

Propuesta Metodológica alternativa para generar escenarios de cambio climático en lo que resta del siglo XXI (trayectorias socioeconómicas compartidas) usando CPT (Climate Predictability Tool)

TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE PARA TERRITORIO CONTINENTAL COLOMBIANO

Autores

José Franklyn Ruiz Murcia
Xavier Corredor Llano (ENANDES)
Jeimmy Yanelly Melo Franco

***Grupo de modelamiento
numérico de tiempo
y clima***



PROPUESTA METODOLÓGICA ALTERNATIVA PARA GENERAR ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LO QUE RESTA DEL SIGLO XXI (TRAYECTORIAS SOCIOECONÓMICAS COMPARTIDAS) USANDO CPT (CLIMATE PREDICTABILITY TOOL) - CASO: TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE PARA TERRITORIO CONTINENTAL COLOMBIANO

RESUMEN

En agosto de 2021 el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) presentó los nuevos resultados sobre la siguiente generación de escenarios de cambio climático denominados "Trayectorias Socioeconómicas Compartidas". Dichos escenarios expresan los cambios de distintas variables meteorológicas con respecto a climas de referencia a nivel mundial bajo 4 escenarios (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5) a lo largo de lo que resta del siglo XXI con base en un ensamble de 33 modelos, de baja resolución, que hacen parte del proyecto CMIP6 (Couple Model Intercomparison Project). El objetivo de utilizar estos resultados fue realizar una reducción de escala estadística con el fin de obtener escenarios en alta resolución espacial a nivel nacional bajo los tres periodos considerados por IPCC a lo largo del siglo XXI (2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100). Para ello se utilizó los estándares de predicción desarrollados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los cuales sugieren el uso de varios modelos, utilizando sólo aquellos que estén calibrados por patrones espaciales, y entregando predicciones en formato flexible (función de densidad de probabilidad). Parte de este proceso fue establecer relaciones estadísticas de clima actual entre los modelos y los puntos de observación, y una vez conocidas estas relaciones y su habilidad predictiva se aplicaron a las predicciones dadas por los modelos que, en este caso son los escenarios propuestos por IPCC para obtener los escenarios en alta resolución espacial. Las relaciones estadísticas se obtuvieron a través del Análisis de Correlación Canónica (ACC) con el uso de la última versión de la herramienta Climate Predictability Tool (CPT) desarrollada por el Instituto Internacional de Investigación para Clima y Sociedad (IRI). Como observaciones se utilizaron los datos reticulados de temperatura media del aire del Enhancing National Climate Services Initiative (ENACTS) y disponibles en la Data Library del IRI. La siguiente generación de escenarios de cambio climático sugiere que, en promedio la temperatura media del aire en Colombia aumentará desde 0.5°C (2021-2040) hasta 0.7°C (2081-2100) para el escenario SSP1-2.6, entre 0.5°C (2021-2040) y 1.2°C (2081-2100) para el escenario SSP2-4.5, entre 0.5°C (2021-2040) y 1.7°C (2081-2100); no obstante, bajo el escenario más pesimista (SSP5-8.5) el modelo más extremo estima que este aumento podría ser superior a los 6°C hacia 2100. Las zonas que presentaría los mayores aumentos de temperatura media del aire se ubican en las regiones de la Orinoquía y Amazonía.

Palabras claves: cambio climático, escenarios, climatología, IPCC, CMIP6.

ABSTRACT

In August 2021, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) presented the new results about the next generation of climate change scenarios called "Shared Socioeconomic Pathways." These scenarios express changes in various meteorological variables in relation to reference climates worldwide under 4 scenarios (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, and SSP5-8.5) throughout the remaining 21st century, based on an ensemble of 33 low-resolution models that are part of the CMIP6 project (Couple Model Intercomparison Project). The objective of using these results was to carry out a statistical downscaling in order to obtain high-resolution spatial scenarios at the national level for the three periods considered by the IPCC throughout the 21st century (2021-2040, 2041-2060, and 2081-2100). To achieve this, prediction standards developed by the World Meteorological Organization (WMO) were used, which suggest using multiple models, selecting only those that are calibrated by spatial patterns and providing predictions in flexible format (probability density function). Part of this process involved establishing statistical relationships between the models and observation points for the current climate. Once these relationships and their predictive ability were known, they were applied to the predictions given by the models, which in this case are the scenarios proposed by the IPCC, to obtain high-resolution spatial scenarios. The statistical relationships were obtained through Canonical Correlation Analysis (CCA) using the latest version of the Climate Predictability Tool (CPT) developed by the International Research Institute for Climate and Society (IRI). The gridded data for average air temperature from the Enhancing National Climate Services Initiative (ENACTS) and available in the IRI Data Library were used as observations. The next generation of climate change scenarios suggests that, on average, the average air temperature in Colombia will increase from 0.5°C (2021-2040) to 0.7°C (2081-2100) for scenario SSP1-2.6, between 0.5°C (2021-2040) and 1.2°C (2081-2100) for scenario SSP2-4.5, and between 0.5°C (2021-2040) and 1.7°C (2081-2100) for scenario SSP3-7.0. However, under the most pessimistic scenario (SSP5-8.5), the most extreme model estimates that this increase could be greater than 6°C by 2100. The areas experiencing the greatest increases in average air temperature are located in the Orinoquía and Amazonía regions.

Keywords: climate change, scenarios, climatology, IPCC, CMIP6.

Contenido

1. Introducción	4
2. Datos y Metodología.....	8
3. Discusión y resultados	11
3.1. Selección de modelos del CMIP6.....	11
3.2. Ensamble multi-modelo para los 4 escenarios SSP	12
Conclusiones.....	17
Referencias Bibliográficas	18
ANEXOS	21
Anexo A	21
Anexo B	33
Anexo C	34

1. Introducción

El pasado 9 de agosto de 2021, el Grupo de Trabajo I del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) entregó su contribución científica al Sexto Informe de Evaluación AR6 denominado: “Cambio Climático 2021: La Base de la Ciencia Física”. En su resumen para tomadores de decisiones y con respecto a los escenarios de cambios cambio climático, el grupo entregó un conjunto de cinco nuevos escenarios de emisiones ilustrativos para explorar la respuesta climática a una gama más amplia de futuros de gases de efecto invernadero (GEI), uso de la tierra y contaminación atmosférica con respecto a los considerados en el Quinto Informe de Evaluación AR5. Como valor agregado al reporte anterior, estas proyecciones tienen representadas adicionalmente la actividad solar y el forzamiento de fondo de los volcanes. Los resultados para el siglo XXI los han suministrado a corto plazo (2021–2040), mediano plazo (2041–2060) y largo plazo (2081–2100) en relación con 1850–1900 (IPCC, 2021).

Dichos escenarios denominados "Trayectorias Socioeconómicas Compartidas" (o "Shared Socioeconomic Pathways" SSP por sus siglas en inglés) comienzan en 2015 e incluyen escenarios con emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) altas y muy altas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) y emisiones de CO₂ que casi duplican los niveles actuales para 2100 y 2050, respectivamente; escenarios con emisiones de GEI intermedias (SSP2-4.5) y emisiones de CO₂ remanentes en torno a los niveles actuales hasta mediados de siglo. También considera escenarios con muy bajas y bajas emisiones de GEI y de CO₂ disminuyendo a cero alrededor o después de 2050, seguido de niveles variables de emisiones negativas netas de CO₂ (SSP1-1.9 y SSP1-2.6). Las emisiones varían entre escenarios según los supuestos socioeconómicos, niveles de mitigación del cambio climático, así como por presencia de aerosoles, precursores de ozono distintos del metano y el control de la contaminación atmosférica (IPCC, 2021). Estos escenarios describen las siguientes narrativas socioeconómicas:

SSP1: El camino sostenible y “verde” describe un mundo cada vez más sostenible. Se preservan los bienes comunes globales y se respetan los límites de la naturaleza. La atención se centra más en el bienestar humano que en el crecimiento económico. Se están reduciendo las desigualdades de ingresos entre estados y dentro de los estados. El consumo está orientado a minimizar el uso de recursos materiales y energéticos.

SSP2: El “Middle of the road” o camino medio extrapola el desarrollo global pasado y actual hacia el futuro. Las tendencias de ingresos en diferentes países están divergiendo significativamente. Existe cierta cooperación entre estados, pero apenas se amplía. El crecimiento de la población mundial es moderado y se estabiliza en la segunda mitad del siglo. Los sistemas ambientales se enfrentan a una cierta degradación.

SSP3: Rivalidad regional. El resurgimiento del nacionalismo y los conflictos regionales deja los problemas globales en un segundo plano. Las políticas se centran cada vez más en cuestiones de seguridad nacional y regional. Las inversiones en educación y desarrollo tecnológico están disminuyendo. La desigualdad está aumentando. Algunas regiones sufren daños medioambientales drásticos.

SSP4: Desigualdad. El abismo entre las sociedades desarrolladas que cooperan globalmente y aquellas que se encuentran estancadas en una etapa de desarrollo inferior con bajos ingresos y un bajo nivel de educación se está ampliando. Las políticas ambientales tienen éxito a la hora de abordar los problemas locales en algunas regiones, pero no en otras.

SSP5: Desarrollo impulsado por combustibles fósiles. Los mercados globales están cada vez más integrados, lo que genera innovaciones y progreso tecnológico. El desarrollo social y económico, sin embargo, se basa en una explotación intensificada de los recursos fósiles con un alto porcentaje de carbón y un estilo de vida intensivo en energía en todo el mundo. La economía mundial está creciendo y los problemas medioambientales locales, como la contaminación del aire, se están abordando con éxito.

Para realizar dichos escenarios, el informe evaluó los resultados de los modelos climáticos que participaron en el Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 6 (CMIP6) del Programa Mundial de Investigación del Clima. Dichos modelos incluyeron nuevas y mejores representaciones de procesos físicos, químicos y biológicos, así como una mayor resolución en comparación con los modelos climáticos considerados en informes anteriores de evaluación del IPCC. Esto ha mejorado la simulación del estado medio de gran escala de los indicadores del clima, cambio climático y muchos otros aspectos de todo el sistema climático; no obstante, persisten algunas diferencias con las observaciones como, por ejemplo, en patrones regionales de precipitación. El ensamble de las simulaciones históricas CMIP6 evaluadas en este informe (AR6) tienen una diferencia de temperatura dentro de $0,2^{\circ}\text{C}$ con respecto a las observaciones durante la mayor parte del período histórico y, el calentamiento observado se encuentra dentro del rango muy probable en el ensamble CMIP6. Sin embargo, algunos modelos de CMIP6 simulan un calentamiento que está por encima o por debajo del calentamiento observado evaluado dentro del rango de muy probable.

De acuerdo con el trabajo realizado por el Grupo de Trabajo I del AR6 es muy probable que la temperatura global de la superficie, promediada para 2081-2100 en comparación con 1850-1900, sería entre $1,0^{\circ}\text{C}$ y $1,8^{\circ}\text{C}$ más alta bajo el escenario de muy bajas emisiones de GEI considerado (SSP1-1.9); entre $2,1^{\circ}\text{C}$ a $3,5^{\circ}\text{C}$ en el escenario intermedio de GEI (SSP2-4.5) y de $3,3^{\circ}\text{C}$ a $5,7^{\circ}\text{C}$ en el escenario de emisiones de GEI muy altas (SSP5-8.5). La última época en que la temperatura de la superficie global se mantuvo $2,5^{\circ}\text{C}$ o más que en 1850-1900 fue hace más de 3 millones de años (confianza media) (IPCC, 2021). El AR6 también señala que es muy probable que la variabilidad de las precipitaciones relacionado con El Niño-Oscilación del Sur se amplifique para la segunda mitad del siglo XXI bajo los escenarios SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5.

El objetivo de trabajar con escenarios de cambio climático no es predecir el futuro climático sino evaluar un amplio espectro de posibilidades respecto al posible comportamiento del clima en el futuro, entendiendo las incertidumbres asociadas con el fin de orientar decisiones robustas que permitan anticiparse a los eventuales hechos, y generar desde hoy un accionar eficaz que permita introducir los cambios sociales, ambientales, económicos y políticos necesarios para no llegar a la situación proyectada de un futuro desfavorable (IDEAM et al., 2015).

A nivel nacional vale la pena mencionar trabajos anteriores frente a la generación de escenarios de cambio climático para temperatura y precipitación a lo largo del siglo XXI en Colombia como los realizados por Molina, et al. (2003), Pabón (2003, 2008 y 2012); Ruiz & Martínez (2007) y Ruiz (2007, 2010 y 2017); en los cuales se tomaron como datos de entrada escenarios de duplicación de CO_2 y/o salidas de modelos globales usados tanto en el AR4 (Escenarios de emisión SRES) como en el AR5 (escenarios RCP) del IPCC; realizando con estos distintos tipos de reducción de escala y metodologías para obtener resultados con cierto detalle a escala nacional. En general, todos estos trabajos muestran un acuerdo en el aumento de temperatura para lo que resta del siglo XXI, pero presentan diferencias en el comportamiento de la precipitación tanto en magnitud como en localización, con respecto al clima de referencia utilizado.

Para la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, Colombia presentó las alteraciones más probables de lluvia y temperatura a lo largo del siglo XXI frente a la climatología de referencia 1976-2005 bajo escenarios de forzamiento radiativo RCP (Caminos representativos de concentración) usando las salidas de los modelos globales del proyecto CMIP5 y realizando un downscaling estadístico con el método REA (Reability Ensemble Averaging) descrito por Giorgi & Mearns (2002). Sus análisis mostraron que para el escenario más pesimista (o de mayor forzamiento radiativo) la temperatura en el país aumentaría entre $3,5^{\circ}\text{C}$ y $4,0^{\circ}\text{C}$ a final del siglo XXI; mientras que la precipitación presentaría una disminución entre 10% y 40% en la región Caribe y la Amazonía e incrementos de lluvia en el centro de la región Andina entre 10% y 30%. En la Orinoquía y el resto del país no habría cambios significativos con respecto al clima actual ya que los cambios oscilarán entre $\pm 10\%$ (IDEAM et al., 2015).

En Colombia y, con respecto a esta última generación de escenarios de cambio climático, Arias et al., (2021) realizaron una verificación entre los conjuntos de modelos de circulación global (MCG) de CMIP6 con observaciones procedentes de distintas fuentes de datos como los registrados por el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (Ideam), datos derivados de satélite y distintos reanálisis. En su trabajo encontraron que los modelos de última generación (CMIP6) mejoraron su desempeño con respecto a los modelos de la generación anterior (CMIP5), aunque siguen presentando

sesgos. De acuerdo con sus análisis, parte de los sesgos de los modelos se atribuyen a los problemas de representación de los efectos de la topografía en simulaciones con un tamaño de retícula de unos 50 km o más. Otra contribución importante a los sesgos podría originarse en el uso de parametrizaciones de convección de cúmulos que se necesitan para simulaciones con un tamaño de cuadrícula mayores a 10 km, los cuales no están resueltas explícitamente por los modelos de circulación general. Como resultado hallaron que los mayores sesgos para la temperatura se presentan sobre los Andes Colombianos.

Frente al cambio climático a finales del siglo XXI y teniendo en cuenta escenarios de mayores emisiones de gases de efecto invernadero, su trabajo sugiere condiciones más cálidas y cambios mixtos de precipitación en Colombia, con reducciones de estas en la Orinoquía y la Amazonia entre julio-agosto y septiembre-noviembre, e incrementos en el oriente del Océano Pacífico durante todo el año. Lo anterior fue el resultado de usar solo los modelos de CMIP6 que mejor representan el clima de Colombia.

En lo que resta de la presente propuesta se exponen los datos utilizados tanto de los modelos de CMIP6 como de las observaciones; así como, la metodología de reducción de escala estadística con el fin de obtener escenarios de cambio climático en alta resolución espacial y, los resultados de aplicar esta técnica para el caso de la temperatura del aire en Colombia.

Con respecto a la metodología de reducción de escala estadística, la [OMM \(2019\)](#) expresa que existe una gran variedad de métodos estadísticos con diferentes niveles de complejidad, los modelos más empleados se construyen mediante regresiones lineales. Los modelos que utilizan directamente el valor del predictor normalmente se denominan modelos de regresión lineal simple; cuando se utilizan varios predictores, se denominan modelos de regresión lineal múltiple. Para minimizar los errores de multicolinealidad (los predictores no son completamente independientes) y los errores de multiplicidad (demasiados predictores) se acostumbra a realizar una reducción dimensional del espacio del predictor mediante el cálculo de funciones empíricas ortogonales (EOF por su sigla en inglés) de la variable predictora. Cuando el modelo de regresión usa como predictor las EOFs del predictor, el modelo se denomina regresión de componentes principales o PCR por sus siglas en inglés.

Cuando se trata de un modelo para múltiples localizaciones, los predictandos pueden estar intercorrelacionados, lo que puede provocar que un enfoque de PCR proporcione predicciones inconsistentes debido a errores de muestreo al estimar los coeficientes del modelo. En esos casos, es posible utilizar modelos de análisis de correlación canónica (ACC), que maximizan la correlación entre combinaciones lineales de las EOFs del predictando y del predictor seleccionado. Por lo anterior, dicho ACC fue la metodología de análisis multivariado para generar los escenarios tomando como predictores datos de los modelos dinámicos de CMIP6 y como predictando los datos reticulados de ENACTS.

Así mismo [OMM \(2019\)](#) expresa que algunas ventajas de los métodos empíricos son: requieren pocos recursos informáticos, son fáciles de implementar operativamente, están diseñados para ser consistentes con las observaciones (ya tienen corrección de sesgo, al menos con respecto a los valores medios), y ofrecen predicciones en términos de valores deterministas y probabilidades. Para el caso de estos nuevos escenarios, es importante mencionar que se usó el enfoque determinista dado por cada modelo y su incertidumbre se expresó indicando los valores de los percentiles 5 y 95 calculado entre el conjunto de modelos utilizados tal como el IPCC lo hace en sus análisis globales y regionales ([Gutiérrez et al., 2021](#)). Por lo tanto, y como menciona [OMM \(2019\)](#) aunque la media del conjunto aparece como un valor único y, a veces, se la denomina "determinista", sigue siendo el resultado de un sistema de predicción de conjunto probabilístico. La media del conjunto, al ser solo un promedio de muchas realizaciones de pronósticos, no es un resultado de pronóstico *per se*, sino que representa un promedio de varios posibles resultados de pronósticos (ensamble). La media del conjunto proporciona una indicación simple de la amplitud de las anomalías del pronóstico.

No obstante, algunas desventajas son que los métodos empíricos más comunes asumen la estacionariedad en el sistema climático; por lo tanto, no pueden representar adecuadamente la presencia de tendencias y otras variaciones, tienden a tener problemas para reproducir la varianza observada de los predictandos y, dado que generalmente se basan en relaciones lineales, les resulta difícil representar interacciones no lineales dentro del sistema climático [OMM \(2019\)](#).

Aunque los métodos empíricos tienden a usar campos observados (por ejemplo, temperatura superficial del mar o variables de circulación atmosférica) como predictores ([Alfaro, 2007](#); [Amador & Alfaro, 2009](#); [Díaz & Villegas, 2015](#)), también pueden usar la salida de modelos dinámicos. Los campos de precipitación pronosticados dinámicamente, por ejemplo, se pueden usar como predictores, mientras que la precipitación observada se puede usar como predictando. Este método “híbrido” también puede corregir los sesgos del modelo ([OMM, 2019](#)). Este último enfoque fue empleado para obtener los escenarios de la temperatura media del aire en Colombia.

Los resultados que se comparten son para la escala anual de la temperatura media del aire para los períodos propuestos por el IPCC (2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100) con la diferencia de que las anomalías de temperatura son comparadas con respecto al clima de referencia 1981-2010; como también lo permite hacer el atlas interactivo del IPCC.

2. Datos y Metodología

De acuerdo con OMM (2019) cuando se realizan predicciones se requiere de una variable denominada predictor y otra conocida como predictando. El predictor es la variable que explicará el predictando y, por lo tanto, esta es la variable independiente; mientras que, el predictando es la variable dependiente.

En este sentido el predictor es la salida de temperatura media del aire dado por el conjunto de modelos globales de baja resolución del CMIP6; mientras que, el predictando son los datos reticulados en alta resolución espacial de dichas variables meteorológicas suministradas por el proyecto Enhancing National Climate Services Initiative (ENACTS) del IRI para territorio continental colombiano.

Frente a los datos del predictor es importante mencionar que estos se descargaron de la CDS (Climate Data Storage) del programa Copernicus desde la url: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cmip6>. El período histórico disponible (o hindcast) de esta fuente de datos es el comprendido entre 1850-2014. Sin embargo, el período histórico seleccionado como período de referencia de clima presente fue el comprendido entre 1981-2010 ya que el predictando en alta resolución está disponible entre 1981-2016 como se describe más adelante.

El número de modelos climáticos disponibles en la CDS son 51 para 1850-2014, pero de éstos sólo 36 modelos compartieron las salidas para el escenario SSP1-2.6, 34 el escenario SSP2-4.5, 30 el escenario SSP3-7.0 y 38 el escenario SSP5-8.5. Las resoluciones espaciales de los modelos varían entre 0.4° y 2°. Aunque estos datos están disponibles a nivel diario, los datos utilizados fueron los mensuales entre 1981-2100.

El predictando son los datos de temperatura media del aire a nivel mensual para la serie 1981-2014, los cuales se construyeron a partir de la fuente de datos: https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/Colombia/ENACTS/ENACTS_v1/ALL/. Estos datos están disponibles para el territorio continental colombiano a nivel diario entre 1981-2016 y fueron elaborados por el Ideam-IRI bajo metodologías explicadas por Tufa et al., (2022) dentro del proyecto ENACTS (Enhancing National Climate Services initiative). De acuerdo con Ideam (2021) dentro del proceso realizaron un control de calidad de los datos con la herramienta CDT (Climate Data Tool) mencionando que los vacíos espaciales y temporales de los datos climáticos históricos se complementaron combinando las observaciones registradas por las estaciones meteorológicas con estimaciones satelitales, datos de reanálisis y ajustes por orografía obteniendo así, datos reticulados de resolución espacial de 0.1° (aproximadamente de 11.1km X 11.1 km).

Con respecto a los aspectos metodológicos se utilizó la metodología NextGen adoptada por el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (Ideam) para la realización de sus predicciones estacionales tal como como lo menciona la OMM (2019).

La aplicación de la metodología NextGen para la siguiente generación de escenarios de cambio climático de Colombia se elaboró en dos fases. En la primera fase se realizó un análisis retroactivo para la serie 1981-2014 con los siguientes objetivos: encontrar la mejor configuración del modelo dentro del análisis de correlación canónica (ACC), seleccionar los modelos que entran al ensamble una vez se realice la calibración por patrones espaciales y, por último, evaluar la habilidad predictiva de los modelos seleccionados para ensamble final. Una vez conocido lo anterior se realizó la segunda fase en la cual se ejecutó la predicción 2015-2100 a través de una validación cruzada; lo anterior, para cada uno de los 4 escenarios de cambio climático (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5) con los modelos seleccionados y con base en la configuración sugerida en la primera fase para correr el modelo de ACC, con el uso la herramienta CPT.

Con el fin de entender la calibración por patrones espaciales vale la pena entender que el análisis de correlación canónica (ACC) finalmente consiste en buscar patrones espaciales entre 2 campos con variabilidad temporal en común, a través de

la maximización de su coeficiente de correlación. Tal coeficiente constituye un grado de asociación lineal entre los campos, en el sentido que la variación de uno de éstos (predictor) influye directamente en la variación del otro (predictando). Estos campos, por lo general consisten en las componentes principales de los campos originales, lo que permite reducir las dimensiones espaciales al utilizar sólo los modos que retienen la mayor parte de su varianza minimizando el peligro de incluir una señal de ruido en el análisis (Wilks, 2006). Como en el caso del análisis de componentes principales, de cada campo se obtienen series representativas, denominadas “componentes canónicas”, patrones espaciales denominados “mapas canónicos” y un escalar que representa el grado de asociación entre los campos predictor y predictando, denominado “correlación canónica” (Muñoz, 2019).

Adicionalmente es importante indicar que en la primera fase se definieron los dominios de cálculo tanto para el predictor como para el predictando. El área de análisis para el primero fue el comprendido entre 10S y 20N de latitud y entre 90W y 60W de longitud. Para el predictando fue el comprendido entre 5S y 15N de latitud y entre 80W y 65W de longitud.

En el análisis retroactivo, la CPT separó la serie de 34 años (1981-2014) en 2 series de 17 años; los primeros 17 años actuaron como período de control y los restantes 17 años como período de prueba para realizar la predicción. Se configuró inicialmente el modelo de ACC con 5 modos tanto para el predictor como para el predictando y se le sugirió a la herramienta CPT que en el tratamiento de los datos tuviera en cuenta que la temperatura obedece a una distribución normal. Con esta configuración inicial se revisó el diagrama de Scree-Plot y se observó en general que, para la temperatura los 5 primeros modos retienen alrededor del 80% de la varianza observada tanto para el predictor como para el predictando. Con dicha configuración se realizó de nuevo la corrida del ACC para observar similitud en los patrones espaciales para los 3 primeros modos observados en los mapas de cargas canónicas tanto para el predictor como para el predictando. Aquellos modelos que presentaron al menos patrones espaciales similares en los 2 primeros modos se escogieron para ser parte del ensamble y, de paso se evaluó su habilidad predictiva a través de algunas métricas estadísticas como la correlación de Pearson, el bias, el error cuadrático medio (RMSE) y el porcentaje de aciertos; lo anterior para identificar el grado de asociación (fase) que tienen los modelos de CMIP6 con respecto a las observaciones, verificar si con el uso de estos modelos CMIP6 se sobrestima o se subestima la predicción de las variables meteorológicas y, finalmente fue útil para conocer el grado de acierto que tienen estos modelos de CMIP6 para realizar la predicción (escenarios) sobre el país en alta resolución espacial.

En la segunda fase, la de predicción (o generación de escenarios), y sólo para los modelos que entran al ensamble final (aquellos que presentaron patrones espaciales similares entre predictando y predictor en la primera fase) es importante tener en cuenta que el ACC en la herramienta CPT se configuró así: el período de entrenamiento entre el predictor y el predictando son los 34 años de clima presente 1981-2014, el período de predicción fue 2015-2100 para los 4 escenarios de cambio climático (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5), los modos para el predictor y el predictando en el ACC fueron los encontrados en el diagnóstico (primera fase), el período de referencia para el cálculo de la anomalía de la temperatura media se realizó con respecto a 1981-2010; el cual es uno de los períodos de referencia utilizados por IPCC en su atlas (Gutiérrez et al., 2021), el tratamiento de los datos se mantuvo (distribución empírica para temperatura), y una vez realizada la validación cruzada se obtuvieron las predicciones 2015-2100 para los 4 escenarios de cambio climático similares a lo que se presentan en la Fig. 1.

Es relevante indicar que este tipo de análisis se realizó para cada uno de los 12 meses del año con el fin de obtener el ciclo estacional para los períodos 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100 y con estos resultados obtener los respectivos cálculos anuales.

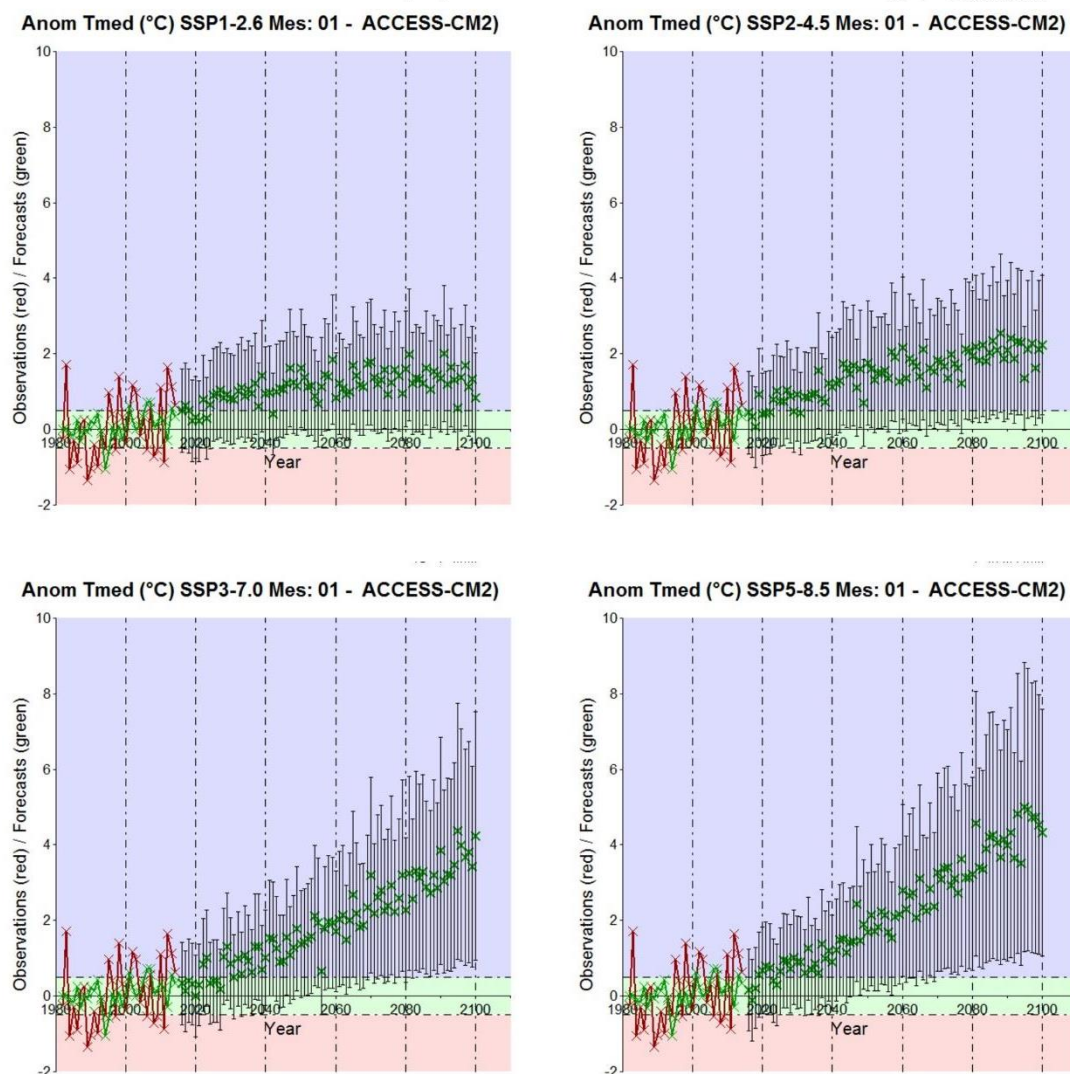


Figura 1. Escenario de cambio climático de temperatura media del aire para el mes de enero sobre un punto (ENACTS) en el centro de la región Andina tomando como predictor uno de los modelos CMIP6 (ACCES-CM2) con el uso de la herramienta CPT.

El estándar de presentación que utilizó el IPCC para comunicar sus resultados está basado precisamente en el ensamble de modelos; de tal forma que no solo expresa los valores medios esperados a lo largo del siglo XXI, sino que aprovechó la gama de modelos de baja resolución usados para comunicar la incertidumbre (Iturbide, et al., 2020). Con base en esta metodología propuesta por IPCC, igualmente se calcularon los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95 a partir de los modelos que hicieron parte del ensamble nacional; es decir, aquellos modelos que en el ACC de la fase 1 presentaron patrones espaciales similares con las observaciones de clima presente (1981-2014); permitiendo así, no solo conocer el valor medio (percentil 50) sino el rango de posibles valores en los cuales pueden presentarse las variables meteorológicas para los 3 períodos analizados (2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100).

3. Discusión y resultados

A continuación, se presentan los resultados de aplicar las metodologías de predicción de la OMM para la siguiente generación de escenarios de cambio climático (SSP) en Colombia, sobre datos reticulados a 0.1° de resolución espacial para 3 periodos a lo largo del siglo XXI (2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100), usando estándares de presentación y análisis del IPCC.

3.1. Selección de modelos del CMIP6

En la Tabla 1 y Anexo 1 se presentan los resultados de los modelos seleccionados de clima presente (1981-2014) para realizar los escenarios como respuesta a la revisión de la similitud entre los mapas de cargas canónicas tanto para el predictor como para el predictando, sobre cada uno de los meses del año y, para cada uno de los modelos CMIP6. Estas tablas indican los modelos que hicieron parte del ensamble final y sus métricas estadísticas de verificación. Es relevante indicar que, si bien se priorizó que los patrones espaciales fueran similares entre el predictando y el predictor (alta correlación canónica), para la selección de modelos, también se tuvo en cuenta, en el ordenamiento de mayor a menor, otras métricas estadísticas como el porcentaje de acierto (hit skill score) y el índice de bondad (goodness index) a nivel nacional; eligiendo para cada mes los 15 mejores modelos; todo lo anterior con el fin de facilitar la decisión de los modelos que harían parte del ensamble.

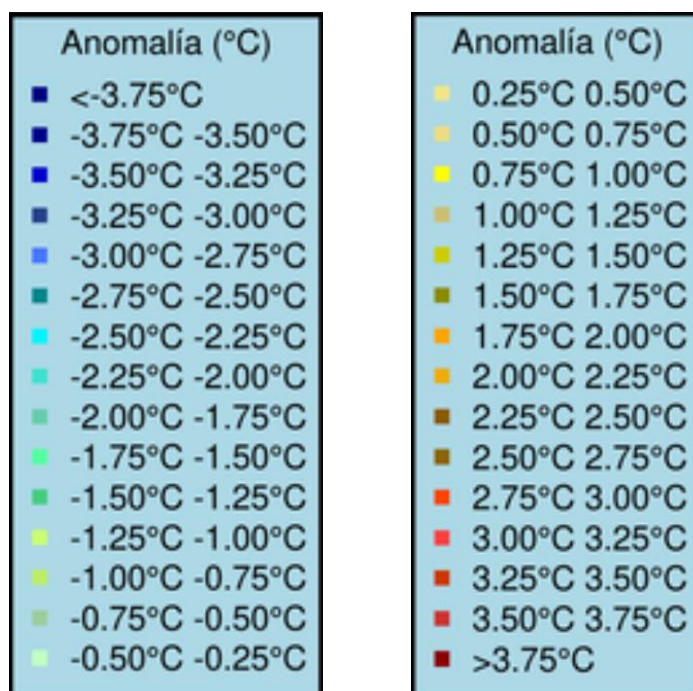
Tabla 1. Modelos CMIP6 considerados en el ensamble nacional para cada uno de los meses del año

Modelo	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ACCESS-CM2	○	○	○					○		○		○
AWI-CM-1-1-MR										○	○	
BCC-CSM2-MR		○	○		○		○	○				
CAMS-CSM1-0		○	○	○		○	○	○				○
CanESM5				○			○	○	○		○	○
CanESM5-CanOE					○					○		
CESM2				○								
CESM2-WACCM	○	○		○		○		○	○		○	
CMCC-CM2-SR5					○							
CMCC-ESM2	○	○							○			
CNRM-CM6-1			○									○
CNRM-CM6-1-HR	○					○	○	○	○	○	○	○
CNRM-ESM2-1				○			○			○		○
E3SM-1-1		○				○	○				○	
EC-Earth3-AERChem	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
EC-Earth3-CC		○				○						
FGOALS-F3-L						○			○			
FGOALS-G3				○	○			○				
FIO-ESM-2-0			○				○	○	○	○		○
GFDL-ESM4	○	○	○	○	○	○	○		○			○
HadGEM3-GC31-LL	○				○		○				○	○
HadGEM3-GC31-MM	○	○	○	○	○	○				○		
IITM-ESM			○					○			○	
INM-CM4-8	○		○	○	○	○				○	○	○
INM-CM5-0	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○
IPSL-CM5A2-INCA	○			○			○	○		○		
IPSL-CM6A-LR	○	○				○	○	○		○	○	
KACE-1-0-G			○					○	○			○
MCM-UA-1-0								○				
MIROC6	○	○	○	○								
MIROC-ES2L	○		○	○						○		
MPI-ESM1-2-LR												
MRI-ESM2-0					○							
NESM3						○	○		○		○	○
NorESM2-MM		○	○	○	○		○		○	○		○
TaiESM1						○	○		○	○	○	
UKESM1-0-LL	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○

3.2. Ensamble multi-modelo para los 4 escenarios SSP

Antes de mostrar las anomalías de temperatura media del aire a nivel nacional con respecto a la climatología de referencia (1981-2010), se comparte los resultados que el atlas regional del IPCC propone para las regiones norte-oeste de Suramérica y norte de Suramérica sobre territorio continental; ya que las regiones Caribe, Pacífica y Andina de Colombia hacen parte de la primera región mencionada; mientras que, la Orinoquía y la Amazonía hacen parte de la segunda. Los resultados a nivel anual indican que la temperatura media del aire aumentará en promedio desde 1.0°C (2021-2040) hasta 1.4°C (2081-2100) para el escenario SSP1-2.6, desde 1.0°C (2021-2040) hasta 2.5°C (2081-2100) para un escenario SSP2-4.5, desde 1.0°C (2021-2040) hasta 3.8°C (2081-2100) para el escenario SSP3-7.0, y desde 1.2°C (2021-2040) hasta 4.8°C (2081-2100) para el escenario SSP5-8.5. La distribución espacial se presenta en el Anexo 2.

No obstante, el ensamble nacional sugiere que, en promedio la temperatura media del aire en Colombia aumentará desde 0.5°C (2021-2040) hasta 0.7°C (2081-2100) para el escenario SSP1-2.6, entre 0.5°C (2021-2040) y 1.2°C (2081-2100) para el escenario SSP2-4.5, entre 0.5°C (2021-2040) y 1.7°C (2081-2100) para el escenario SSP3-7.0 y, entre 0.6°C (2021-2040) y 2.2°C (2081-2100) para el escenario SSP5-8.5. La distribución espacial para los 3 períodos propuestos por IPCC a nivel anual se presenta en la Fig. 2; sin embargo, el IPCC propone comunicar estos cambios en función de los percentiles; lo que permite identificar el abanico de posibilidades en los cuales puede oscilar una variable meteorológica alrededor de sus valores medios (Ver Fig.3). Dichos resultados se comparten como consolidados a nivel mensual y anual en las Tablas 2, 3, 4 y 5 y, su variación espacial a nivel mensual se presenta en el Anexo 3. En dicho anexo se aprecia que hay regiones que superan los promedios nacionales anteriormente mencionados especialmente hacia finales del siglo XXI y particularmente bajo el escenario SSP5-8.5.



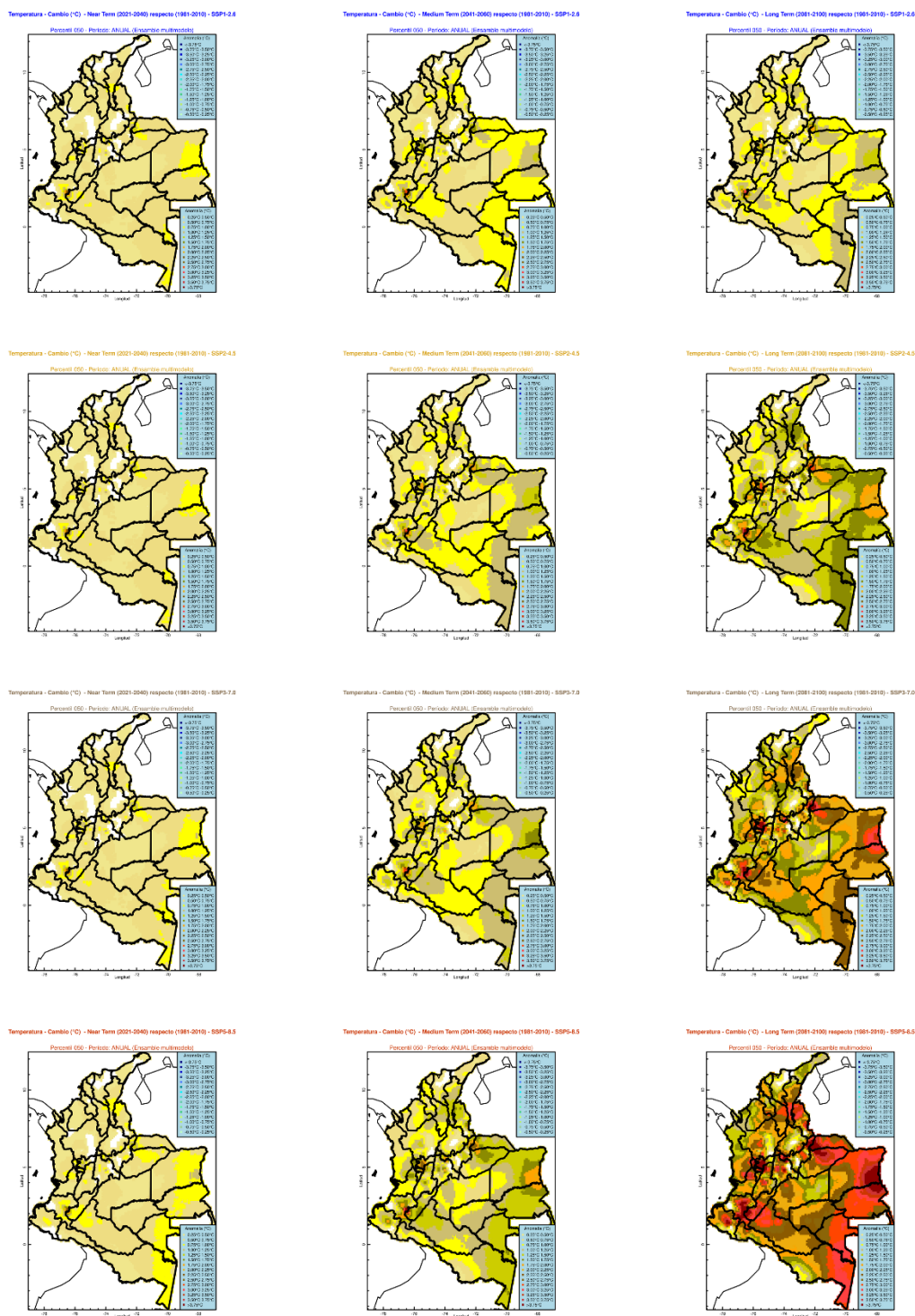


Figura 2. Anomalía de la temperatura media del aire (°C) a nivel anual estimada para los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (de arriba hacia abajo respectivamente) estimadas para 2021-2040 (izquierda), 2041-2060 (medio) y 2081-2100 (derecha).

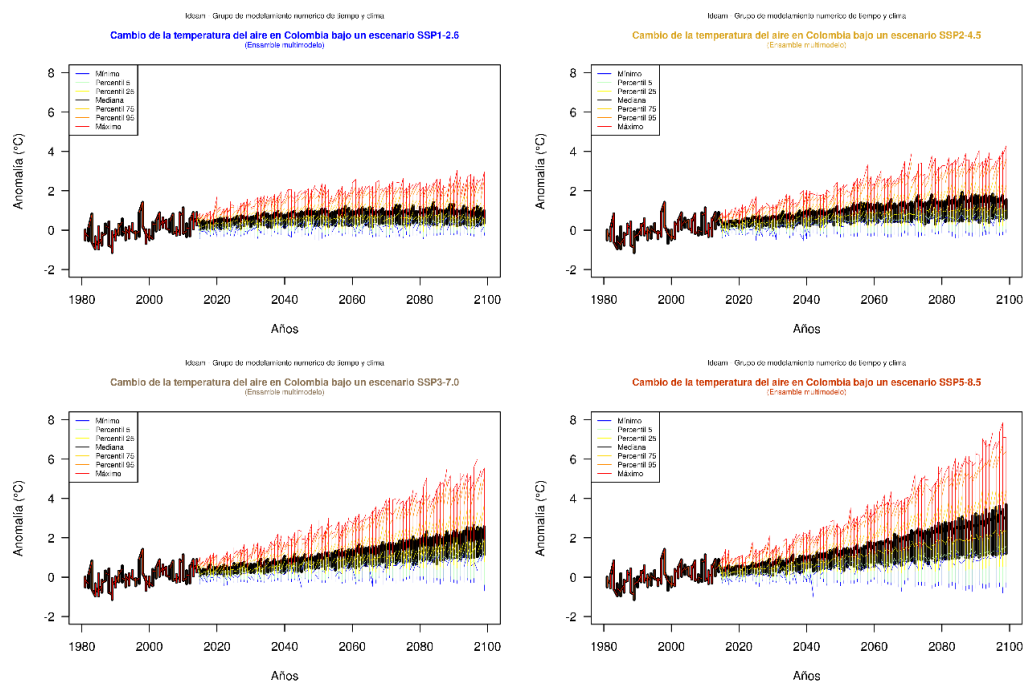


Figura 3. Escenario de cambio climático de temperatura media del aire a nivel mensual bajo 4 escenarios de cambio climático para Colombia.

Tabla 2. Anomalia mensual y anual de temperatura media del aire para Colombia estimada por el ensamble de modelos bajo el escenario SSP1-2.6

ESCENARIO SSP1-2.6													
PERIODO	ESTADÍSTICO	MES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Near Term (2021 - 2040)	Mínimo	0.2	0	-0.2	0	0	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 5	0.3	0.1	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 25	0.6	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.3	0.5	0.6	0.4	0.4
Near Term (2021 - 2040)	Media	0.8	0.4	0.2	0.3	0.3	0.4	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.5
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 75	0.9	0.6	0.3	0.4	0.4	0.6	0.8	0.6	0.8	0.8	0.7	0.6
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 95	1.2	0.8	0.5	0.5	0.6	0.7	0.9	0.7	1	1	0.8	0.8
Near Term (2021 - 2040)	Máxima	1.3	0.9	0.6	0.6	0.7	0.8	1	0.8	1.1	1.1	1	0.9
Medium Term (2041 - 2060)	Mínimo	0.5	0.1	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.2	0.5	0.6	0.5	0.4
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 5	0.6	0.2	0	0.2	0.2	0.3	0.5	0.3	0.6	0.7	0.5	0.4
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 25	0.9	0.4	0.2	0.3	0.3	0.4	0.7	0.5	0.7	0.8	0.7	0.6
Medium Term (2041 - 2060)	Media	1.1	0.5	0.3	0.4	0.4	0.6	0.8	0.6	0.8	1	0.7	0.8
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 75	1.2	0.7	0.4	0.5	0.5	0.7	0.9	0.8	1	1.1	0.9	0.8
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 95	1.5	0.9	0.6	0.6	0.7	0.8	1.1	0.9	1.1	1.3	1	1
Medium Term (2041 - 2060)	Máxima	1.6	1	0.7	0.7	0.8	0.9	1.3	1	1.2	1.4	1.1	1.1
Long Term (2081 - 2100)	Mínimo	0.7	0.1	-0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.3	0.5	0.8	0.5	0.4
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 5	0.8	0.2	0	0.2	0.2	0.3	0.6	0.4	0.6	0.9	0.6	0.5
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 25	1	0.4	0.2	0.3	0.3	0.4	0.8	0.5	0.8	1	0.7	0.6
Long Term (2081 - 2100)	Media	1.2	0.6	0.3	0.4	0.4	0.6	0.9	0.7	0.9	1.1	0.8	0.9
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 75	1.4	0.8	0.4	0.5	0.5	0.7	1	0.8	1.1	1.2	0.9	1
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 95	1.7	1	0.6	0.7	0.7	0.9	1.2	0.9	1.2	1.4	1	1.2
Long Term (2081 - 2100)	Máxima	1.8	1.1	0.7	0.8	0.8	1	1.2	1	1.3	1.5	1.1	1.3

Tabla 3. Anomalía mensual y anual de temperatura media del aire para Colombia estimada por el ensamble de modelos bajo el escenario SSP2-4.5

ESCENARIO SSP2-4.5														
PERIODO	ESTADÍSTICO	MES												VALOR ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Near Term (2021 - 2040)	Mínimo	0.2	-0.1	-0.1	0	0	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 5	0.4	0	-0.1	0	0.1	0.1	0.4	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 25	0.6	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4
Near Term (2021 - 2040)	Media	0.8	0.4	0.2	0.3	0.3	0.4	0.7	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 75	0.9	0.5	0.4	0.4	0.4	0.6	0.8	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.6
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 95	1.2	0.7	0.5	0.5	0.5	0.7	1	0.8	0.9	1	0.9	0.9	0.8
Near Term (2021 - 2040)	Máxima	1.3	0.9	0.6	0.6	0.6	0.8	1.1	0.9	1	1.1	0.9	1	0.9
Medium Term (2041 - 2060)	Mínimo	0.6	0.2	0	0.1	0.2	0.3	0.6	0.4	0.6	0.7	0.5	0.5	0.4
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 5	0.8	0.3	0.1	0.2	0.2	0.4	0.7	0.5	0.7	0.8	0.6	0.6	0.5
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 25	1	0.5	0.2	0.3	0.3	0.5	0.9	0.7	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7
Medium Term (2041 - 2060)	Media	1.2	0.6	0.3	0.4	0.5	0.7	1	0.8	1	1	0.9	1	0.8
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 75	1.4	0.8	0.5	0.5	0.6	0.8	1.2	0.9	1.2	1.2	1	1.1	0.9
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 95	1.7	1	0.7	0.7	0.7	1	1.4	1.1	1.4	1.4	1.2	1.3	1.1
Medium Term (2041 - 2060)	Máxima	1.8	1.1	0.8	0.8	0.8	1.1	1.5	1.2	1.5	1.6	1.3	1.4	1.2
Long Term (2081 - 2100)	Mínimo	1.3	0.4	0.1	0.3	0.3	0.6	1	0.7	1	1.2	1	1.1	0.8
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 5	1.4	0.5	0.2	0.4	0.4	0.7	1.1	0.8	1.1	1.3	1.1	1.1	0.8
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 25	1.6	0.7	0.4	0.5	0.5	0.8	1.3	1	1.3	1.4	1.2	1.3	1
Long Term (2081 - 2100)	Media	1.8	0.9	0.5	0.6	0.7	1	1.4	1.1	1.5	1.6	1.4	1.4	1.2
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 75	2	1.1	0.7	0.7	0.8	1.1	1.6	1.3	1.6	1.7	1.5	1.6	1.3
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 95	2.2	1.3	0.8	0.9	0.9	1.3	1.8	1.4	1.7	1.9	1.6	1.8	1.5
Long Term (2081 - 2100)	Máxima	2.4	1.5	0.9	0.9	1	1.4	1.9	1.5	1.8	2	1.7	1.9	1.6

Tabla 4. Anomalía mensual y anual de temperatura media del aire para Colombia estimada por el ensamble de modelos bajo el escenario SSP3-7.0

ESCENARIO SSP3-7.0														
PERIODO	ESTADÍSTICO	MES												VALOR ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Near Term (2021 - 2040)	Mínimo	0.2	0	-0.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.2	0.1
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 5	0.3	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.2
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 25	0.5	0.3	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
Near Term (2021 - 2040)	Media	0.7	0.5	0.2	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.7	0.5	0.6	0.5
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 75	0.9	0.6	0.4	0.4	0.5	0.5	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 95	1.2	0.9	0.6	0.6	0.6	0.7	1	0.8	1	1	0.8	0.9	0.8
Near Term (2021 - 2040)	Máxima	1.4	0.9	0.7	0.7	0.6	0.9	1.1	0.9	1	1.1	0.9	1	0.9
Medium Term (2041 - 2060)	Mínimo	0.6	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.6	0.5	0.6	0.8	0.5	0.6	0.4
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 5	0.7	0.4	0.2	0.3	0.3	0.4	0.7	0.6	0.7	0.9	0.6	0.6	0.5
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 25	1	0.6	0.3	0.4	0.4	0.6	0.9	0.7	0.9	1	0.8	0.8	0.7
Medium Term (2041 - 2060)	Media	1.3	0.8	0.5	0.5	0.5	0.7	1	0.9	1	1.2	0.9	1	0.9
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 75	1.5	0.9	0.6	0.6	0.6	0.8	1.2	1	1.2	1.3	1.1	1.1	1
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 95	1.8	1.1	0.8	0.8	0.8	1	1.4	1.2	1.4	1.5	1.3	1.3	1.2
Medium Term (2041 - 2060)	Máxima	1.9	1.2	0.9	0.9	0.8	1.1	1.5	1.3	1.6	1.7	1.4	1.4	1.3
Long Term (2081 - 2100)	Mínimo	1.8	0.9	0.5	0.7	0.7	0.9	1.5	1.2	1.4	1.8	1.4	1.5	1.2
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 5	2	1	0.6	0.7	0.7	1	1.6	1.3	1.5	1.9	1.5	1.6	1.3
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 25	2.3	1.2	0.8	0.9	0.9	1.2	1.8	1.5	1.8	2.2	1.7	1.8	1.5
Long Term (2081 - 2100)	Media	2.5	1.4	1	1	1	1.3	2	1.7	2	2.4	1.9	1.9	1.7
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 75	2.8	1.7	1.1	1.2	1.1	1.5	2.2	1.8	2.2	2.6	2.1	2.1	1.9
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 95	3.1	2	1.4	1.3	1.3	1.6	2.4	2	2.5	3	2.4	2.3	2.1
Long Term (2081 - 2100)	Máxima	3.3	2.1	1.5	1.4	1.4	1.7	2.5	2.1	2.6	3.1	2.5	2.4	2.2

Tabla 5. Anomalia mensual y anual de temperatura media del aire para Colombia estimada por el ensamble de modelos bajo el escenario SSP5-8.5

ESCENARIO SSP5-8.5														
PERIODO	ESTADÍSTICO	MES												VALOR ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Near Term (2021 - 2040)	Mínimo	0.2	0	-0.1	0	0	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.1
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 5	0.3	0.1	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.5	0.3	0.3	0.2
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 25	0.6	0.3	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4
Near Term (2021 - 2040)	Media	0.8	0.5	0.2	0.3	0.3	0.5	0.7	0.5	0.7	0.8	0.6	0.7	0.6
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 75	1	0.7	0.4	0.4	0.5	0.7	0.9	0.7	0.8	1	0.8	0.9	0.7
Near Term (2021 - 2040)	Percentil 95	1.3	0.9	0.6	0.6	0.6	0.9	1.1	0.8	1.1	1.2	0.9	1.1	0.9
Near Term (2021 - 2040)	Máxima	1.6	1.1	0.6	0.7	0.7	1	1.3	1	1.3	1.3	1.1	1.2	1.1
Medium Term (2041 - 2060)	Mínimo	0.7	0.4	0.1	0.3	0.3	0.5	0.8	0.5	0.7	1	0.6	0.6	0.5
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 5	0.9	0.5	0.2	0.3	0.3	0.6	0.8	0.6	0.8	1.1	0.7	0.7	0.6
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 25	1.2	0.7	0.3	0.5	0.5	0.8	1.1	0.8	1.1	1.3	1	1	0.9
Medium Term (2041 - 2060)	Media	1.5	0.9	0.4	0.6	0.6	1	1.3	1	1.2	1.5	1.1	1.2	1
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 75	1.7	1.1	0.6	0.7	0.7	1.1	1.5	1.1	1.4	1.7	1.3	1.5	1.2
Medium Term (2041 - 2060)	Percentil 95	2.1	1.3	0.8	0.9	1	1.4	1.8	1.3	1.7	1.9	1.6	1.7	1.5
Medium Term (2041 - 2060)	Máxima	2.2	1.5	0.9	0.9	1.2	1.5	1.9	1.4	1.8	2.1	1.8	1.8	1.6
Long Term (2081 - 2100)	Mínimo	2.3	1.3	0.6	0.9	0.9	1.5	2.3	1.5	2	2.7	1.9	2.1	1.7
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 5	2.5	1.4	0.6	0.9	1	1.6	2.4	1.6	2.2	2.8	2.1	2.3	1.8
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 25	2.8	1.7	0.8	1.1	1.1	1.8	2.7	1.8	2.3	3.1	2.3	2.5	2
Long Term (2081 - 2100)	Media	3.1	1.9	1	1.2	1.3	2	2.9	2	2.6	3.5	2.6	2.8	2.2
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 75	3.5	2.1	1.1	1.3	1.4	2.1	3.2	2.2	2.8	3.8	2.8	3.1	2.5
Long Term (2081 - 2100)	Percentil 95	3.9	2.4	1.3	1.5	1.6	2.4	3.4	2.4	3	4.2	3.2	3.4	2.7
Long Term (2081 - 2100)	Máxima	4.1	2.5	1.4	1.6	1.7	2.5	3.6	2.5	3.2	4.3	3.3	3.6	2.9

El rango de variación anual para la temperatura media en Colombia se encontraría entre 0.1°C y 0.9°C (2021-2040) a 0.4°C y 1.1°C (2081-2100) para el escenario SSP1-2.6, entre 0.1°C y 0.9°C (2021-2040) a 0.8°C y 1.6°C (2081-2100) para el escenario SSP2-4.5, entre 0.1°C y 0.9°C (2021-2040) a 1.2°C y 2.2°C (2081-2100) para el escenario SSP3-7.0, y entre 0.1°C y 1.1°C (2021-2040) a 1.7°C y 2.9°C (2081-2100) para el escenario SSP5-8.5.

Conclusiones

- La revisión de patrones espaciales permitió identificar los modelos del IPCC que participaron del ensamble; estos modelos no fueron los mismos para cada uno de los meses del año. Para el caso de la temperatura del aire, los modelos que presentaron mejor habilidad predictiva a lo largo del año fueron EC-Earth3-AERChem y el INM-CM5-0.
- La validación de clima presente de la serie 1981-2014, el cual tomó como período de control los primeros 17 años, y los restantes 17 años de período de prueba para evaluar la habilidad predictiva de los modelos mostró que, para el caso de la temperatura media los modelos escogidos, en general, presentaron correlaciones canónicas superiores a 0.7, porcentajes de aciertos superiores al 60% e índices de bondad positivos, indicando con esto último que en general la correlaciones entre lo estimado y observado es aceptable dentro de la validación cruzada.
- Consistente con lo que dicen los modelos globales usados por el IPCC, la reducción de escala estadística realizada con el análisis de componentes principales resolvió aumento de temperatura media del aire con respecto al clima de referencia 1981-2010, en gran parte del territorio nacional, siendo el escenario SSP5-8.5 el que resolvió los valores más altos, pero algo inferiores con respecto al ensamble presentado por el conjunto de modelos usando por IPCC. De igual forma hay un acuerdo que los mayores aumentos se presentarían al oriente del territorio nacional.
- El ensamble nacional sugiere que, en promedio la temperatura media del aire en Colombia aumentará desde 0.5°C (2021-2040) hasta 0.7°C (2081-2100) para el escenario SSP1-2.6, entre 0.5°C (2021-2040) y 1.2°C (2081-2100) para el escenario SSP2-4.5, entre 0.5°C (2021-2040) y 1.7°C (2081-2100); no obstante, bajo el escenario más pesimista (SSP5-8.5) el modelo más extremo estima que este aumento podría ser superior a los 6°C hacia 2100.

Referencias Bibliográficas

Alfaro, E. 2007. *Uso del análisis de correlación canónica para la predicción de la precipitación pluvial en Centroamérica. Ingeniería y Competitividad*, Volumen 9, No. 2, p. 33 – 48. Centro de Investigaciones en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad de Costa Rica.

https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10893/1622/inycompe_v9_n2_a3.pdf?sequence=2

Amador, J. & Alfaro, E. 2009. *Métodos de reducción de escala: aplicaciones al tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático*. Revista de la red iberoamericana de economía ecológica 39. Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) y Escuela de Física. Centro de Investigaciones en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica. ISSN 13902776. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/profile/Eric-Alfaro/publication/46561566_Metodos_de_reduccion_de_escalas_aplicaciones_al_tiempo_clima_variabilidad_climatica_y_cambio_climatico/links/5419ab220c25ebee9887af7/Metodos-de-reduccion-de-escalas-aplicaciones-al-tiempo-clima-variabilidad-climatica-y-cambio-climatico.pdf

Arias, P., Ortega G., Villegas, L., Martínez, A. 2021: *Colombian climatology in CMIP5/CMIP6 models: Persistent biases and improvements*. ISSN 0120-6230 (hbk) ISSN 2422-2844 (ebk) <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20210525>. Alternative:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302021000300075

Díaz, D. & Villegas, N. 2015: *Correlación canónica entre índices macroclimáticos y variables meteorológicas de superficie en Colombia*. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 18(2): 543-552, julio-diciembre, 2015. Recuperado de:

<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v18n2/v18n2a28.pdf>

Giorgi, F., Mearns, L. 2002: *Calculation of Average, Uncertainty Range, and Reliability of Regional Climate Changes from AOGCM Simulations via the "Reliability Ensemble Averaging" (REA) Method*. Journal of Climate. Volumen 15. Issue 10. Recuperado de:

https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/15/10/1520-0442_2002_015_1141_coaura_2.0.co_2.xml?tab_body=abstract-display

Gutiérrez, J.M., R.G. Jones, G.T. Narisma, L.M. Alves, M. Amjad, I.V. Gorodetskaya, M. Grose, N.A.B. Klutse, S. Krakovska, J. Li, D. Martínez-Castro, L.O. Mearns, S.H. Mernild, T. Ngo-Duc, B. van den Hurk, and J.-H. Yoon, 2021: *Atlas. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Recuperado de: <http://interactive-atlas.ipcc.ch/>

Ideam, 2021. *Proyecto DL & ENACTS Colombia*. Informe n°1. IDEAM-IRI. Subdirección de Meteorología. Bogotá. D.C.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2015: *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional - Regional: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. ISBN 978-958-8902-57-9 (hbk). Recuperado de:

http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022965/documento_nacional_regional.pdf

IPCC, 2021: *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/about/how-to-cite-this-report>

Iturbide, M., Gutiérrez, J. M., Alves, L. M., Bedia, J., Cerezo-Mota, R., Cimddevilla, E., Cofiño, A. S., Di Luca, A., Faria, S. H., Gorodetskaya, I. V., Hauser, M., Herrera, S., Hennessy, K., Hewitt, H. T., Jones, R. G., Krakovska, S., Manzanar, R., Martínez-Castro, D., Narisma, G. T., Nurhati, I. S., Pinto, I., Seneviratne, S. I., van den Hurk, B., and Vera, C. S. 2020. *An update of IPCC climate reference regions for subcontinental analysis of climate model data: definition and aggregated datasets*, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 2959–2970, <https://doi.org/10.5194/essd-12-2959-2020>

Molina, A., N. Bernal, E. Vega, J. Collantes & J. Pabón. 2003: *Cambios en la temperatura del aire en Colombia bajo un escenario de duplicación de dióxido de carbono*. *Meteorol. Colomb.* 7:21-35. ISSN 0124-6984 (hbk). Bogotá, D.C. – Colombia. Recuperado de:

<https://1library.co/document/qmjmrp5-cambios-temperatura-aire-colombia-escenario-duplicaci%C3%B3n-di%C3%B3xido-carbono.html>

Muñoz, C. 2009. *Variabilidad interanual de la precipitación invernal en Chile central no asociada al ciclo El Niño-Oscilación del Sur*. [Tesis para optar al título profesional de Geofísico, Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geofísica.]. Archivo digital:

https://www.dgeo.udec.cl/wp-content/uploads/2012/09/munoz-cristian_tesis.pdf

OMM, 2019: *Guidance on Operational Practices for Objective Seasonal Forecasting*. WMO-No. 1246. ISBN 978-92-63-11246-9. Recuperado de:

https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21741#.Yldcs8jMJPY

Pabón J. D., 2003: *El cambio climático global y su manifestación en Colombia*. Cuadernos de Geografía, v XII (1-2), pp. 111-119. Recuperado de:

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/10277>

_____, 2008: *Escenarios de cambio climático para las 24 regiones de Colombia*. Informe presentado en el marco del proyecto Integrated National Adaptation Pilot (INAP). Conservación Internacional. Departamento de Geografía (Universidad Nacional de Colombia). Bogotá, D.C., 15 pp.

_____, 2012: *Cambio Climático en Colombia: Tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI*. Revista Medio Ambiente. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v36n139/v36n139a10.pdf>

Ruiz, J. F., 2007: *Escenarios de cambio climático, algunos modelos y resultados de lluvia para Colombia bajo el escenario A1B*. Nota Técnica de IDEAM. No. IDEAM-METEO/003-2007, Bogotá D.C., 54 pp. Recuperado de:

<http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=5751>

_____, 2010: *Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos de alta resolución (panorama 2011-2100)*. Nota Técnica de IDEAM. No. IDEAM-METEO/005-2010, Bogotá D.C., 91 pp. Recuperado de:

http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=1884&shelfbrowse_itemnumber=2040

_____, 2017: *Cambios del ciclo estacional en la precipitación y temperatura en Colombia para mediados de siglo bajo un escenario RCP8.5. Strengthening Institutional Capacity to Improve the Assessment of Impacts of Climate Change in Latin America and the Caribbean*. Technical Report #5. Contract # INE/CCS-RG-T2612-SN1. Informe Proyecto BID–Universidad de Nebraska Lincoln. pp 37-61. Recuperado de:

http://rccdp.unl.edu/reports/TechReport_5.pdf

Ruiz, J. F. & Martínez, M. C. 2007. *Report on Activities Performed in MRI-Japan to Simulate Climate in Colombia and the A1B Scenario with the Japanese Model using a Resolution of 20 x 20 Km*. Visualizing Future Climate in Latin America: Results from the application of the Earth Simulator. World Bank. Recuperado de:

https://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/PublicacionesDMA/2007/SDWP_Future_Climate.pdf

Tufa, D., Faniriantsoa, R., Cousin, R., Khomyakov, I., Vadillo, A., Hansen, J., Grossi, A. 2022: *ENACTS: Advancing Climate Services Across Africa* *Front. Clim.*, 05 January 2022. Recuperado de: <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.787683>

Wilks, D. S. 2006. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. International Geophysics Series. Academic press. ISBN 13: 978-0-12-751966-1. Recuperado de:

<https://sunandclimate.files.wordpress.com/2009/05/statistical-methods-in-the-atmospheric-sciences-0127519661.pdf>

ANEXOS

Anexo A

Indicadores de habilidad predictiva de los modelos CMIP6 en clima presente

En éste acápite se presentan los indicadores de habilidad predictiva de modelos de los diferentes escenarios de cambio climático analizados para clima presente, los cuales pueden ser una herramienta importante para los tomadores de decisiones ya que, a través de un conjunto de métricas con visión de futuro, se puede identificar de los modelos que le permiten identificar de manera temprana el aumento o disminución, en este caso, de la variable meteorológica de temperatura del aire.

Tabla 6. Índices de habilidad predictiva de los modelos CMIP6 para Colombia (enero)

ENERO								
MODELO	CORRELACIÓN CANÓNICA	HIT	GOODNESS	PEARSON	SPEARMAN	MAE	RMSE	BIAS
IPSL-CM6A-LR	0.847	48.279	0.2096	0.1	0.109	0.551	0.68	-0.023
INM-CM5-0	0.846	51.42	0.311	0.271	0.297	0.537	0.667	0.055
FIO-ESM-2-0	0.814	37.098	0.1022	0.012	-0.012	0.578	0.716	-0.177
ACCESS-CM2	0.802	48.846	0.1698	0.258	0.304	0.528	0.666	-0.174
UKESM1-0-LL	0.776	39.013	0.1609	-0.055	-0.091	0.601	0.727	-0.106
CanESM5	0.762	38.068	0.1427	-0.195	-0.192	0.647	0.784	-0.004
MIROC6	0.761	38.08	0.0824	0.016	0.027	0.59	0.738	-0.233
CanESM5-CanOE	0.747	34.969	0.1443	0.005	0.011	0.634	0.778	-0.19
CMCC-ESM2	0.741	38.724	0.0082	-0.087	-0.039	0.616	0.785	-0.24
CESM2-WACCM	0.736	49.14	0.1948	0.262	0.27	0.591	0.752	-0.181
EC-Earth3-AERChem	0.726	44.225	0.177	-0.01	-0.005	0.606	0.749	0.074
NESM3	0.702	36.386	0.0482	0.048	0.064	0.603	0.732	-0.22
IPSL-CM5A2-INCA	0.694	46.589	0.1925	0.111	0.183	0.6	0.745	0.007
IITM-ESM	0.691	31.624	0.0602	-0.441	-0.359	0.733	0.91	-0.101
CNRM-CM6-1-HR	0.65	43.739	0.1996	-0.03	-0.035	0.629	0.764	0.08
MIROC-ES2L	0.649	48.234	0.2176	0.133	0.115	0.591	0.728	0.053
CAMS-CSM1-0	0.637	36.021	0.0802	-0.06	-0.028	0.605	0.762	-0.19
MCM-UA-1-0	0.632	32.38	-0.1716	-0.055	-0.006	0.631	0.783	-0.317
HadGEM3-GC31-MM	0.617	49.12	0.1841	0.482	0.507	0.507	0.63	-0.201
BCC-CSM2-MR	0.602	36.707	0.1857	0.112	0.095	0.607	0.737	-0.116
CNRM-CM6-1	0.6	34.538	-0.0879	-0.219	-0.198	0.622	0.782	-0.199
GFDL-ESM4	0.579	43.177	0.2028	0.117	0.132	0.588	0.728	0.016
TaiESM1	0.572	33.949	-0.0014	-0.075	-0.08	0.601	0.738	-0.218
NorESM2-MM	0.569	35.663	0.0776	0.195	0.216	0.624	0.762	-0.26
INM-CM4-8	0.545	43.846	0.2087	0.119	0.089	0.555	0.678	-0.032
E3SM-1-1	0.536	30.314	0.0063	-0.331	-0.325	0.645	0.798	-0.12
CMCC-CM2-SR5	0.531	38.034	0.0941	0.357	0.376	0.586	0.711	-0.297
HadGEM3-GC31-LL	0.487	44.813	0.181	0.075	0.113	0.644	0.81	-0.017
MRI-ESM2-0	0.477	28.254	-0.0274	-0.068	0.071	0.676	0.81	-0.296
KACE-1-0-G	0.476	37.521	0.0234	-0.096	-0.101	0.626	0.797	-0.244
MPI-ESM1-2-LR	0.46	32.928	0.0183	-0.105	-0.111	0.639	0.775	-0.192
FGOALS-F3-L	0.456	35.513	-0.0071	-0.142	-0.13	0.675	0.824	-0.168
CNRM-ESM2-1	0.418	36.835	0.0017	-0.053	-0.044	0.605	0.755	-0.197
EC-Earth3-CC	0.367	32.841	0.0225	0.034	0.024	0.668	0.824	-0.359
AWI-CM-1-1-MR	0.358	36.206	0.08	-0.053	-0.032	0.625	0.767	-0.128
CESM2	0.262	32.496	-0.0675	0.035	0.062	0.608	0.75	-0.269
FGOALS-G3	0.204	30.882	-0.1125	-0.092	-0.082	0.647	0.8	-0.33

Tabla 7. Índices de habilidad predictiva de los modelos CMIP6 para Colombia (febrero)

FEBRERO								
MODELO	CORRELACIÓN CANÓNICA	HIT	GOODNESS	PEARSON	SPEARMAN	MAE	RMSE	BIAS
HadGEM3-GC31-LL	0.757	35.453	0.0444	-0.039	-0.008	0.701	0.862	-0.096
CMCC-ESM2	0.747	38.647	0.0552	-0.052	-0.064	0.627	0.776	-0.187
FIO-ESM-2-0	0.745	32.415	0.0433	-0.173	-0.164	0.705	0.859	-0.175
E3SM-1-1	0.729	45.095	0.1638	0.213	0.19	0.613	0.757	-0.073
MIROC-ES2L	0.728	35.506	0.1603	0.1	0.118	0.63	0.769	-0.166
CESM2-WACCM	0.717	46.204	0.1649	0.219	0.18	0.575	0.705	-0.019
CNRM-ESM2-1	0.691	32.919	-0.0444	-0.174	-0.145	0.672	0.82	-0.211
KACE-1-0-G	0.688	36.109	-0.1115	-0.278	-0.238	0.654	0.81	-0.156
NorESM2-MM	0.678	41.34	0.173	0.239	0.33	0.619	0.766	-0.206
IPSL-CM6A-LR	0.671	39.6	0.0222	0.052	0.036	0.629	0.77	-0.201
INM-CM4-8	0.661	38.168	0.0411	-0.052	-0.09	0.631	0.768	-0.129
BCC-CSM2-MR	0.656	40.351	0.1103	0.055	0.123	0.651	0.801	-0.151
CanESM5	0.644	33.57	0.0191	-0.173	-0.156	0.691	0.844	-0.166
CMCC-CM2-SR5	0.613	36.315	-0.0278	0.069	0.105	0.656	0.819	-0.303
CESM2	0.603	37.749	-0.039	-0.061	-0.031	0.658	0.811	-0.24
MRI-ESM2-0	0.601	33.443	-0.0506	-0.006	0	0.715	0.858	-0.237
INM-CM5-0	0.59	46.386	0.2396	0.156	0.152	0.626	0.775	0.006
FGOALS-F3-L	0.576	36.67	0.0209	-0.058	-0.063	0.69	0.847	0.048
UKESM1-0-LL	0.572	48.838	0.1336	0.215	0.235	0.575	0.705	-0.017
CanESM5-CanOE	0.564	34.53	0.0396	-0.078	-0.085	0.661	0.803	-0.171
TaiESM1	0.559	35.674	-0.1416	-0.056	-0.049	0.643	0.799	-0.287
NESM3	0.548	37.335	0.0886	0.014	0.045	0.63	0.767	-0.126
CNRM-CM6-1	0.544	36.49	-0.001	-0.191	-0.14	0.686	0.861	-0.266
MIROC6	0.542	40.985	-0.0134	0.11	0.039	0.625	0.777	-0.261
GFDL-ESM4	0.526	45.999	0.2086	0.28	0.309	0.563	0.705	-0.028
EC-Earth3-AERChem	0.509	46.629	0.181	0.175	0.144	0.622	0.762	0.198
CAMS-CSM1-0	0.508	39.877	0.1441	-0.031	0.015	0.633	0.796	-0.183
EC-Earth3-CC	0.481	39.746	0.0751	0.048	0.039	0.637	0.772	-0.144
MPI-ESM1-2-LR	0.432	35.576	0.0803	-0.112	-0.096	0.676	0.828	-0.028
HadGEM3-GC31-MM	0.399	43.26	0.1067	0.168	0.196	0.617	0.766	-0.097
IPSL-CM5A2-INCA	0.396	36.85	0.0475	0.079	0.087	0.628	0.765	-0.111
MCM-UA-1-0	0.389	35.804	-0.0487	-0.083	-0.075	0.676	0.841	-0.285
CNRM-CM6-1-HR	0.341	33.327	0.0626	-0.105	-0.056	0.707	0.85	-0.081
ACCESS-CM2	0.291	43.606	-0.0264	0.053	0.039	0.604	0.763	-0.145
IITM-ESM	0.286	37.49	-0.0251	-0.232	-0.17	0.675	0.864	-0.132
AWI-CM-1-1-MR	0.243	35.388	-0.0293	0.052	0.011	0.625	0.779	-0.157
FGOALS-G3	0.194	36.292	-0.1088	-0.123	-0.153	0.634	0.786	-0.238

Tabla 8. Índices de habilidad predictiva de los modelos CMIP6 para Colombia (marzo)

MARZO								
MODELO	CORRELACIÓN CANÓNICA	HIT	GOODNESS	PEARSON	SPEARMAN	MAE	RMSE	BIAS
CanESM5	0.834	33.113	0.0258	-0.107	-0.103	0.601	0.741	-0.001
INM-CM4-8	0.789	35.659	-0.0243	-0.174	-0.205	0.543	0.667	0.03
MCM-UA-1-0	0.784	33.621	-0.117	-0.248	-0.193	0.588	0.748	-0.209
CNRM-CM6-1	0.775	35.765	0.0132	-0.048	-0.034	0.545	0.674	-0.102
EC-Earth3-AERChem	0.771	35.752	-0.0091	-0.084	-0.044	0.569	0.702	-0.059
CanESM5-CanOE	0.727	34.134	-0.0183	-0.015	0.02	0.553	0.677	-0.084
MIROC-ES2L	0.723	36.51	0.0429	0.083	0.155	0.545	0.674	-0.063
IPSL-CM6A-LR	0.694	32.737	0.0148	-0.091	-0.055	0.594	0.722	0.043
TaiESM1	0.693	35.183	0.0658	-0.027	-0.073	0.544	0.665	-0.066
CMCC-ESM2	0.685	33.964	-0.0602	-0.101	-0.107	0.552	0.676	0
E3SM-1-1	0.676	34.213	0.0174	-0.08	-0.089	0.569	0.694	-0.029
HadGEM3-GC31-MM	0.672	38.111	-0.0844	0.031	-0.002	0.538	0.672	-0.07
IITM-ESM	0.653	36.059	0.1225	-0.033	-0.037	0.578	0.713	0.059
EC-Earth3-CC	0.653	35.43	0.0229	-0.054	0.017	0.554	0.689	-0.048
CAMS-CSM1-0	0.652	36.602	0.1269	-0.001	0.074	0.551	0.685	0.04
KACE-1-0-G	0.645	35.556	0.0168	0.037	0.078	0.568	0.694	-0.028
FIO-ESM-2-0	0.644	36.098	0.0126	0.076	0.043	0.604	0.739	-0.185
MPI-ESM1-2-LR	0.64	34.248	0.0025	-0.106	-0.094	0.602	0.734	0.089
AWI-CM-1-1-MR	0.637	33.943	-0.1181	-0.134	-0.124	0.559	0.688	-0.122
CESM2-WACCM	0.605	34.408	-0.0837	0.01	0.047	0.529	0.645	-0.023
FGOALS-F3-L	0.604	34.195	-0.0153	-0.13	-0.113	0.58	0.715	0.092
FGOALS-G3	0.577	35.357	-0.1071	-0.035	-0.044	0.532	0.657	-0.042
MRI-ESM2-0	0.573	33.425	-0.0142	-0.117	-0.066	0.587	0.727	-0.115
INM-CM5-0	0.569	38.207	0.1159	-0.075	-0.063	0.57	0.712	0.137
GFDL-ESM4	0.538	38.816	0.1333	0.045	0.109	0.527	0.66	0.091
CNRM-ESM2-1	0.538	35.377	0.0161	-0.024	-0.044	0.579	0.702	-0.092
CMCC-CM2-SR5	0.526	35.435	-0.0128	-0.034	0.012	0.525	0.654	-0.033
HadGEM3-GC31-LL	0.487	31.885	-0.0552	-0.268	-0.277	0.607	0.744	-0.022
BCC-CSM2-MR	0.483	39.399	0.0822	0.087	0.099	0.547	0.678	0.054
IPSL-CM5A2-INCA	0.477	34.692	-0.0358	-0.14	-0.116	0.543	0.67	-0.035
CESM2	0.461	32.132	-0.0712	-0.193	-0.154	0.569	0.7	-0.077
ACCESS-CM2	0.435	37.747	0.0729	0.162	0.203	0.552	0.674	-0.125
NorESM2-MM	0.361	37.291	0.0579	0.116	0.199	0.566	0.694	-0.104
UKESM1-0-LL	0.354	35.296	0.0309	-0.017	-0.025	0.552	0.674	0.132
CNRM-CM6-1-HR	0.327	35.415	0.0116	-0.058	-0.049	0.535	0.658	0.043
NESM3	0.31	35.035	0.0205	-0.084	0.026	0.557	0.698	0.006
MIROC6	0.268	36.111	-0.0608	-0.035	-0.054	0.529	0.653	-0.078

Tabla 9. Índices de habilidad predictiva de los modelos CMIP6 para Colombia (abril)

ABRIL								
MODELO	CORRELACIÓN CANÓNICA	HIT	GOODNESS	PEARSON	SPEARMAN	MAE	RMSE	BIAS
IPSL-CM6A-LR	0.805	34.434	0.009	-0.157	-0.139	0.504	0.624	-0.085
MIROC6	0.799	36.363	-0.053	0.063	-0.007	0.494	0.615	-0.059
CESM2	0.751	38.933	0.0164	0.155	0.099	0.462	0.579	-0.085
CESM2-WACCM	0.745	38.608	0.0361	0.101	0.091	0.492	0.606	-0.043
UKESM1-0-LL	0.733	34.605	-0.0315	-0.07	-0.047	0.514	0.627	-0.1
IPSL-CM5A2-INCA	0.715	36.867	-0.0234	-0.033	-0.015	0.485	0.605	-0.091
CNRM-CM6-1	0.708	33.467	-0.054	-0.072	-0.032	0.525	0.655	-0.117
EC-Earth3-CC	0.703	30.549	-0.0828	0.093	0.079	0.513	0.625	-0.192
CNRM-ESM2-1	0.698	37.693	0.0775	0.045	0.03	0.494	0.606	-0.061
CAMS-CSM1-0	0.693	40.188	0.0872	0.139	0.214	0.48	0.603	-0.067
BCC-CSM2-MR	0.687	35.751	0.0036	-0.071	-0.068	0.499	0.612	-0.065
E3SM-1-1	0.676	34.199	-0.081	-0.077	-0.011	0.51	0.635	-0.113
CMCC-CM2-SR5	0.664	31.909	-0.0466	0.07	0.059	0.507	0.621	-0.159
INM-CM5-0	0.656	45.653	0.1613	0.148	0.156	0.471	0.586	0.073
CNRM-CM6-1-HR	0.647	36.115	7.00E-04	-0.139	-0.143	0.508	0.625	-0.025
ACCESS-CM2	0.642	34.397	-0.0946	-0.018	-0.018	0.501	0.614	-0.081
FIO-ESM-2-0	0.642	33.93	-0.0435	-0.084	-0.064	0.529	0.658	-0.142
AWI-CM-1-1-MR	0.633	31.378	-0.0773	-0.14	-0.112	0.521	0.647	-0.131
NESM3	0.614	33.804	0.005	-0.168	-0.143	0.513	0.628	-0.053
HadGEM3-GC31-LL	0.59	35.745	-0.1	-0.157	-0.126	0.529	0.65	-0.028
EC-Earth3-AERChem	0.585	44.604	0.1518	0.108	0.077	0.479	0.6	0.062
MCM-UA-1-0	0.566	31.746	-0.1287	-0.045	-0.055	0.518	0.637	-0.111
MIROC-ES2L	0.558	36.37	0.0536	0.052	0.103	0.49	0.607	-0.085
GFDL-ESM4	0.554	36.622	0.066	0.12	0.105	0.486	0.596	-0.109
NorESM2-MM	0.551	41.044	0.0913	0.23	0.287	0.476	0.59	-0.127
IITM-ESM	0.542	35.715	0.0354	-0.012	0.02	0.497	0.611	-0.073
CanESM5-CanOE	0.536	31.988	-0.0751	-0.073	-0.131	0.492	0.609	-0.12
HadGEM3-GC31-MM	0.502	40.913	0.0661	0.187	0.201	0.458	0.57	-0.05
MPI-ESM1-2-LR	0.485	35.063	0.0723	0.04	0.042	0.49	0.601	-0.033
FGOALS-G3	0.479	41.307	0.0602	0.051	0.085	0.476	0.594	-0.043
CMCC-ESM2	0.471	29.3	-0.1124	0.059	0.085	0.542	0.665	-0.236
MRI-ESM2-0	0.459	35.21	0.0086	0.103	0.093	0.487	0.601	-0.108
INM-CM4-8	0.449	38.227	0.0603	-0.203	-0.142	0.507	0.633	0.019
KACE-1-0-G	0.396	34.595	-0.0428	0.03	0.051	0.516	0.629	-0.11
FGOALS-F3-L	0.394	33.399	-0.0968	-0.006	-0.04	0.491	0.606	-0.098
TaiESM1	0.356	33.771	-0.0103	-0.156	-0.129	0.511	0.63	-0.061
CanESM5	0.347	37.118	0.0014	-0.099	-0.024	0.516	0.638	0.002

Tabla 10. Índices de habilidad predictiva de los modelos CMIP6 para Colombia (mayo)

MAYO								
MODELO	CORRELACIÓN CANÓNICA	HIT	GOODNESS	PEARSON	SPEARMAN	MAE	RMSE	BIAS
IPSL-CM5A2-INCA	0.821	37.222	0.0581	0.038	0.018	0.453	0.562	-0.089
FGOALS-G3	0.786	39.044	-0.0016	0.104	0.083	0.462	0.577	-0.199
EC-Earth3-AERChem	0.781	41.373	0.0988	0.034	0.048	0.437	0.545	-0.04
CMCC-CM2-SR5	0.761	36.538	-0.0737	0.016	0.013	0.453	0.57	-0.155
CNRM-CM6-1-HR	0.757	32.44	-0.0737	-0.154	-0.11	0.443	0.552	-0.149
CNRM-ESM2-1	0.741	35.998	0.044	0.135	0.129	0.423	0.522	-0.143
TaiESM1	0.717	34.314	0.0182	-0.115	-0.111	0.436	0.536	-0.094
CAMS-CSM1-0	0.691	36.365	0.0297	-0.108	-0.081	0.451	0.563	-0.087
MCM-UA-1-0	0.688	33.231	-0.0447	0.08	0.022	0.506	0.628	-0.198
IPSL-CM6A-LR	0.678	37.236	0.0312	-0.077	-0.064	0.439	0.546	-0.099
MIROC-ES2L	0.678	33.367	-0.0752	-0.009	0.077	0.43	0.537	-0.143
GFDL-ESM4	0.665	46.731	0.1876	0.288	0.283	0.397	0.489	-0.046
CNRM-CM6-1	0.661	34.988	0.038	-0.1	-0.052	0.449	0.555	-0.097
CESM2	0.66	33.777	-0.0491	-0.031	-0.006	0.481	0.6	-0.186
CanESM5-CanOE	0.656	40.094	0.1668	0.29	0.332	0.401	0.498	-0.113
EC-Earth3-CC	0.653	33.231	0.001	0.078	0.095	0.431	0.533	-0.153
HadGEM3-GC31-MM	0.652	44.46	0.1287	0.224	0.229	0.406	0.506	-0.091
AWI-CM-1-1-MR	0.632	32.729	-0.0273	0.042	0.055	0.461	0.558	-0.157
INM-CM4-8	0.618	47.326	0.1887	0.137	0.168	0.406	0.506	-0.022
IITM-ESM	0.604	35.196	-0.0444	0.018	0.036	0.451	0.552	-0.114
CMCC-ESM2	0.597	32.079	-0.0787	0.021	0.039	0.446	0.556	-0.184
NorESM2-MM	0.564	36.887	0.0667	0.118	0.134	0.453	0.561	-0.184
BCC-CSM2-MR	0.564	36.756	0.059	-0.008	0.03	0.471	0.583	-0.111
INM-CM5-0	0.555	42.208	0.1433	0.056	0.084	0.419	0.518	-0.054
MPI-ESM1-2-LR	0.548	35.221	0.1011	-0.042	-0.042	0.445	0.546	-0.077
HadGEM3-GC31-LL	0.529	39.505	0.0865	0.031	0.049	0.447	0.553	-0.044
CanESM5	0.52	33.749	0.0819	-0.013	-0.003	0.497	0.608	-0.094
MRI-ESM2-0	0.501	38.415	0.0441	-0.071	-0.038	0.466	0.579	-0.087
NESM3	0.486	36.096	0.0263	0.029	0.039	0.45	0.552	-0.123
UKESM1-0-LL	0.451	38.376	0.0522	-0.089	-0.061	0.449	0.546	-0.017
CESM2-WACCM	0.44	32.209	-0.0259	0.026	0.031	0.451	0.561	-0.161
ACCESS-CM2	0.425	33.178	0.0031	-0.066	-0.039	0.44	0.545	-0.127
FGOALS-F3-L	0.416	31.765	-0.1756	0.013	0.042	0.449	0.559	-0.183
FIO-ESM-2-0	0.414	33.934	0.0207	0.119	0.097	0.441	0.543	-0.151
MIROC6	0.336	32.776	-0.0704	0.162	0.168	0.456	0.568	-0.241
KACE-1-0-G	0.303	31.073	-0.0157	-0.189	-0.186	0.459	0.566	-0.106
E3SM-1-1	0.275	32.24	-0.0552	-0.055	0.017	0.449	0.556	-0.159

Tabla 11. Índices de habilidad predictiva de los modelos CMIP6 para Colombia (junio)

JUNIO								
MODELO	CORRELACIÓN CANÓNICA	HIT	GOODNESS	PEARSON	SPEARMAN	MAE	RMSE	BIAS
NESM3	0.86	42.578	0.2237	0.095	0.118	0.477	0.594	0.019
INM-CM5-0	0.837	43.923	0.2156	0.209	0.19	0.424	0.53	-0.01
BCC-CSM2-MR	0.801	34.272	0.0429	0.132	0.149	0.501	0.616	-0.238
HadGEM3-GC31-MM	0.794	38.757	-0.0169	0.14	0.102	0.466	0.586	-0.207
CESM2-WACCM	0.776	38.369	-0.0334	0.198	0.224	0.457	0.569	-0.168
EC-Earth3-AERChem	0.772	37.145	0.0099	-0.173	-0.17	0.492	0.617	-0.094
CNRM-CM6-1-HR	0.77	46.033	0.2136	0.222	0.228	0.415	0.52	-0.085
UKESM1-0-LL	0.766	39.259	0.0655	-0.016	0.008	0.47	0.588	-0.137
CAMS-CSM1-0	0.764	43.429	0.0675	0.18	0.131	0.461	0.568	-0.117
TaiESM1	0.763	37.823	0.0139	0.023	0.07	0.483	0.607	-0.164
NorESM2-MM	0.734	37.378	0.1212	0.278	0.336	0.49	0.583	-0.176
IPSL-CM6A-LR	0.726	38.864	0.0842	0.134	0.165	0.446	0.552	-0.121
MIROC-ES2L	0.725	36.773	0.0933	0.191	0.195	0.479	0.587	-0.133
FIO-ESM-2-0	0.703	31.442	-0.0822	0.046	0.052	0.513	0.625	-0.238
CESM2	0.683	34.222	-0.0682	-0.015	-0.017	0.502	0.622	-0.223
FGOALS-G3	0.679	31.174	-0.0885	-0.103	-0.113	0.539	0.657	-0.242
IITM-ESM	0.673	33.978	-0.037	0.073	0.081	0.484	0.595	-0.201
INM-CM4-8	0.665	45.663	0.1641	0.026	0.108	0.439	0.561	-0.062
CanESM5-CanOE	0.664	32.544	0.0225	-0.001	-0.016	0.505	0.622	-0.221
CMCC-ESM2	0.658	36.73	0.1067	0.069	0.054	0.465	0.577	-0.119
GFDL-ESM4	0.629	45.896	0.1412	0.203	0.213	0.434	0.548	-0.105
CNRM-CM6-1	0.623	31.059	-0.0207	0.258	0.295	0.541	0.649	-0.326
MIROC6	0.613	28.716	-0.0807	-0.169	-0.111	0.549	0.68	-0.289
EC-Earth3-CC	0.598	39.425	0.0193	0.063	0.099	0.491	0.604	-0.174
MRI-ESM2-0	0.587	31.279	-0.0961	-0.063	-0.057	0.515	0.622	-0.179
CanESM5	0.58	38.367	0.0747	0.032	0.059	0.496	0.627	-0.097
AWI-CM-1-1-MR	0.58	34.84	0.0395	0.113	0.139	0.507	0.621	-0.208
MCM-UA-1-0	0.567	30.002	-0.2025	0.05	0.057	0.534	0.651	-0.285
FGOALS-F3-L	0.552	39.165	-0.0471	0.028	0.015	0.498	0.614	-0.141
IPSL-CM5A2-INCA	0.53	32.591	-0.0106	0.09	0.129	0.519	0.631	-0.232
E3SM-1-1	0.527	42.074	0.1085	0.141	0.182	0.45	0.557	-0.12
CMCC-CM2-SR5	0.519	30.913	-0.1082	0.075	0.074	0.488	0.6	-0.224
HadGEM3-GC31-LL	0.476	34.072	0.0092	-0.034	0.01	0.5	0.613	-0.093
ACCESS-CM2	0.474	33.358	0.0197	-0.045	0.01	0.484	0.6	-0.134
KACE-1-0-G	0.463	28.256	-0.0783	-0.039	0.052	0.511	0.615	-0.205
MPI-ESM1-2-LR	0.453	34.711	0.0416	0.101	0.091	0.497	0.616	-0.21
CNRM-ESM2-1	0.337	28.963	-0.0502	-0.002	0.02	0.492	0.6	-0.193

Tabla 12. Índices de habilidad predictiva de los modelos CMP6 para Colombia (julio)

JULIO								
MODELO	CORRELACIÓN CANÓNICA	HIT	GOODNESS	PEARSON	SPEARMAN	MAE	RMSE	BIAS
CanESM5	0.843	45.96	0.3025	0.109	0.089	0.5	0.629	-0.047
FIO-ESM-2-0	0.828	40.133	0.2122	0.076	0.068	0.496	0.622	-0.163
UKESM1-0-LL	0.803	38.658	0.1788	-0.041	-0.067	0.514	0.645	-0.133
EC-Earth3-AERChem	0.745	43.043	0.2145	0.227	0.197	0.506	0.627	-0.145
CMCC-ESM2	0.72	30.671	-0.0506	-0.023	-0.031	0.586	0.722	-0.355
CNRM-CM6-1-HR	0.691	42.742	0.199	0.039	0.065	0.475	0.599	-0.094
CNRM-CM6-1	0.69	34.303	-0.0535	0.118	0.11	0.525	0.65	-0.279
CAMS-CSM1-0	0.688	30.055	-0.0972	-0.103	-0.091	0.591	0.72	-0.295
INM-CM5-0	0.685	42.204	0.1725	0.107	0.082	0.471	0.586	-0.154
CESM2-WACCM	0.645	35.856	0.09	0.101	0.103	0.503	0.629	-0.214
TaiESM1	0.632	37.427	0.0037	0.03	0.031	0.529	0.672	-0.308
MRI-ESM2-0	0.618	29.911	0.0174	0.124	0.1	0.565	0.685	-0.35
EC-Earth3-CC	0.599	29.638	0.0502	0.066	0.068	0.511	0.63	-0.242
BCC-CSM2-MR	0.593	41.557	0.1225	0.044	0.038	0.511	0.651	-0.189
KACE-1-0-G	0.587	30.095	0.0605	0.068	0.066	0.588	0.72	-0.286
HadGEM3-GC31-LL	0.585	38.227	0.1867	-0.01	0.025	0.581	0.718	-0.053
NESM3	0.583	37.29	0.1325	0.038	0.026	0.509	0.643	-0.189
GFCL-ESM4	0.568	35.787	0.1272	0.19	0.178	0.534	0.652	-0.278
MPI-ESM1-2-LR	0.566	34.172	-0.0347	-0.035	-0.042	0.538	0.671	-0.287
AWI-CM-1-1-MR	0.565	36.182	0.0264	0.224	0.203	0.51	0.629	-0.268
IPSL-CM6A-LR	0.56	36.704	0.0873	0.138	0.102	0.515	0.66	-0.26
NorESM2-MM	0.557	36.92	0.0749	0.246	0.233	0.524	0.646	-0.302
E3SM-1-1	0.551	40.584	0.1148	0.156	0.165	0.505	0.626	-0.165
MIROC6	0.546	29.406	-0.1488	0.121	0.102	0.594	0.735	-0.423
MIROC-ES2L	0.541	33.082	0.0588	0.23	0.199	0.518	0.639	-0.27
ACCESS-CM2	0.54	34.7	0.0899	0.053	0.019	0.499	0.626	-0.216
CMCC-CM2-SR5	0.54	30.423	-0.1097	-0.148	-0.167	0.584	0.722	-0.344
INM-CM4-8	0.498	34.939	0.148	-0.07	-0.028	0.527	0.667	-0.197
CNRM-ESM2-1	0.49	38.035	0.1322	0.111	0.139	0.503	0.628	-0.205
CESM2	0.455	33.311	-0.0706	-0.026	-0.065	0.592	0.745	-0.299
HadGEM3-GC31-MM	0.453	28.357	0.0735	-0.119	-0.096	0.617	0.75	-0.254
MCM-UA-1-0	0.442	34.685	-0.0568	-0.004	-0.011	0.586	0.727	-0.313
FGOALS-F3-L	0.44	36.143	0.0588	0.162	0.164	0.497	0.625	-0.259
IITM-ESM	0.431	32.395	-0.0815	-0.052	-0.086	0.561	0.698	-0.271
FGOALS-G3	0.419	33.796	-0.108	-0.107	-0.091	0.541	0.674	-0.278
IPSL-CM5A2-INCA	0.412	36.238	0.031	0.04	0.068	0.504	0.634	-0.224
CanESM5-CanOE	0.343	34.732	-0.0637	0.093	0.145	0.534	0.658	-0.285

Tabla 13. Índices de habilidad predictiva de los modelos CMIP6 para Colombia (agosto)

AGOSTO								
MODELO	CORRELACIÓN CANÓNICA	HIT	GOODNESS	PEARSON	SPEARMAN	MAE	RMSE	BIAS
CanESM5	0.765	43.966	0.0899	-0.072	-0.041	0.512	0.647	0.005
MPI-ESM1-2-LR	0.737	31.905	0.0324	0.023	0.061	0.542	0.659	-0.213
TaiESM1	0.733	39.298	-0.004	0.036	0.024	0.506	0.622	-0.115
MCM-UA-1-0	0.729	42.995	0.0316	0.103	0.097	0.494	0.612	-0.133
INM-CM4-8	0.723	39.25	0.0678	0.095	0.046	0.475	0.59	-0.11
ACCESS-CM2	0.717	42.345	0.1338	0.113	0.108	0.481	0.597	-0.127
MIROC6	0.715	31.037	-0.081	0.003	-0.053	0.603	0.737	-0.293
INM-CM5-0	0.702	42.57	0.1745	0.055	0.026	0.472	0.588	-0.029
IPSL-CM5A2-INCA	0.673	40.274	0.0287	0.033	0.059	0.492	0.614	-0.086
MRI-ESM2-0	0.672	39.638	-0.0098	0.102	0.057	0.508	0.634	-0.136
CMCC-CM2-SR5	0.671	34.21	-0.1328	0.003	0.035	0.577	0.725	-0.267
FGOALS-F3-L	0.656	39.742	0.0439	0.001	0.059	0.525	0.651	-0.155
CESM2	0.652	34.018	-0.0843	0.007	0.016	0.522	0.64	-0.19
CNRM-CM6-1	0.645	35.347	-0.1133	-0.16	-0.163	0.561	0.7	-0.191
KACE-1-0-G	0.644	43.02	0.0798	-0.087	-0.109	0.527	0.649	0.014
UKESM1-0-LL	0.638	45.891	0.1173	0.064	0.113	0.457	0.58	-0.061
E3SM-1-1	0.636	33.937	-0.0681	0.125	0.079	0.539	0.668	-0.255
CAMS-CSM1-0	0.605	41.166	0.1121	0.148	0.111	0.494	0.613	-0.124
IITM-ESM	0.597	40.885	0.0782	0.032	0.029	0.503	0.62	-0.191
CanESM5-CanOE	0.588	36.648	0.0751	0.111	0.077	0.496	0.615	-0.113
BCC-CSM2-MR	0.578	40.391	0.0461	0.118	0.026	0.481	0.598	-0.114
IPSL-CM6A-LR	0.577	38.392	0.0231	-0.086	-0.101	0.502	0.629	-0.091
EC-Earth3-AERChem	0.572	43.491	0.0567	-0.056	-0.054	0.497	0.629	-0.001
CMCC-ESM2	0.566	30.628	-0.0353	-0.048	-0.04	0.561	0.69	-0.23
NorESM2-MM	0.564	37.948	0.0489	0.196	0.174	0.483	0.598	-0.186
CESM2-WACCM	0.558	41.406	0.0822	0.076	0.062	0.493	0.614	-0.031
MIROC-ES2L	0.552	38.297	0.1114	-0.006	0.03	0.502	0.628	-0.093
NESM3	0.547	38.644	0.0548	-0.015	0.027	0.533	0.668	-0.113
GFDL-ESM4	0.54	32.976	0.0038	0.136	0.179	0.523	0.64	-0.235
HadGEM3-GC31-MM	0.536	39.907	0.03	0.031	-0.004	0.471	0.586	-0.132
FIO-ESM-2-0	0.512	40.592	0.0834	-0.081	-0.093	0.488	0.611	-0.047
EC-Earth3-CC	0.504	37.068	0.0514	0.124	0.212	0.471	0.58	-0.119
CNRM-CM6-1-HR	0.491	41.174	0.0552	0.066	0.016	0.486	0.607	0.013
HadGEM3-GC31-LL	0.478	37.116	0.0256	0.046	0.015	0.518	0.634	-0.001
AWI-CM-1-1-MR	0.459	34.375	-0.0123	0.064	0.051	0.503	0.62	-0.152
FGOALS-G3	0.443	39.926	0.0153	-0.049	-0.033	0.483	0.602	-0.063
CNRM-ESM2-1	0.355	34.428	-0.0473	-0.112	-0.07	0.54	0.685	-0.195

Tabla 14. Índices de habilidad predictiva de los modelos CMIP6 para Colombia (septiembre)

SEPTIEMBRE								
MODELO	CORRELACIÓN CANÓNICA	HIT	GOODNESS	PEARSON	SPEARMAN	MAE	RMSE	BIAS
INM-CM5-0	0.844	40.671	0.1177	0.007	-0.022	0.482	0.605	-0.112
EC-Earth3-AERChem	0.838	43.913	0.1933	0.188	0.24	0.459	0.566	-0.164
INM-CM4-8	0.835	45.295	0.1481	-0.065	-0.014	0.482	0.601	-0.065
IPSL-CM5A2-INCA	0.768	44.736	0.1417	0.232	0.252	0.46	0.565	-0.135
TaiESM1	0.753	42.949	0.1715	0.159	0.187	0.461	0.565	-0.134
EC-Earth3-CC	0.752	39.184	0.0545	0.086	0.09	0.478	0.587	-0.166
IITM-ESM	0.741	33.356	-0.0613	-0.013	-0.057	0.514	0.628	-0.215
CAMS-CSM1-0	0.735	42.979	0.1235	0.227	0.274	0.456	0.564	-0.132
NorESM2-MM	0.718	44.434	0.2238	0.284	0.312	0.462	0.575	-0.148
CNRM-CM6-1-HR	0.71	47.487	0.2409	0.185	0.191	0.449	0.555	0.001
MPI-ESM1-2-LR	0.702	36.754	-0.03	-0.007	0.021	0.497	0.61	-0.189
BCC-CSM2-MR	0.699	36.079	0.0726	0.056	0.066	0.518	0.631	-0.206
CMCC-CM2-SR5	0.695	34.202	-0.0333	-0.065	-0.04	0.558	0.692	-0.235
CNRM-CM6-1	0.685	38.093	0.0651	0.162	0.174	0.478	0.592	-0.154
CNRM-ESM2-1	0.68	35.425	0.0214	0.08	0.085	0.503	0.612	-0.214
CMCC-ESM2	0.676	42.618	0.1172	0.199	0.233	0.481	0.602	-0.13
ACCESS-CM2	0.672	39.912	0.1019	-0.015	0.013	0.478	0.592	-0.107
NESM3	0.67	40.823	0.1658	0.007	0.024	0.481	0.594	-0.072
FIO-ESM-2-0	0.665	49.417	0.2184	0.111	0.097	0.452	0.569	0.031
KACE-1-0-G	0.663	48.14	0.0892	0.014	0.059	0.476	0.599	-0.012
CanESM5	0.644	39.498	0.0209	0.014	0.037	0.514	0.634	-0.114
CanESM5-CanOE	0.643	40.475	0.1484	0.229	0.244	0.458	0.567	-0.145
MIROC6	0.643	34.62	0.053	0.074	0.15	0.523	0.656	-0.258
HadGEM3-GC31-MM	0.624	33.243	-0.0303	0.06	0.116	0.502	0.616	-0.228
CESM2-WACCM	0.616	48.637	0.1781	0.301	0.344	0.438	0.547	-0.1
IPSL-CM6A-LR	0.614	36.234	0.1086	0.128	0.137	0.49	0.599	-0.161
AWI-CM-1-1-MR	0.611	36.824	0.1137	0.073	0.082	0.499	0.609	-0.128
GFDL-ESM4	0.61	47.443	0.1852	0.196	0.261	0.451	0.554	-0.028
UKESM1-0-LL	0.607	41.495	0.1581	0.096	0.106	0.454	0.567	-0.084
CESM2	0.601	34.315	0.0474	0.128	0.099	0.51	0.625	-0.196
FGOALS-F3-L	0.593	42.87	0.1364	0.146	0.162	0.474	0.588	-0.058
FGOALS-G3	0.584	40.14	0.1775	0.266	0.26	0.443	0.543	-0.131
E3SM-1-1	0.581	36.71	0.0462	0.169	0.187	0.5	0.61	-0.198
MCM-UA-1-0	0.574	40.04	0.1013	0.082	0.104	0.488	0.61	-0.137
HadGEM3-GC31-LL	0.573	39.47	0.1576	0.041	0.036	0.502	0.618	-0.027
MIROC-ES2L	0.527	40.657	0.1193	-0.033	-0.003	0.497	0.626	-0.158
MRI-ESM2-0	0.24	28.264	-0.1664	-0.008	0.018	0.566	0.694	-0.281

Tabla 15. Índices de habilidad predictiva de los modelos CMIP6 para Colombia (octubre)

OCTUBRE								
MODELO	CORRELACIÓN CANÓNICA	HIT	GOODNESS	PEARSON	SPEARMAN	MAE	RMSE	BIAS
EC-Earth3-AERChem	0.778	46.689	0.1386	-0.1	-0.093	0.434	0.543	0.004
CanESM5-CanOE	0.741	50.692	0.1744	0.206	0.216	0.404	0.5	-0.075
IPSL-CM5A2-INCA	0.735	44.223	0.1576	0.095	0.077	0.433	0.534	-0.073
CNRM-CM6-1-HR	0.705	51.278	0.2125	0.098	0.091	0.395	0.494	-0.007
KACE-1-0-G	0.704	42.454	0.0764	0.194	0.166	0.487	0.606	-0.213
CMCC-CM2-SR5	0.695	29.335	-0.1108	0.056	0.014	0.525	0.64	-0.323
INM-CM4-8	0.692	43.363	0.1337	-0.036	-0.089	0.425	0.526	-0.082
CNRM-ESM2-1	0.69	48.568	0.1655	0.233	0.259	0.405	0.505	-0.071
ACCESS-CM2	0.687	42.591	0.1069	0.255	0.264	0.434	0.533	-0.211
IPSL-CM6A-LR	0.684	43.983	0.1573	0.108	0.106	0.433	0.534	-0.085
HadGEM3-GC31-MM	0.678	46.139	0.1129	-0.036	-0.02	0.458	0.574	-0.065
INM-CM5-0	0.677	44.208	0.1695	-0.191	-0.15	0.424	0.524	-0.035
NorESM2-MM	0.668	48.681	0.1582	0.159	0.18	0.433	0.548	-0.164
FIO-ESM-2-0	0.665	47.982	0.196	0.067	0.07	0.402	0.503	-0.06
MIROC-ES2L	0.653	42.679	0.1274	0.113	0.064	0.451	0.554	-0.131
CMCC-ESM2	0.648	35.703	-0.0063	0.045	0.071	0.472	0.58	-0.222
AWI-CM-1-1-MR	0.645	43.962	0.1304	0.07	0.003	0.432	0.528	-0.102
CNRM-CM6-1	0.61	35.923	-0.1484	-0.121	-0.127	0.503	0.622	-0.235
IITM-ESM	0.601	38.935	0.0667	-0.155	-0.257	0.493	0.602	-0.092
BCC-CSM2-MR	0.593	32.602	-0.0111	-0.114	-0.15	0.511	0.635	-0.236
MCM-UA-1-0	0.589	39.178	0.0498	0.171	0.168	0.453	0.561	-0.228
HadGEM3-GC31-LL	0.587	41.714	0.1412	-0.13	-0.109	0.451	0.562	-0.046
TaiESM1	0.58	44.358	0.131	0.094	0.092	0.431	0.534	-0.083
NESM3	0.571	38.75	0.0212	0.126	0.074	0.487	0.607	-0.196
FGOALS-F3-L	0.561	38.227	-0.0375	0.034	0.047	0.476	0.591	-0.223
GFDL-ESM4	0.56	42.304	0.0692	0.185	0.186	0.439	0.544	-0.14
CESM2-WACCM	0.553	41.066	0.0931	0.141	0.148	0.451	0.563	-0.175
FGOALS-G3	0.521	36.601	0.0736	0.075	0.089	0.452	0.554	-0.19
CESM2	0.518	37.315	0.0263	0.112	0.102	0.466	0.574	-0.223
MIROC6	0.517	34.577	0.0445	0.186	0.17	0.494	0.608	-0.287
EC-Earth3-CC	0.506	40.783	0.0827	0.119	0.131	0.431	0.539	-0.173
E3SM-1-1	0.504	39.312	0.022	0.022	0.03	0.451	0.558	-0.168
CanESM5	0.496	38.216	0.0347	-0.099	-0.09	0.525	0.658	-0.065
UKESM1-0-LL	0.495	41.719	0.0652	-0.022	0.008	0.459	0.567	-0.142
CAMS-CSM1-0	0.457	30.51	-0.0476	-0.211	-0.239	0.501	0.611	-0.154
MRI-ESM2-0	0.447	32.229	-0.1553	-0.028	0	0.506	0.622	-0.302
MPI-ESM1-2-LR	0.426	37.59	-0.0192	-0.054	-0.063	0.467	0.581	-0.181

Tabla 16. Índices de habilidad predictiva de los modelos CMIP6 para Colombia (noviembre)

NOVIEMBRE								
MODELO	CORRELACIÓN CANÓNICA	HIT	GOODNESS	PEARSON	SPEARMAN	MAE	RMSE	BIAS
CNRM-CM6-1-HR	0.848	43.678	0.1953	0.055	0.037	0.425	0.531	-0.06
INM-CM5-0	0.831	48.783	0.2324	0.028	0.017	0.4	0.495	-0.031
INM-CM4-8	0.794	48.109	0.21	0.036	0.076	0.403	0.496	-0.072
ACCESS-CM2	0.785	39.907	0.1766	0.113	0.068	0.44	0.532	-0.171
EC-Earth3-CC	0.777	40.326	0.1256	-0.134	-0.143	0.414	0.516	-0.111
TaiESM1	0.763	40.997	0.1	0.046	0.041	0.42	0.519	-0.193
KACE-1-0-G	0.752	34.269	0.0333	-0.054	-0.045	0.473	0.578	-0.203
CNRM-CM6-1	0.751	44.282	0.1041	-0.031	-0.017	0.41	0.513	-0.099
EC-Earth3-AERChem	0.743	49.394	0.1818	0.016	0.005	0.397	0.495	-0.034
IPSL-CM5A2-INCA	0.74	38.341	0.0611	-0.018	-0.038	0.426	0.53	-0.159
FIO-ESM-2-0	0.735	37.316	0.1175	-0.075	-0.109	0.437	0.54	-0.154
CESM2-WACCM	0.732	42.533	0.1278	0.064	0.065	0.425	0.525	-0.157
CanESM5	0.724	44.644	0.1436	-0.035	-0.015	0.425	0.53	-0.088
MCM-UA-1-0	0.719	31.95	-0.0778	-0.013	-0.051	0.457	0.551	-0.209
UKESM1-0-LL	0.716	48.959	0.1637	-0.036	-0.052	0.399	0.495	-0.044
IPSL-CM6A-LR	0.713	41.78	0.1402	-0.073	-0.042	0.416	0.52	-0.089
CanESM5-CanOE	0.705	39.944	0.1327	0.052	0.019	0.42	0.51	-0.116
CAMS-CSM1-0	0.685	38.312	0.122	0.105	0.108	0.436	0.532	-0.188
MIROC6	0.679	36.091	0.0366	0.11	0.096	0.46	0.569	-0.275
NorESM2-MM	0.674	33.313	0.0887	0.02	0.012	0.459	0.561	-0.17
NESM3	0.663	46.299	0.1555	-0.095	-0.073	0.423	0.526	-0.023
FGOALS-G3	0.658	35.76	0.0397	0.062	0.019	0.448	0.548	-0.233
HadGEM3-GC31-MM	0.657	37.374	0.0802	0.077	0.026	0.437	0.538	-0.178
IITM-ESM	0.639	40.471	0.0983	-0.075	-0.08	0.431	0.526	-0.136
CMCC-ESM2	0.638	36.725	0.0804	0.139	0.143	0.454	0.553	-0.238
CNRM-ESM2-1	0.622	34.855	0.0313	-0.033	-0.029	0.455	0.557	-0.228
E3SM-1-1	0.614	41.113	0.107	0.116	0.113	0.421	0.518	-0.159
HadGEM3-GC31-LL	0.606	41.516	0.1417	-0.018	0.039	0.43	0.538	-0.048
MRI-ESM2-0	0.595	32.864	-0.013	0.013	0.042	0.459	0.558	-0.228
FGOALS-F3-L	0.593	39.337	0.0634	-0.049	-0.057	0.451	0.552	-0.166
AWI-CM-1-1-MR	0.586	42.023	0.1055	-0.097	-0.097	0.424	0.517	-0.101
MPI-ESM1-2-LR	0.57	38.751	0.0995	0.056	0.052	0.441	0.538	-0.177
GFDL-ESM4	0.565	40.241	0.0894	-0.038	-0.033	0.437	0.536	-0.088
BCC-CSM2-MR	0.562	36.815	0.068	-0.006	-0.041	0.412	0.515	-0.138
CESM2	0.502	33.574	-0.0597	-0.083	-0.072	0.455	0.566	-0.214
MIROC-ES2L	0.497	36.023	0.0558	-0.088	-0.079	0.452	0.559	-0.164
CMCC-CM2-SR5	0.405	31.778	-0.0604	-0.12	-0.122	0.472	0.577	-0.203

Tabla 17. Índices de habilidad predictiva de los modelos CMIP6 para Colombia (diciembre)

DICIEMBRE								
MODELO	CORRELACIÓN CANÓNICA	HIT	GOODNESS	PEARSON	SPEARMAN	MAE	RMSE	BIAS
INM-CM5-0	0.839	50.944	0.2358	0.197	0.215	0.429	0.531	0.003
EC-Earth3-AERChem	0.815	38.525	0.1082	-0.067	-0.07	0.467	0.575	-0.072
CESM2	0.785	31.79	-0.0494	0.021	0.034	0.519	0.631	-0.259
MCM-UA-1-0	0.784	28.18	-0.1742	0.008	0.002	0.563	0.676	-0.34
CanESM5	0.766	45.457	0.2258	0.002	0.051	0.479	0.604	0.007
E3SM-1-1	0.744	33.239	-0.0089	-0.014	0.06	0.513	0.617	-0.169
IPSL-CM6A-LR	0.741	37.646	0.0444	-0.164	-0.136	0.48	0.596	-0.092
MIROC6	0.738	33.401	-0.0053	0.031	0.082	0.506	0.625	-0.229
MIROC-ES2L	0.736	35.037	0.1824	-0.096	0.044	0.487	0.609	-0.14
TaiESM1	0.732	37.957	0.13	0.105	0.127	0.456	0.561	-0.137
FIO-ESM-2-0	0.721	44.696	0.1895	0.17	-0.064	0.484	0.591	-0.054
CNRM-ESM2-1	0.719	40.812	0.0482	0.079	0.102	0.499	0.605	-0.123
HadGEM3-GC31-MM	0.699	36.08	-0.0256	0.097	0.105	0.509	0.631	-0.272
MRI-ESM2-0	0.686	33.297	0.042	0.104	0.085	0.533	0.648	-0.269
CNRM-CM6-1-HR	0.685	44.735	0.2131	-0.279	-0.248	0.485	0.605	0.062
CNRM-CM6-1	0.665	37.481	-0.009	-0.013	-0.021	0.469	0.584	-0.133
IPSL-CM5A2-INCA	0.653	33.895	0.0146	0.119	0.081	0.497	0.602	-0.238
NorESM2-MM	0.649	40.023	0.1385	0.172	0.211	0.479	0.587	-0.172
HadGEM3-GC31-LL	0.641	46.653	0.1227	0.112	0.13	0.461	0.572	-0.005
CAMS-CSM1-0	0.636	43.841	0.1065	0.277	0.293	0.444	0.542	-0.107
BCC-CSM2-MR	0.635	32.325	0.0212	0.085	0.082	0.516	0.627	-0.21
ACCESS-CM2	0.632	45.184	0.1571	0.078	0.136	0.479	0.62	-0.117
CESM2-WACCM	0.565	36.786	0.1208	0.033	0.061	0.471	0.58	-0.107
INM-CM4-8	0.557	42.963	0.1779	0.062	0.077	0.444	0.555	-0.099
FGOALS-G3	0.556	33.798	-0.0357	0.215	0.252	0.511	0.612	-0.298
MPI-ESM1-2-LR	0.545	35.897	0.0561	0.042	0.011	0.525	0.636	-0.169
CMCC-CM2-SR5	0.519	27.983	-0.0145	0.073	0.113	0.52	0.629	-0.268
NESM3	0.507	38.966	0.0721	0.025	0.025	0.452	0.559	-0.121
CanESM5-CanOE	0.503	34.776	0.0614	-0.094	0	0.512	0.631	-0.137
UKESM1-0-LL	0.502	40.897	0.1097	-0.138	-0.096	0.462	0.572	-0.057
KACE-1-0-G	0.485	39.815	0.045	0.116	0.124	0.468	0.575	-0.167
CMCC-ESM2	0.47	34.379	0.0184	0.096	0.128	0.503	0.617	-0.246
FGOALS-F3-L	0.469	34.136	0.0179	-0.053	0	0.479	0.586	-0.148
GFDL-ESM4	0.46	39.676	0.0444	0.025	-0.011	0.466	0.579	-0.095
IITM-ESM	0.451	32.886	0.0369	-0.049	0.004	0.503	0.612	-0.201
EC-Earth3-CC	0.451	32.621	0.0591	-0.05	-0.022	0.505	0.625	-0.233
AWI-CM-1-1-MR	0.44	29.191	-0.0352	0.003	0.005	0.502	0.608	-0.197

Anexo B

Escenarios de cambio climático para la temperatura media del aire a nivel anual dada por el ensamble de los modelos globales (de baja resolución espacial) que el IPCC incorporó en sus análisis.

Debido a que el clima regula diferentes actividades socioeconómicas y climáticas del país, y que conocer los efectos que el cambio climático pueda tener a futuro sobre una zona o región reviste una importancia relevante para la planificación sectorial del país y la toma de decisiones climáticamente inteligentes; este anexo plasma las anomalías anuales de los posibles cambios de temperatura del aire para los diferentes horizontes temporales de los escenarios de cambio climático contemplados por el IPCC.

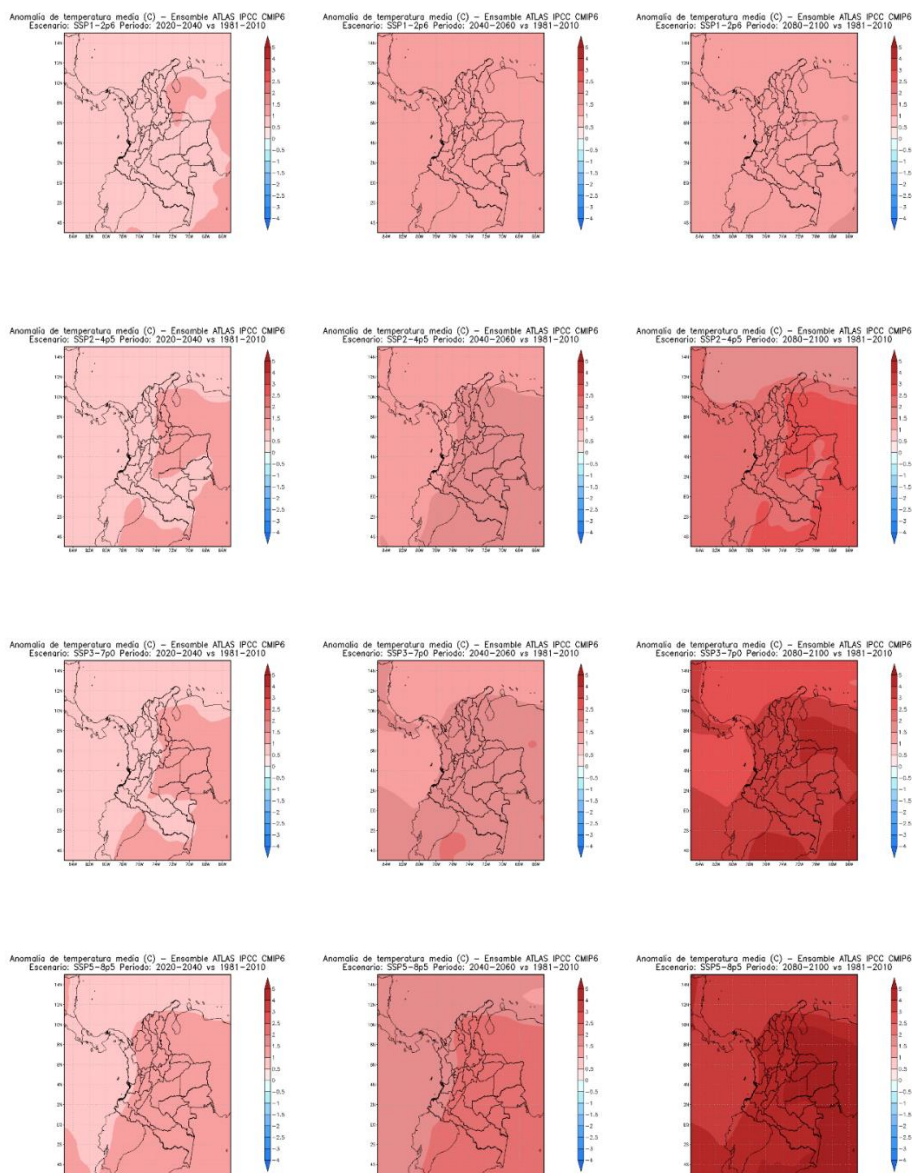
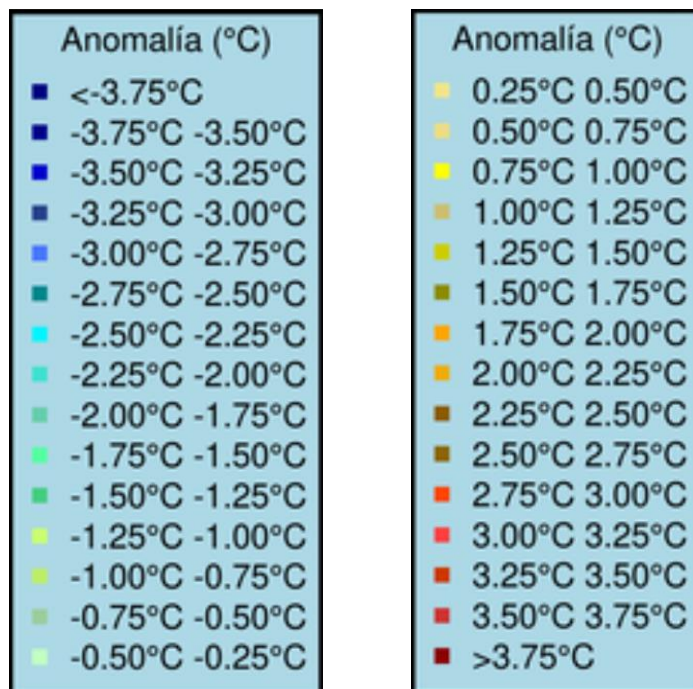


Figura 4. Anomalia de la temperatura media del aire (°C) a nivel anual estimada para los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (de arriba hacia abajo) para 2021-2040 (izquierda), 2041-2060 (medio) y 2081-2100 (derecha).

Anexo C

Escenarios de cambio climático de la temperatura media nivel mensual para Colombia

En este anexo se presentan los resultados estimados del cambio de la temperatura media mensual del aire bajo cuatro (4) escenarios de cambio climático (SSP1-2.6, SSP2-45, SSP3-7.0 y SSP5-8.5) con respecto al periodo de referencia 1981-2010.



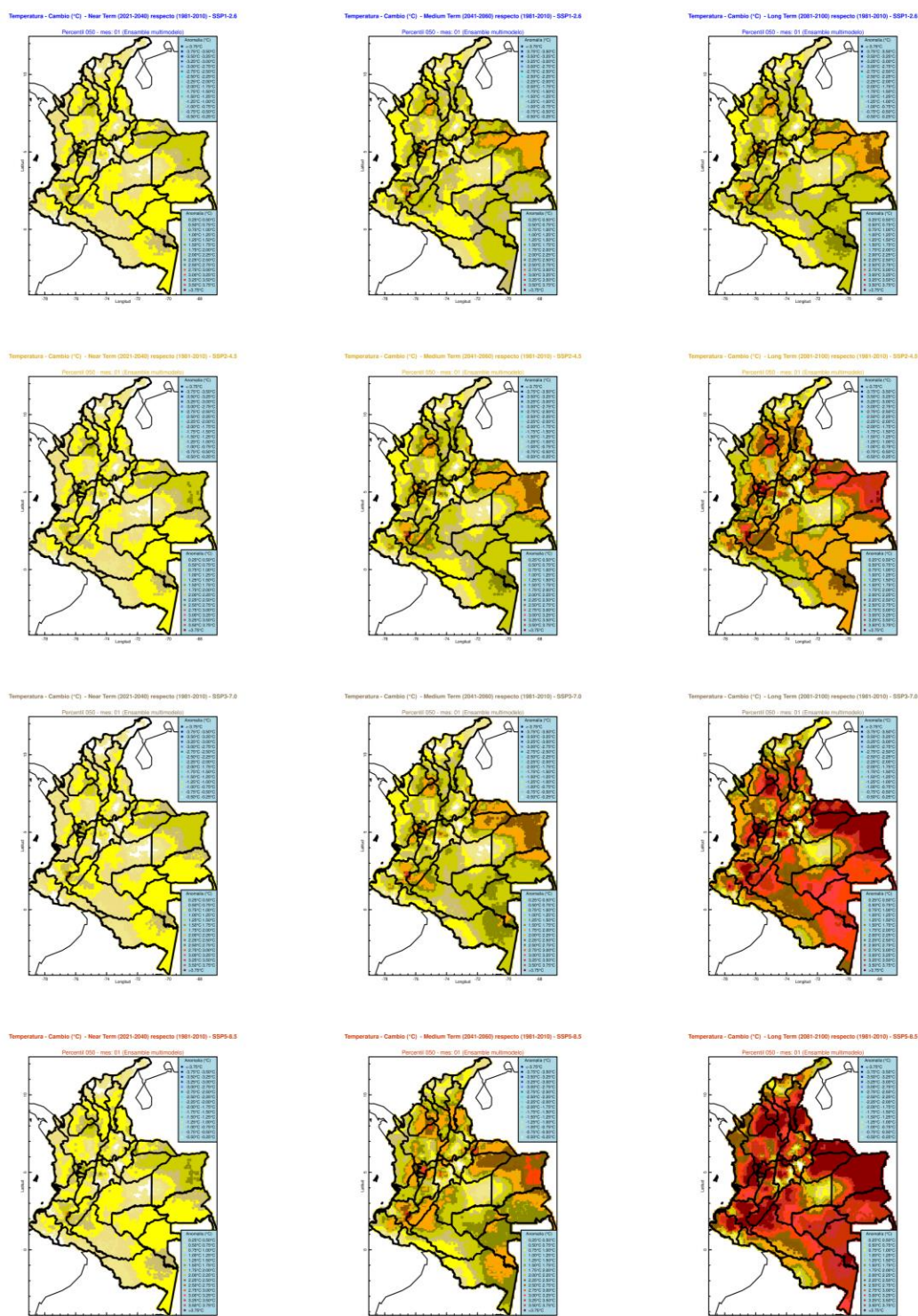


Figura 5. Anomalia de la temperatura media del aire (°C) estimada para los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (de arriba hacia abajo) para 2021-2040 (izquierda), 2041-2060 (medio) y 2061-2100 (derecha) para el mes de enero.

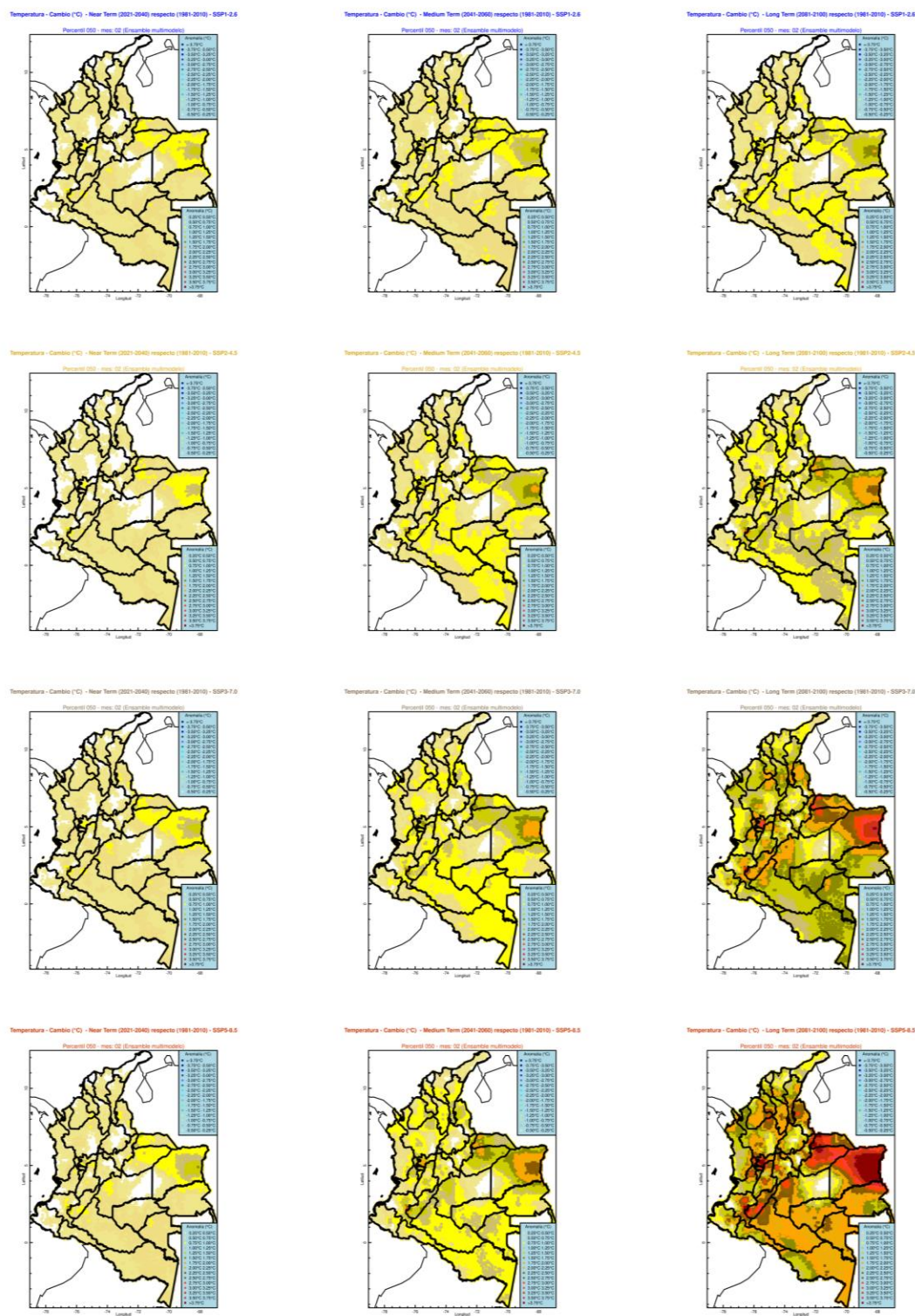


Figura 6. Anomalia de la temperatura media del aire (°C) estimada para los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (de arriba hacia abajo) para 2021-2040 (izquierda), 2041-2060 (medio) y 2081-2100 (derecha) para el mes de febrero.

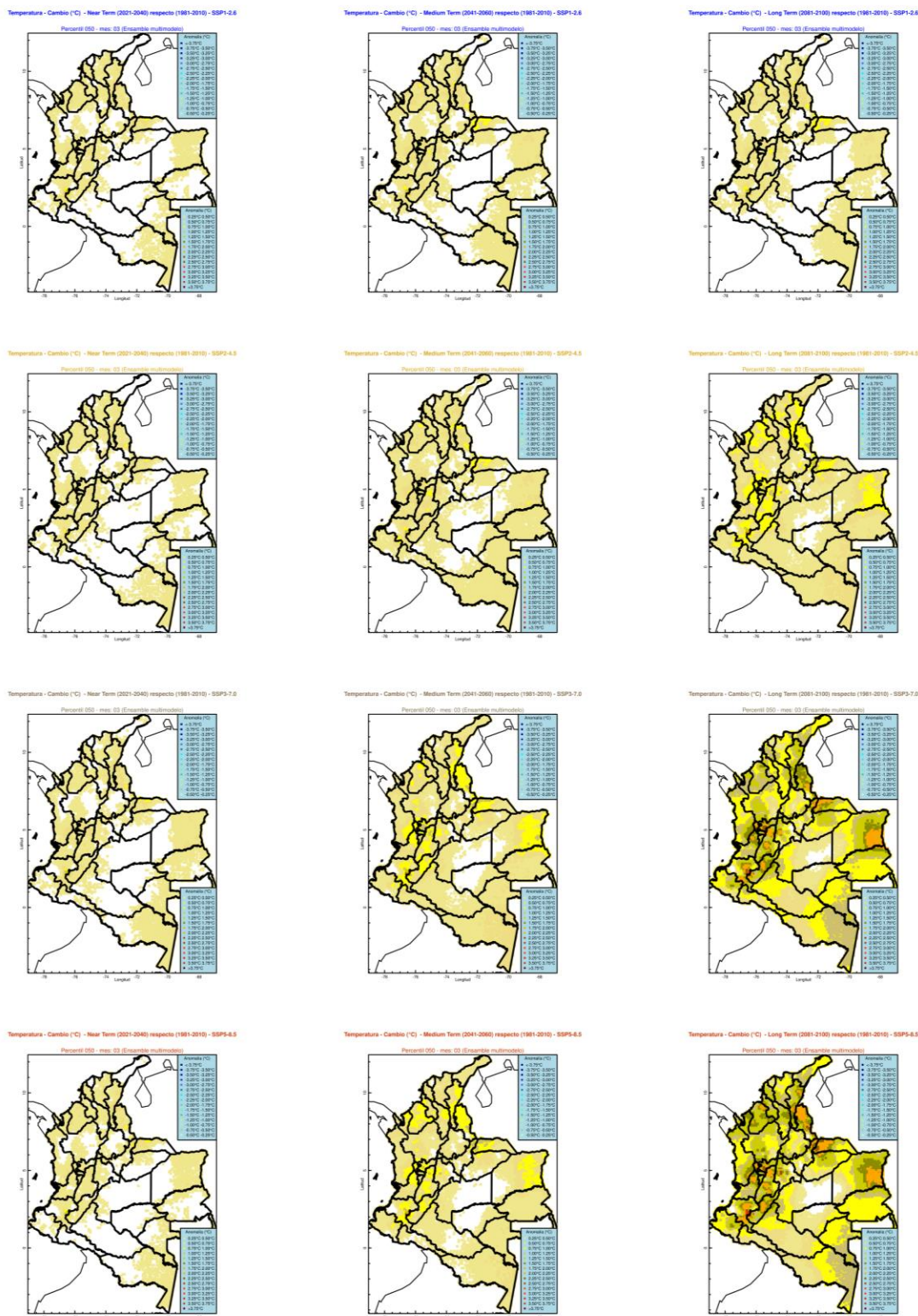


Figura 7. Anomalía de la temperatura media del aire (°C) estimada para los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (de arriba hacia abajo) para 2021-2040 (izquierda), 2041-2060 (medio) y 2081-2100 (derecha) para el mes de marzo.

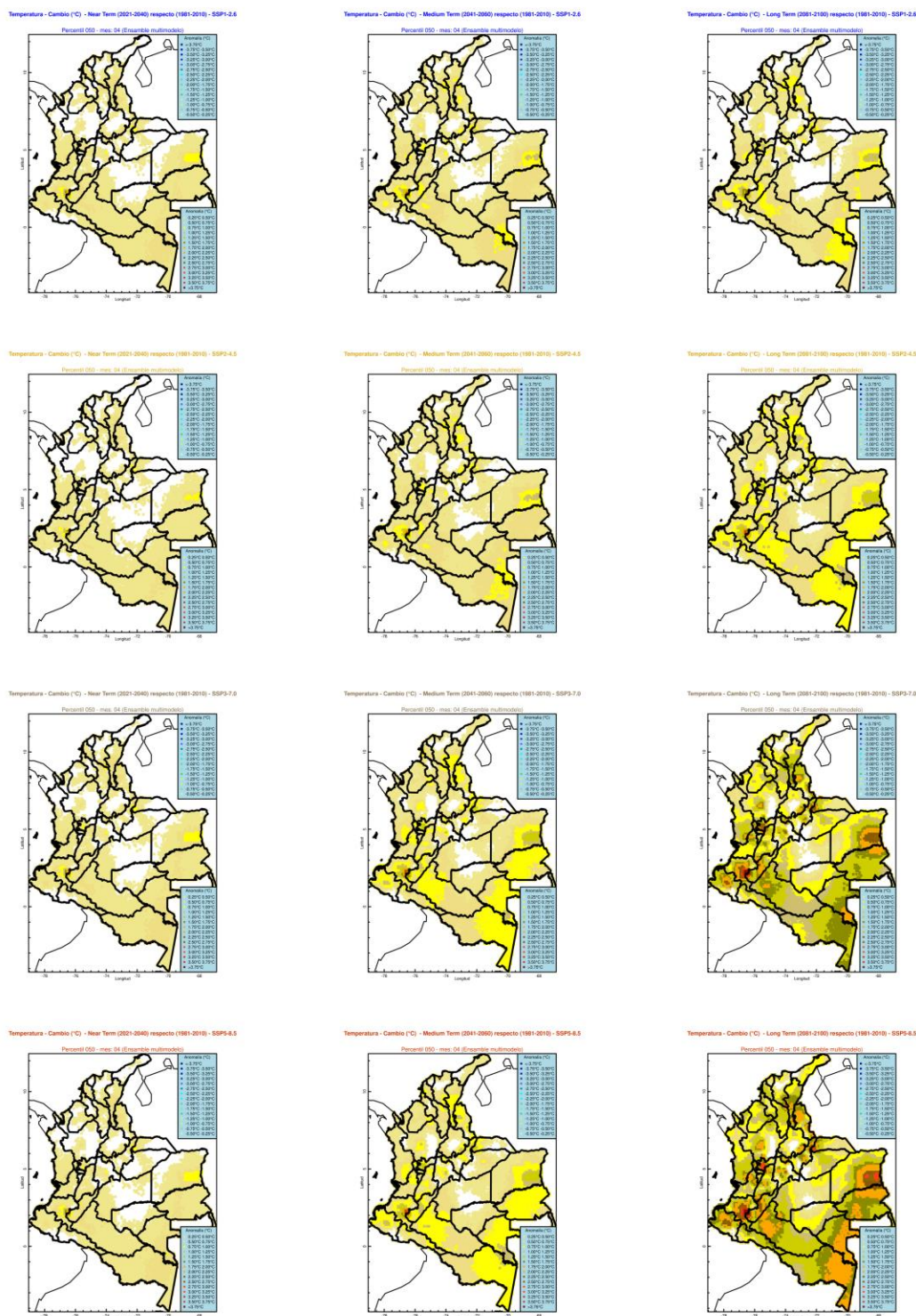


Figura 8. Anomalia de la temperatura media del aire (°C) estimada para los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (de arriba hacia abajo) para 2021-2040 (izquierda), 2041-2060 (medo) y 2081-2100 (derecha) para el mes de abril.

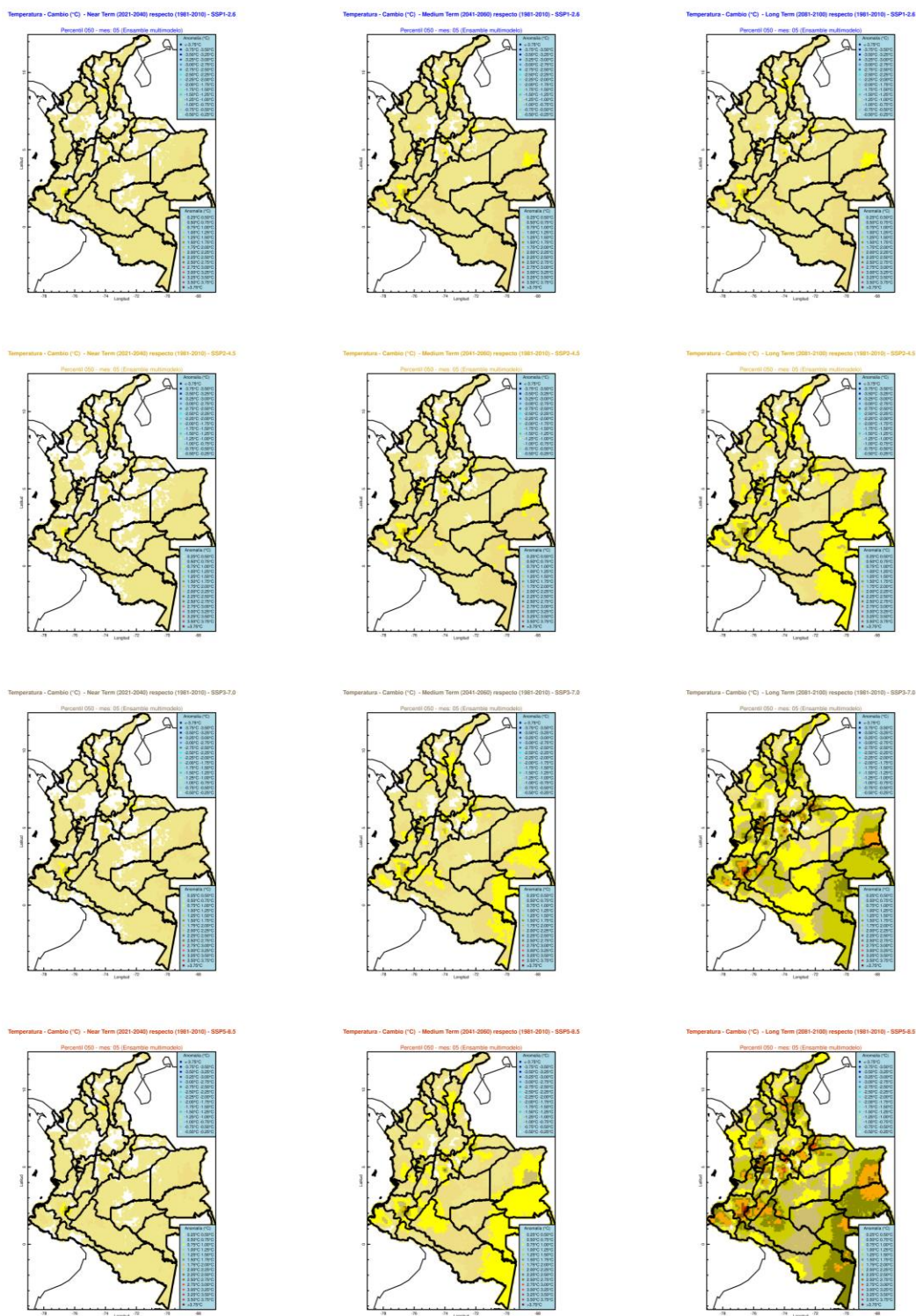


Figura 9. Anomalia de la temperatura media del aire (°C) estimada para los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (de arriba hacia abajo) para 2021-2040 (izquierda), 2041-2060 (medio) y 2081-2100 (derecha) para el mes de mayo.

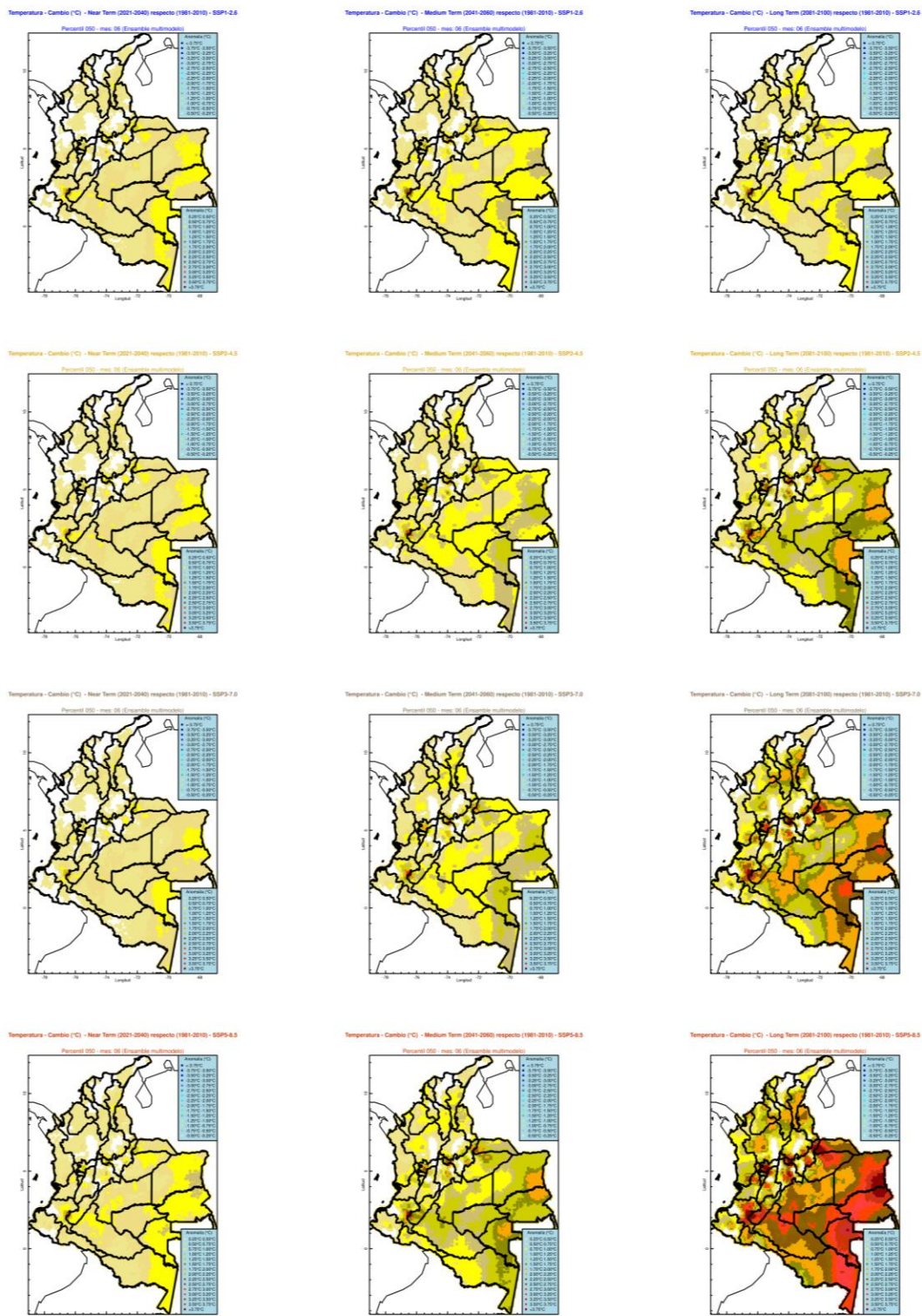


Figura 10. Anomalia de la temperatura media del aire (°C) estimada para los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (de arriba hacia abajo) para 2021-2040 (izquierda), 2041-2060 (medio) y 2081-2100 (derecha) para el mes de junio.

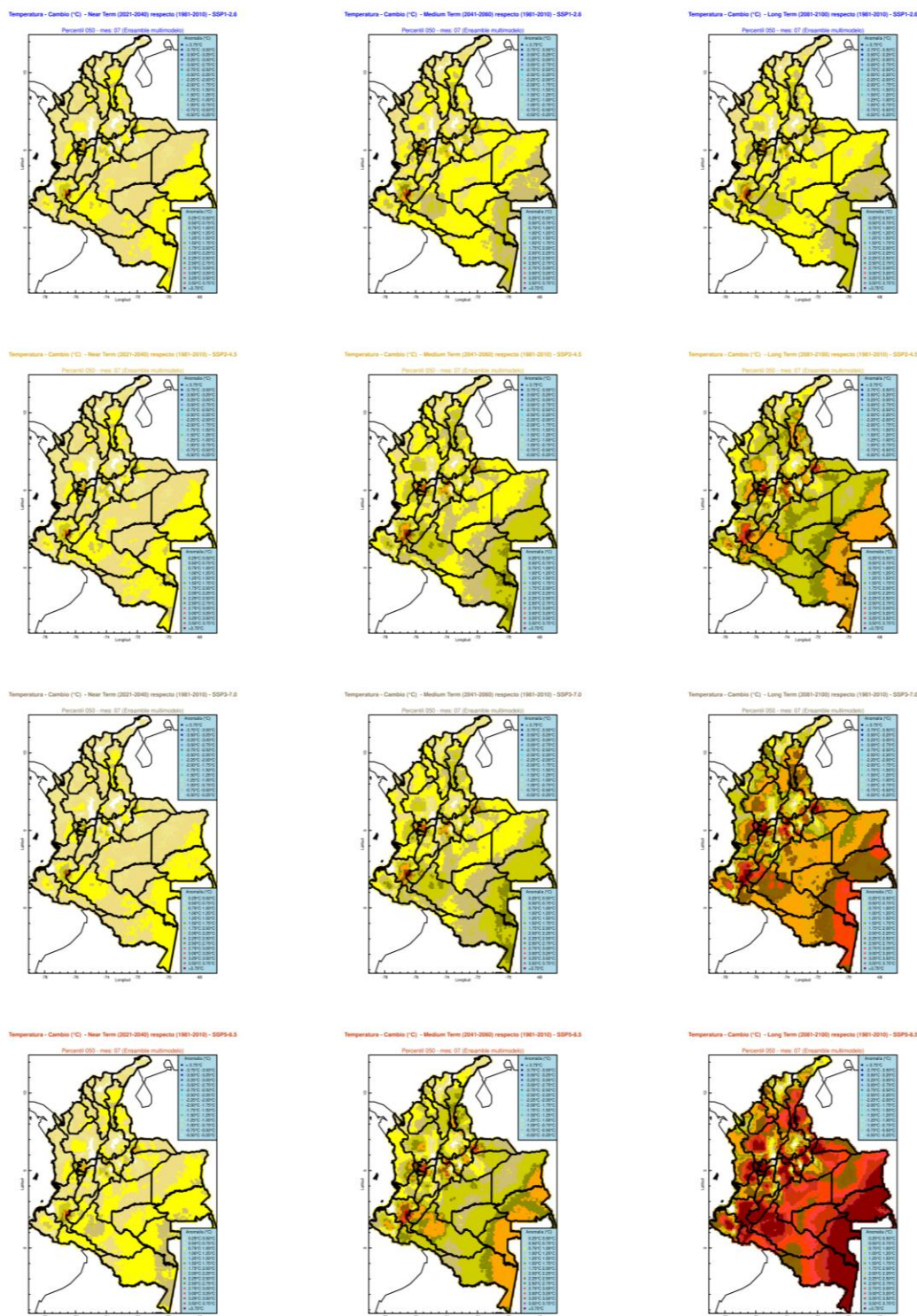


Figura 11. Anomalia de la temperatura media del aire (°C) estimada para los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (de arriba hacia abajo) para 2021-2040 (izquierda), 2041-2060 (medio) y 2081-2100 (derecha) para el mes de julio.

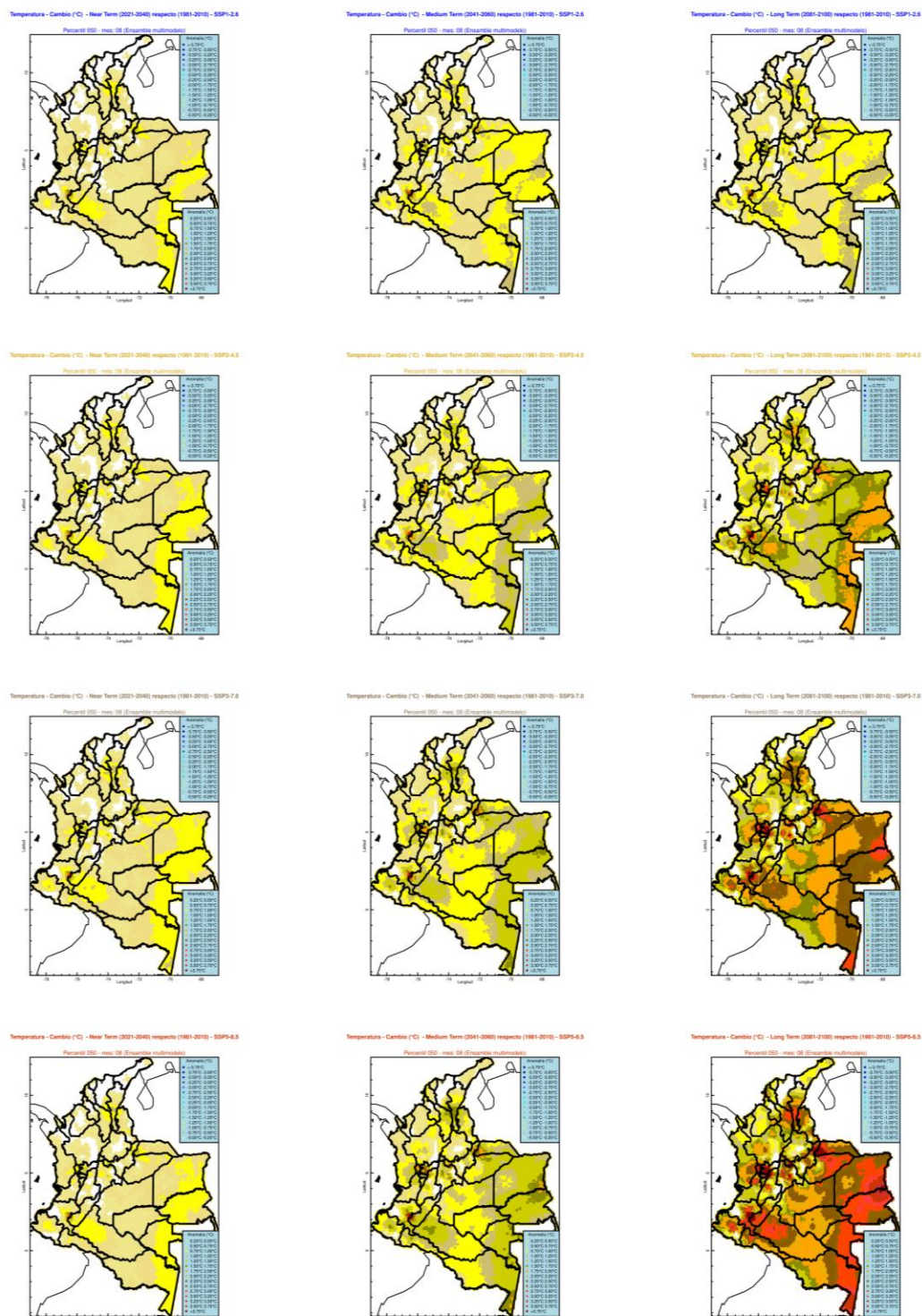


Figura 12. Anomalia de la temperatura media del aire (°C) estimada para los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (de arriba hacia abajo) para 2021-2040 (izquierda), 2041-2060 (medio) y 2081-2100 (derecha) para el mes de agosto.

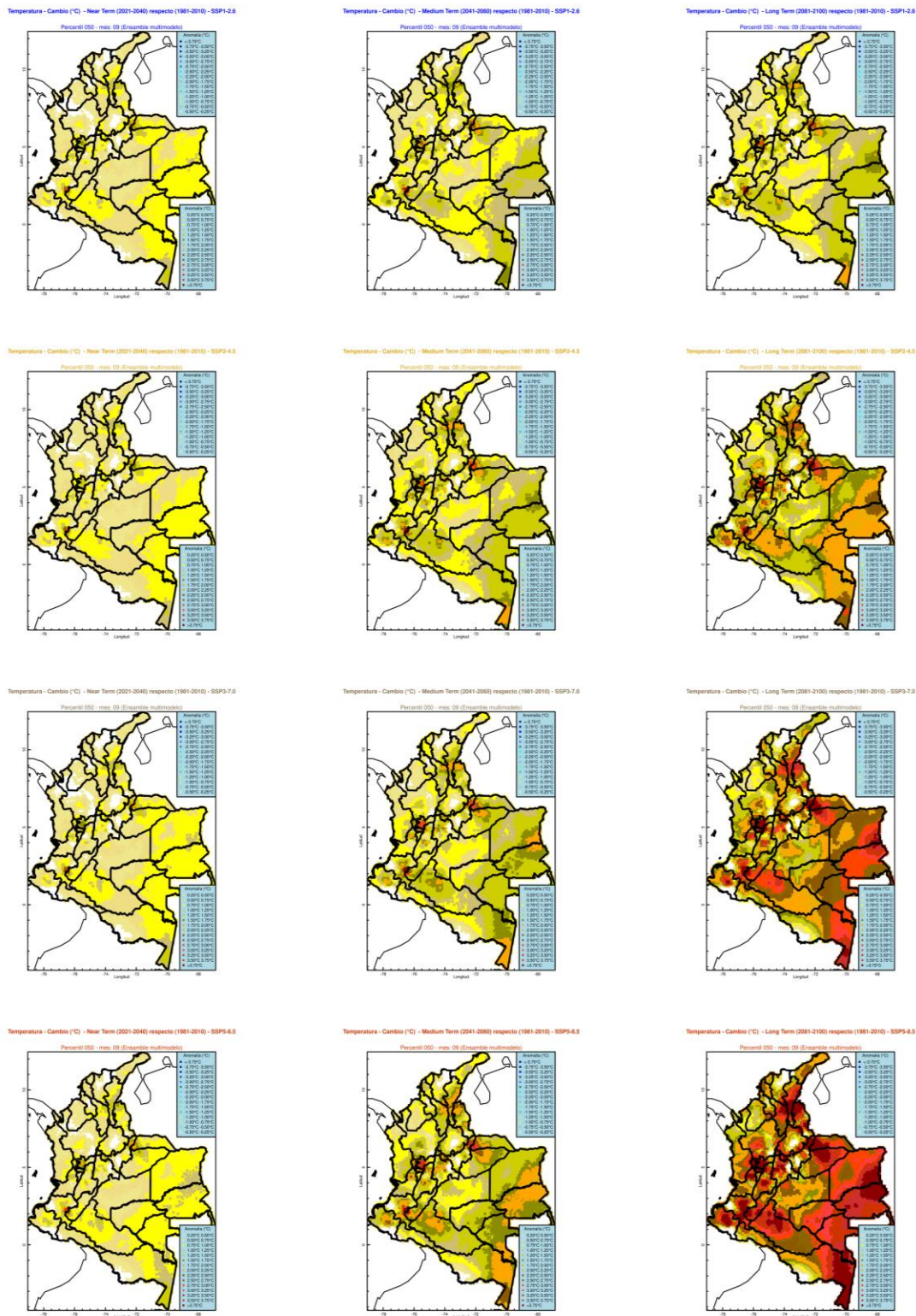


Figura 13. Anomalia de la temperatura media del aire (°C) estimada para los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (de arriba hacia abajo) para 2021-2040 (izquierda), 2041-2060 (medio) y 2081-2100 (derecha) para el mes de septiembre.

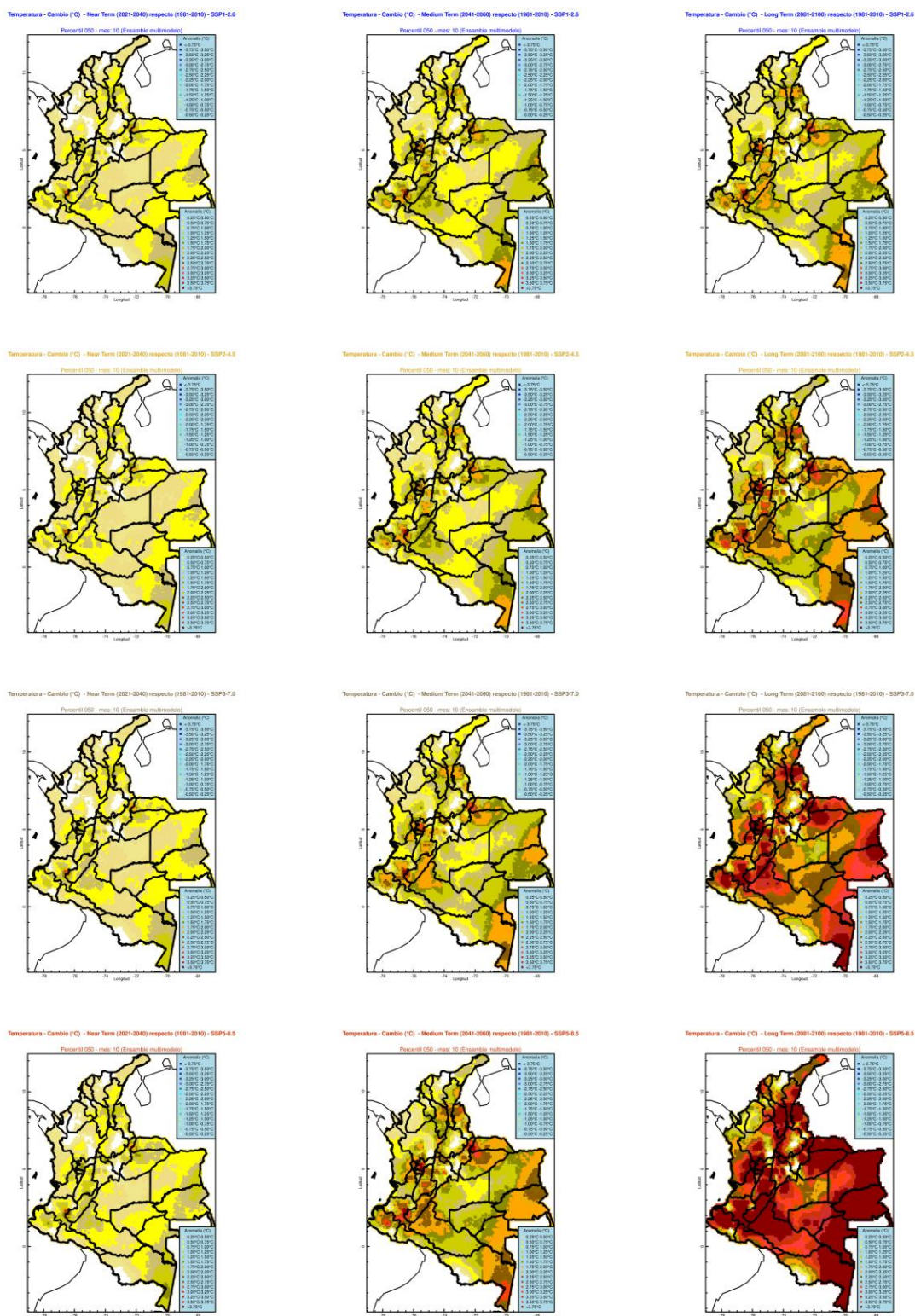


Figura 14. Anomalia de la temperatura media del aire (°C) estimada para los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (de arriba hacia abajo) para 2021-2040 (izquierda), 2041-2060 (medio) y 2061-2100 (derecha) para el mes de octubre.

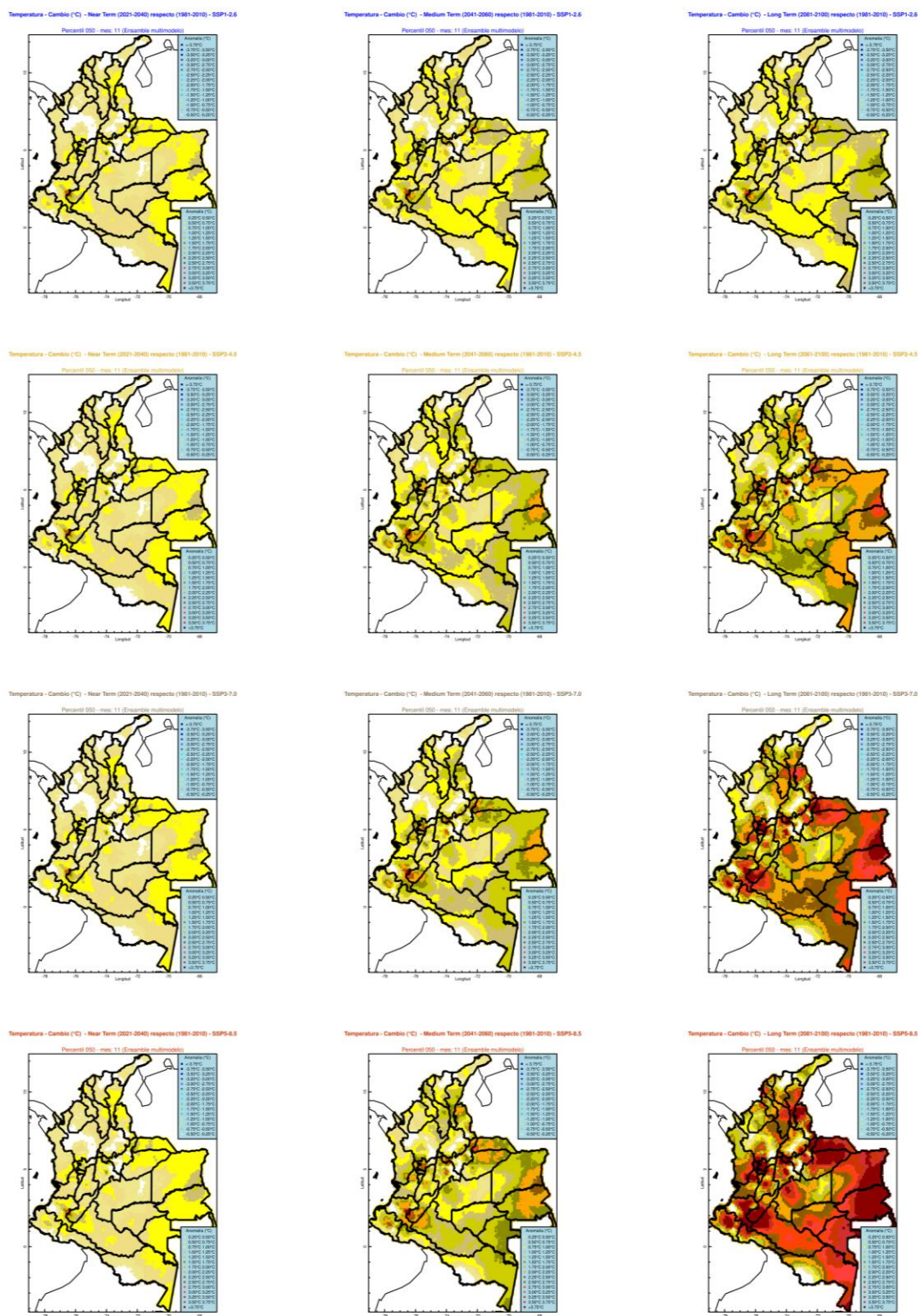


Figura 15. Anomalia de la temperatura media del aire (°C) estimada para los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (de arriba hacia abajo) para 2021-2040 (izquierda), 2041-2060 (medio) y 2081-2100 (derecha) para el mes de noviembre.

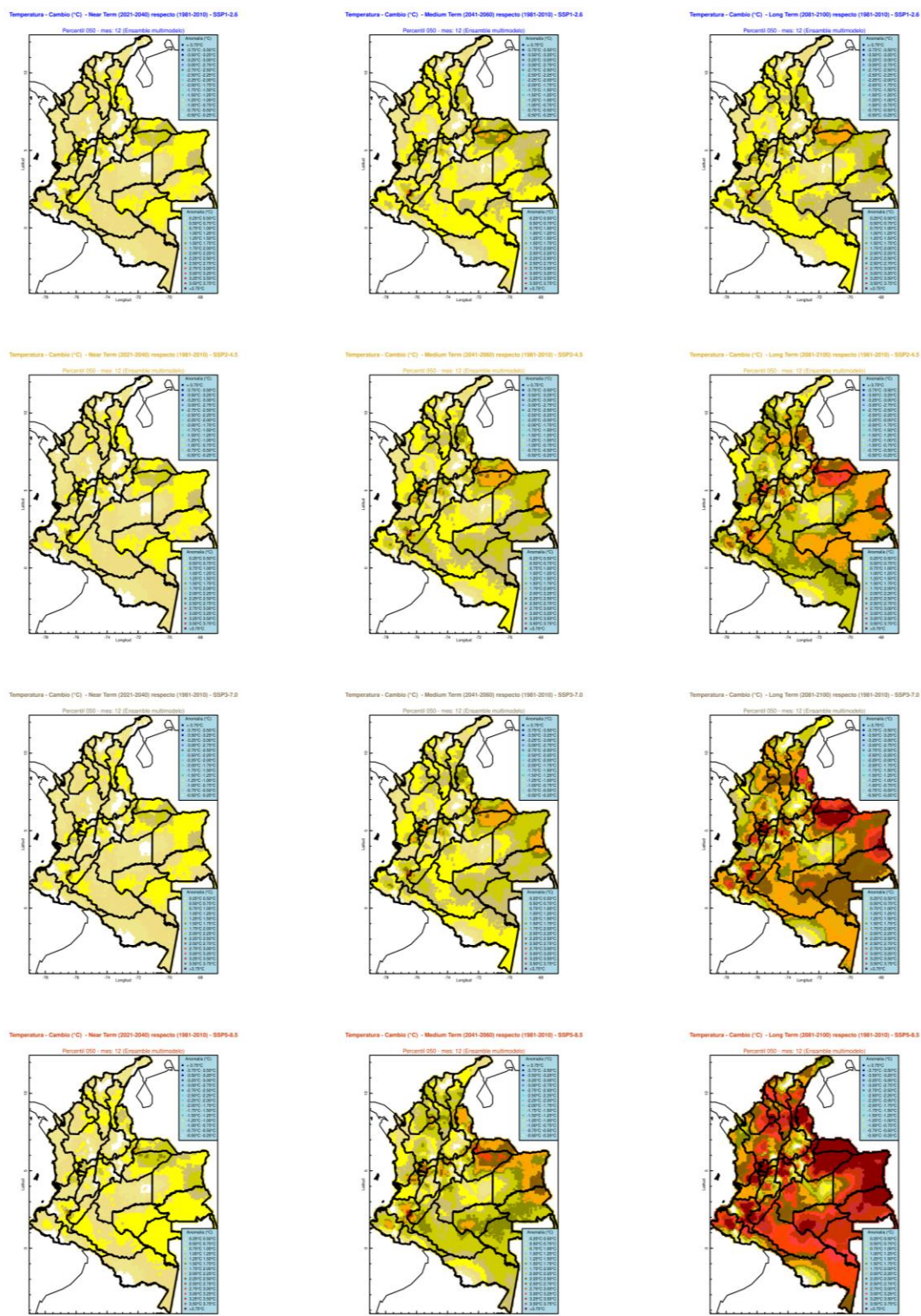


Figura 16. Anomalia de la temperatura media del aire (°C) estimada para los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (de arriba hacia abajo) para 2021-2040 (izquierda), 2041-2060 (medio) y 2081-2100 (derecha) para el mes de diciembre.