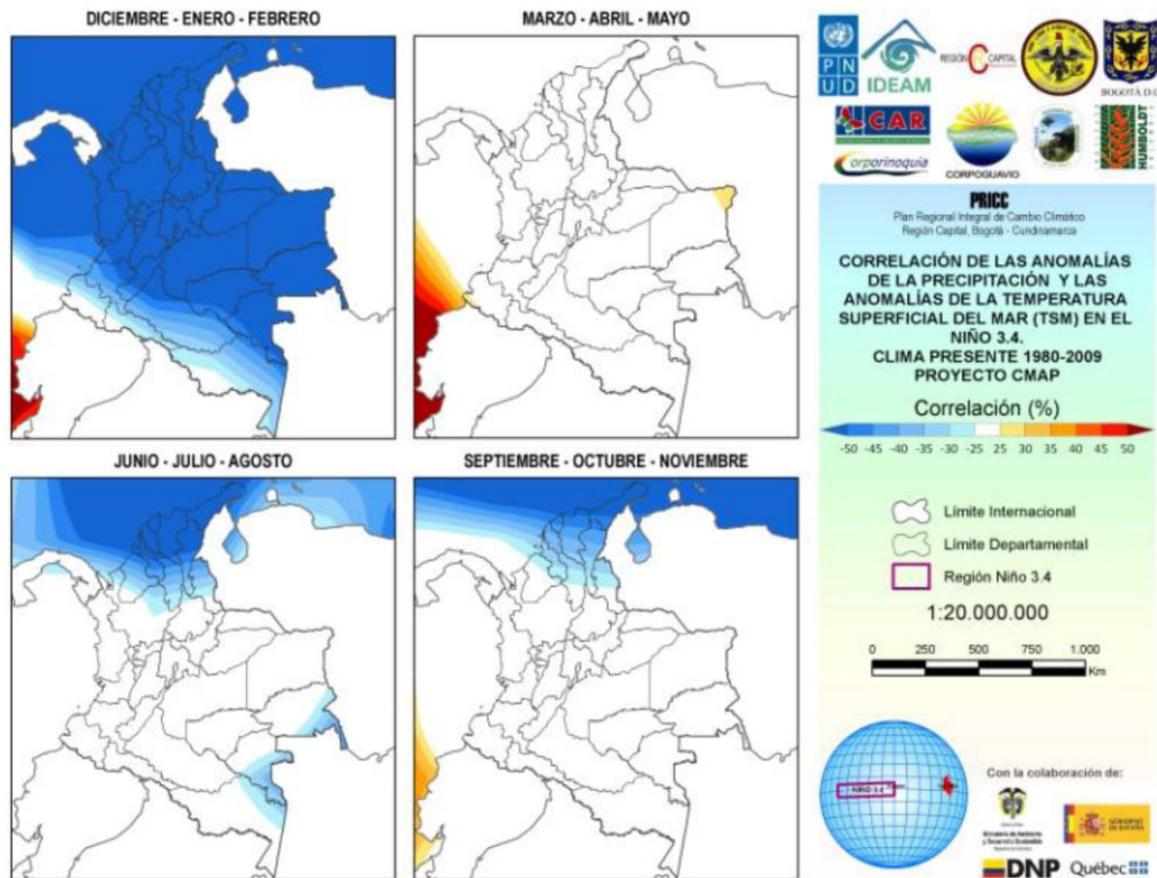
		A1B		A2		B1	
		Numero de eventos	Duración Promedio (meses)	Numero de eventos	Duración Promedio (meses)	Numero de eventos	Duración Promedio (meses)
Clima Presente 1970 - 2000	CALIDA	8	10	8	10	8	10
	NEUTRA	13	12	13	12	13	12
	FRÍA	7	17	7	17	7	17
2011 - 2040	CALIDA	12	11	9	21	10	18
	NEUTRA	14	8	12	5	12	12
	FRÍA	6	7	5	14	3	12
2041 - 2070	CALIDA	12	27	10	Semipermanente	7	30
	NEUTRA	9	7	13	7	10	12
	FRÍA	4	7	1	12	5	9
2071 - 2100	CALIDA	Semipermanente	Semipermanente	Semipermanente	Semipermanente	Semipermanente	Semipermanente
	NEUTRA	5	4	2	7	7	6
	FRÍA	0	0	0	0	0	0

El anterior ejercicio permite dar idea del probable comportamiento de la variabilidad interanual, más aún no se puede tomar como hecho final, considerando la alta incertidumbre que tienen los modelos globales con respecto a la representación del clima y su variabilidad, y por consiguiente la incertidumbre en las proyecciones en los escenarios futuros. El IPCC actualmente con la elaboración del quinto informe de evaluación (AR5) pretende que las simulaciones de los MCGs se fortalezcan en la representación de lo regional, variabilidad y eventos extremos. Además ha propuesto unos caminos representativos de concentración conocidos como RCPs (Representative Concentration Pathways), que serán las nuevas herramientas a implementar en la generación de escenarios futuros.

3. Proyecciones de la precipitación y temperatura en Colombia con relación a la variabilidad interanual de la TSM correspondiente a los fenómenos de El Niño y La Niña.

Los impactos del ENOS en el mundo no siempre son los mismos, lo cual puede ser reflejo del carácter no lineal del clima. Para hacerse a una idea de la relación que puede existir entre las variaciones de la TSM y los cambios en la precipitación y temperatura es muy común implementar análisis de correlación para indicar la correspondencia que se da entre estas variables.

En la Figura 8 se muestran los valores de correlación de la serie de anomalías de la TSM de la NOAA en la región El Niño 3.4 con las anomalías de la precipitación de los datos de referencia (CMAP) para los trimestres de diciembre-enero-febrero (DJF), junio-julio-agosto (JJA), marzo-abril-mayo (MAM) y septiembre-octubre-noviembre (SON). De la Figura 7 se puede observar que la correlación entre la precipitación y las variaciones de la TSM es negativa, lo que representa disminución de la precipitación durante eventos cálidos (El Niño) y aumentos durante eventos fríos (La Niña). Los valores más altos de correlación se dan durante el trimestre DJF, fase de maduración del fenómeno El Niño y periodo en el cual se esperan los mayores efectos sobre el territorio Colombiano. El trimestre MAM es el de menores correlaciones y una gran parte del territorio muestra un valor nulo.



23 *Figura 8. Correlación de la serie de anomalías de la TSM en la región El Niño 3.4 y las anomalías de la precipitación para los datos observados.*

En el caso de la temperatura se muestra en la Figura 9 los valores de la correlación de la serie de anomalías de la TSM de la NOAA en la región El Niño 3.4 con las anomalías de la temperatura para país dadas por los datos ERA40, para los trimestres DJF, JJA, MAM y SON. En la Figura 9 se observan valores positivos, específicamente hacia la región del Pacífico y Caribe, y principalmente durante la época de maduración del fenómeno El Niño correspondiente a DJF. Estas correlaciones positivas representan un patrón en las que bajo condiciones cálidas del Pacífico (El Niño) traerán aumentos de la temperatura de aire y disminuciones durante eventos La Niña.

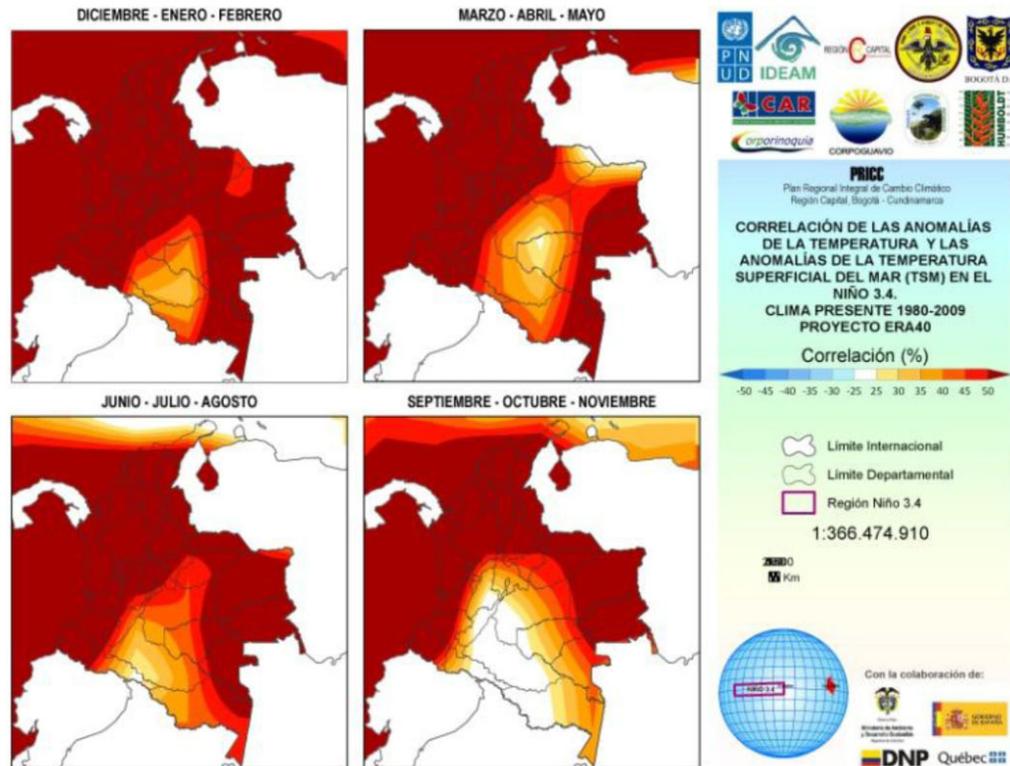


Figura 9. Correlación de la serie de anomalías de la TSM en la región El Niño 3.4 y las anomalías de la temperatura para los datos observados.

Para el análisis de los posibles cambios de la precipitación y la temperatura con relación a la variabilidad de la TSM en el futuro, se estima la precipitación y la temperatura promedio del trimestre diciembre-enero-febrero para el clima presente y para periodo 2011-2040, considerando los años en que este trimestre estuvo bajo condiciones cálidas y frías, relacionados con los fenómenos El Niño y La Niña. Tanto para el clima presente como para el futuro se ha utilizado el modelo Noruego BCCR-BCM2.0 del centro Bjerknes Centre for Climate Research.

La selección del BCCR-BCM2.0 se ha basado en que es un modelo con una buena representación de la TSM y su variabilidad (establecido en la parte inicial de este trabajo) y a su vez, permite dar una buena información de la temperatura y precipitación del país, determinado en el trabajo de investigación: "Evaluación de los Modelos Globales del clima utilizados para la generación de escenarios de cambio climático con el clima presente de Colombia" del IDEAM en el 2010.

En la Figura 10 se representa la precipitación promedio de DJF bajo las condiciones cálidas del Océano Pacífico para el clima presente y en la Figura 11 bajo condiciones frías. Para observar la diferencia de la precipitación en la Figura 12, se presenta la resta de la precipitación promedio entre las condiciones La Niña y condiciones El Niño, en el que se corrobora que las lluvias más altas se dan bajo el evento La Niña, por los valores positivos de la diferencia.

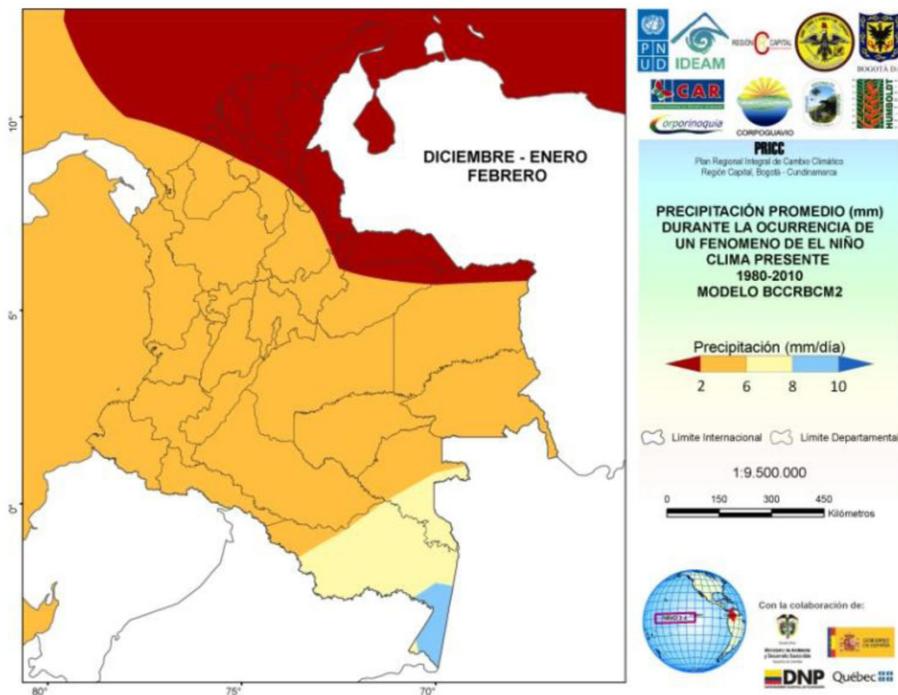


Figura 10. Precipitación promedio durante la ocurrencia de un fenómeno El Niño para el trimestre diciembre-enero-febrero en el periodo 1980-2010 simulado por el modelo BCCRBCM2.

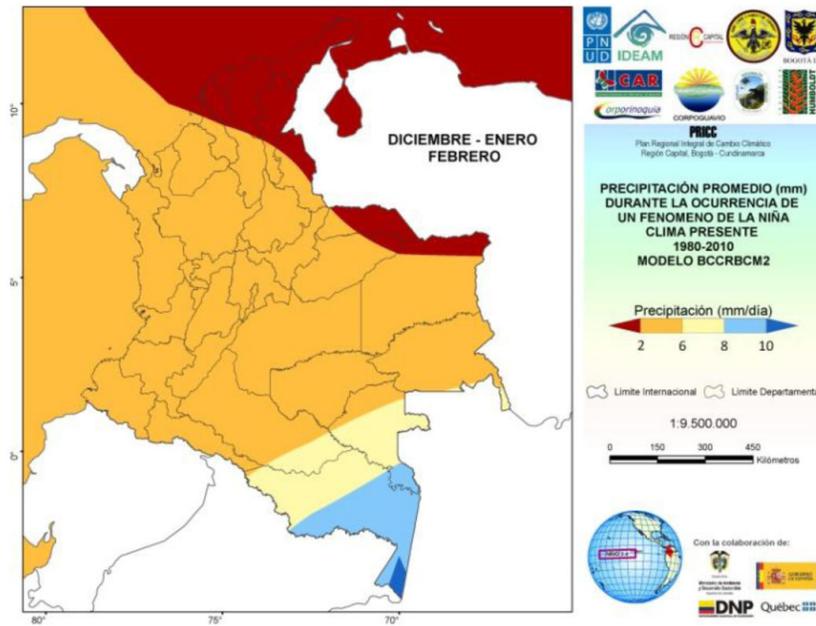


Figura 11. Precipitación promedio durante la ocurrencia de un fenómeno La Niña para el trimestre diciembre-enero-febrero en el periodo 1980-2010 simulado por el modelo BCCRBCM2.

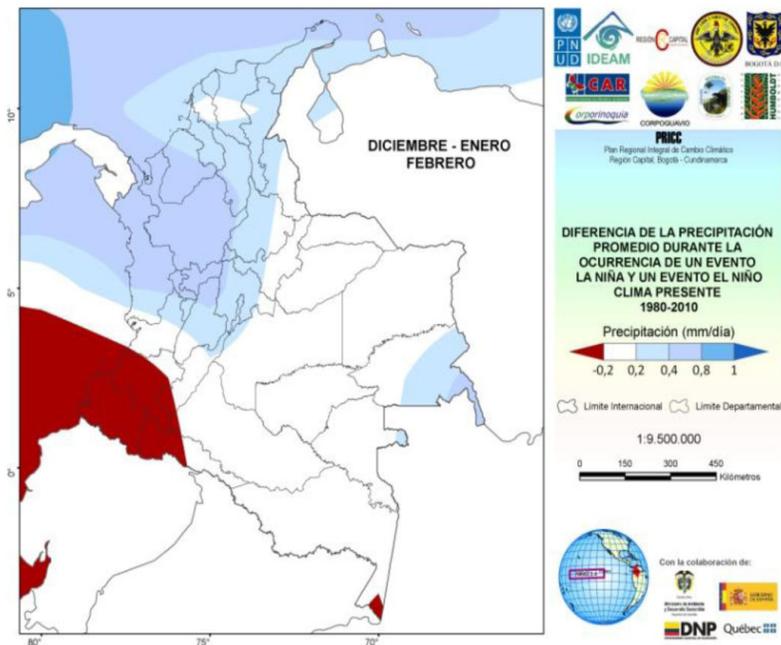
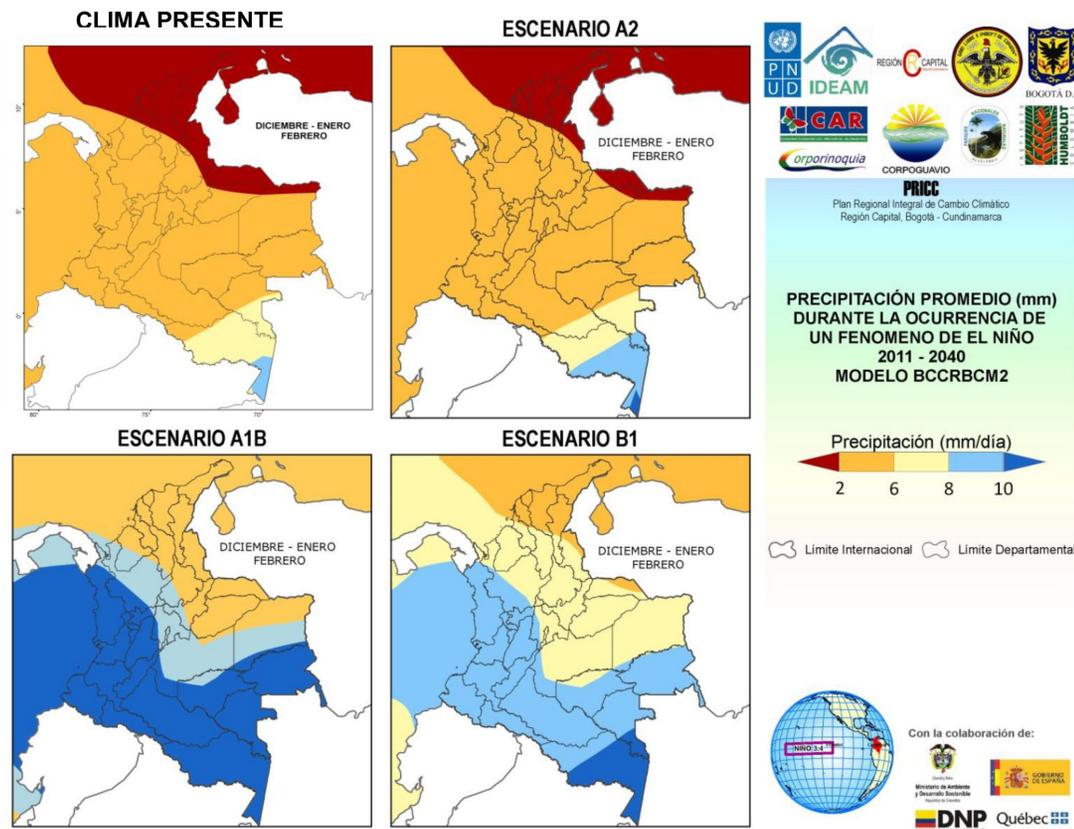


Figura 12. Diferencia de la precipitación promedio entre las condiciones La Niña y condiciones El Niño en el trimestre DJF para el clima presente.

Para observar el cambio de la precipitación bajo las condiciones El Niño en el futuro se representa en la

Figura 13 La precipitación promedio del trimestre DJF en condiciones cálidas del Océano Pacífico para el periodo 2011-2040 bajo los escenarios A1B, A2 y B1, comparándose con la precipitación obtenida en el clima presente. En la figura se muestra un aumento de la precipitación en condiciones cálidas en los escenarios A1B y B1, mientras que el escenario A2 presenta promedios muy cercanos al clima presente en todas las regiones del país.



27 **Figura 13.** Precipitación promedio en el trimestre diciembre-enero-febrero durante la ocurrencia de un fenómeno El Niño para el periodo 2011-2040 bajo los escenarios A1B, A2 y B1.

En el caso del promedio de la precipitación en las condiciones frías del pacífico y en su comparación con el clima presente en la Figura 14 se observa que bajo los escenarios A1B y A2 mantienen un promedio de lluvia muy cercana a la actual y un aumento en el escenario B1.

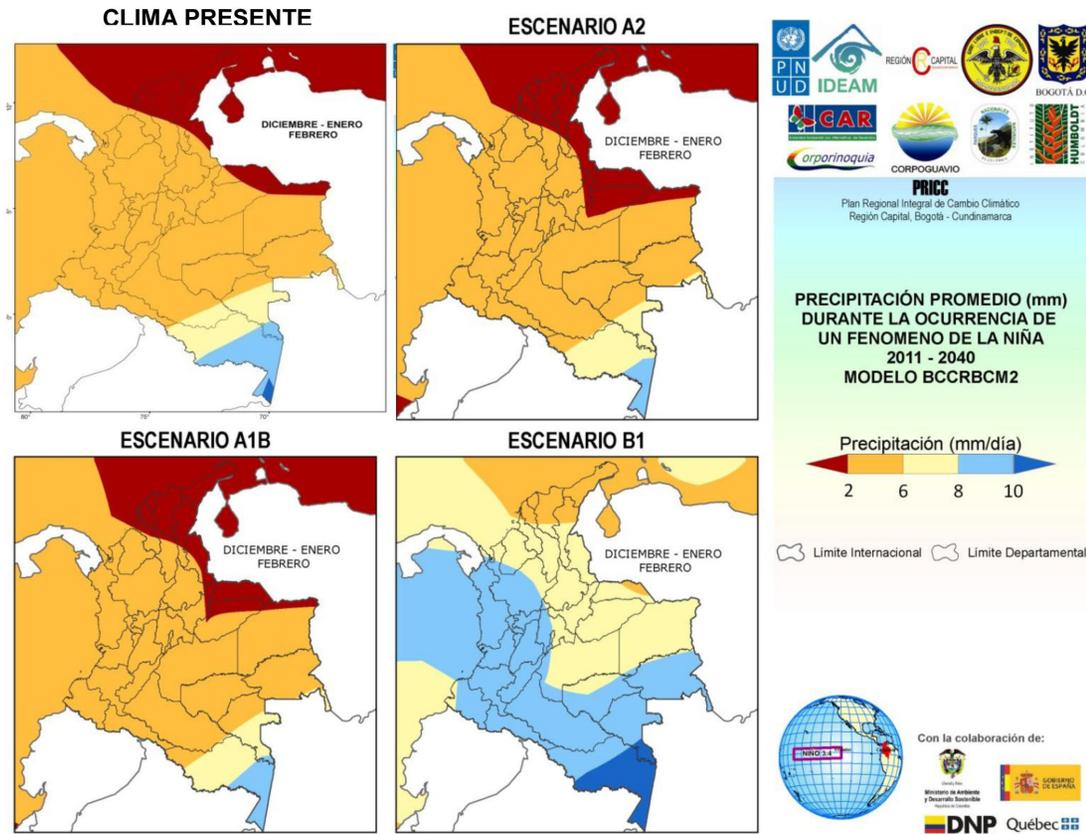


Figura 14. Precipitación promedio en el trimestre diciembre-enero-febrero durante la ocurrencia de un fenómeno El Niño para el periodo 2011-2040 bajo los escenarios A1B, A2 y B1.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los modelos que se destacan en la evaluación de la representación de la variabilidad interanual del clima relacionada con los fenómenos El Niño y La Niña son el BCCRBCM2, CSIRO-30, GFDLCM20, GFDLCM21, MPIECH-5 y el UKHADCM3.

Las simulaciones de la temperatura superficial del mar (TSM) para los periodos 2011-2030, 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, con respecto al periodo 1970-2000, bajo los escenarios A1B, A2 y B1, muestran un incremento sobre toda la región del Pacífico, donde el último periodo del siglo muestra los mayores aumentos, con un crecimiento hasta de 3°C en un escenario pesimista.

Los análisis de los ciclos predominantes en las proyecciones de las series de la TSM, muestran en general, una disminución de los periodos de las fases cálidas y frías del Océano Pacífico, bajo los tres escenarios, lo que significa una mayor frecuencia en los cambios de estas condiciones.

Con el posible aumento de la TSM y el probable cambio de la frecuencia de las fases cálidas y frías del Océano Pacífico, se evidencia una probable tendencia a que el Océano Pacífico se mantenga bajo condiciones cálidas. Por lo tanto los periodos cálidos se muestran más recurrentes y de gran duración, mientras que las fases frías son menores y de duración más corta. La tendencia hacia el calentamiento de la TSM vincula una semipermanencia de la fase cálida del océano para el último periodo del siglo, y la reducción de las fases frías. Sin embargo, no se puede indicar con lo anterior que el fenómeno El Niño sea predominante en los periodos futuros, ya que este fenómeno es una interacción Océano-Atmosférica y hasta el momento se ha realizado un análisis específicamente de la TSM, sin tener en cuenta las condiciones futuras de la atmósfera.

Los patrones de precipitación y temperatura relacionados con la variabilidad de la temperatura superficial del mar en el Pacífico, muestran en general, a través del análisis de correlación, valores negativos para la precipitación y positivos para la temperatura en gran parte del territorio del país, representados en forma común por los diferentes MCG.

Los MCG por ser globales tienen una menor resolución, por lo cual no son muy indicados en estudios e investigación de zonas específicas. No obstante, para algunos trabajos la información que suministran los MCG puede ser suficiente y permite generar una idea del comportamiento general del clima futuro. En algunas investigaciones en las cuales se desea puntualizar es necesario aplicar técnicas de regionalización y de esta manera tener en cuenta los factores locales además de los de gran escala. En ese sentido es necesario el uso de un modelo regional el cual puede tomar mayores resoluciones y ser más hábil en la determinación del clima de una zona.

La implementación de la información generada aquí bajo los datos simulados con los MCG y bajo los diferentes escenarios de emisión SRES debe ser utilizada con gran precaución, como consecuencia de la alta incertidumbre de los resultados de los diferentes modelos en la representación de la TSM y las variables de precipitación y temperatura del clima presente. Además el IPCC actualmente con la elaboración del quinto informe de evaluación (AR5) pretende que las simulaciones de los MCGs se fortalezcan en la representación de lo regional, variabilidad y eventos extremos y ha propuesto unos caminos representativos de concentración conocidos como RCPs (Representative Concentration Pathways) que serán las nuevas herramientas a implementar en la generación de escenarios futuros. Por tanto es recomendable realizar los nuevos estudios de proyecciones con la implementación de estos caminos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Capel, J. (1999). *El Niño y el sistema climático terrestre*. Barcelona, España.: Ed. Ariel, S.A.

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

Climate Prediction Center. (2009). *National weather service*. [Online] National Oceanic & Atmospheric Administration. Recuperado el 5 de Marzo de 2010, de http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

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

IDEAM. (2005). *Atlas Climatológico de Colombia*. Bogotá, Colombia.: Imprenta nacional de Colombia.

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

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



IDEAM Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales



BOGOTÁ
HUMANANA



CORPOGUAVIO



Al servicio
de las personas
y las naciones



PRICC

Plan Regional Integral de Cambio Climático
Región Capital, Bogotá Cundinamarca

www.priccregioncapital.org

Cra. 10 No. 20-30, Piso 7

Teléfono (57-1) 3527160, Extensión 1423

Con la colaboración de:



MinAmbiente
Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sostenible

**PROSPERIDAD
PARA TODOS**

DNP
DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN



Québec