



Desarrollando capacidades para avanzar en el proceso del Plan Nacional de Adaptación de la República Dominicana

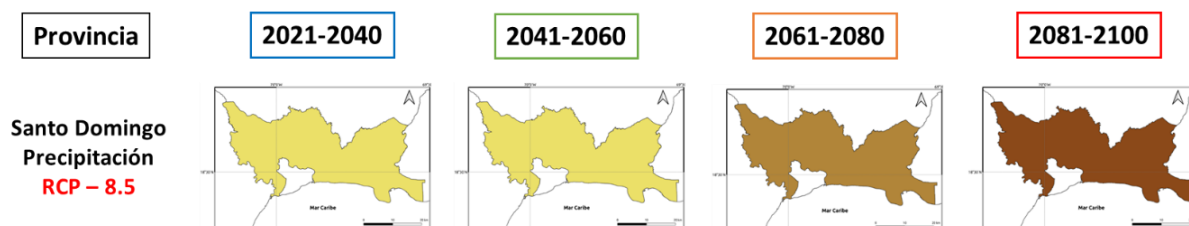


Escenarios de Cambio Climático para la República Dominicana

Documento Técnico Completo Metodología



ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA REPÚBLICA DOMINICANA



DOCUMENTO TÉCNICO COMPLETO

METODOLOGÍA

Presentado por el Consorcio:
Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe –
CATHALAC y ENERGEIA NETWORK

CONSULTORÍA PARA EL DESARROLLO DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS
DE PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA Y ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR
PARA LOS PERÍODOS 2020-2040, 2041-2060, 2061-2080 Y 2081-2100



Información de contexto

La elaboración de Los escenarios climáticos para República Dominicana hace parte de la información a considerarse en la Cuarta Comunicación Nacional de República Dominicana ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). También, su información y resultados serán considerados para la toma de decisiones en el marco de los estudios de vulnerabilidad y adaptación en los diversos sectores del desarrollo económico del país.

Considerando que no existe un conocimiento absoluto sobre el futuro, las proyecciones de los escenarios climáticos futuros ofrecen posibles alternativas sobre el estado climático de la atmósfera para una región determinada, tomando en cuenta las diversas hipótesis de partida indicadas por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC).

En esta ocasión, es el Consorcio conformado por el Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC) y ENERGEIA NETWORKS, quien, por medio de una consultoría, presenta los trabajos descritos en conjunto con el Ministerio de Medio Ambiente de República Dominicana, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Fondo Verde del Clima (GCF).

Créditos

Guillermo Eduardo Armenta Porras, Especialista en Escenarios de Clima.

Joel Pérez Fernández, Gerente de División

Freddy Picado, Director General.

CATHALAC

Omar Ramírez

Michela Izzo

ENERGEIA NETWORKS

Índice de contenido

1.	METODOLOGÍA.....	5
1.1	SELECCIÓN DE LOS MODELOS DEL PROYECTO CMIP5	5
1.2	REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN OBSERVADA DISPONIBLE	6
1.2.1	PRECIPITACIÓN	6
1.2.2	TEMPERATURAS MEDIA, MÁXIMA Y MÍNIMA	9
1.2.3	NIVEL DEL MAR.....	10
1.3	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS MODELOS GLOBALES PARA REPÚBLICA DOMINICANA	13
1.4	REDUCCIÓN DE ESCALA ESTADÍSTICA	14
1.5	MÉTODO DE ENSAMBLE DE CONFIABILIDAD PONDERADA (REA).....	15
1.6	CAMBIO DE PORCENTAJE DE LA PRECIPITACIÓN	16

Lista de Figuras

Figura 1.2.1-1. Distribución espacial de las estaciones de ONAMET (en verde) e INDRHI (en azul) con datos suficientes y confiables para Precipitación en el periodo 1981-2005. Elaboración propia.	7
Figura 1.2.2-1. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas de ONAMET con datos suficientes y confiables para las Temperaturas Media, Máxima y Mínima, considerando el periodo 1981-2005. Elaboración propia.	9
Figura 1.2.3-1. Distribución de los 1976 píxeles con datos de Temperaturas Máxima, Mínima y Media para el periodo 1983-2005, derivados de satélite CHIRTS. Elaboración propia,.....	11
Figura 1.2.3-2. Área de los datos para el cambio del nivel del mar según Copernicus para el periodo 1993-2019 (en azul), utilizados para la generación de los escenarios de cambio climático de esta variable oceánica, Elaboración propia.	12

Lista de Tablas

Tabla 1. Listado de Modelos de Circulación Global disponibles para la elaboración de escenarios de clima futuros.	6
Tabla 2. Listado de estaciones meteorológicas de ONAMET (en verde) e INDRHI (en azul) en República Dominicana, con datos suficientes y confiables para la variable de Precipitación, considerando el periodo 1981-2005.	8
Tabla 3. Listado de estaciones meteorológicas de ONAMET con datos suficientes y confiables para las Temperaturas Media, Máxima y Mínima, considerando el periodo 1981-2005.	9

1. METODOLOGÍA

1.1 SELECCIÓN DE LOS MODELOS DEL PROYECTO CMIP5

Los Modelos de Circulación General (GCM por su sigla en inglés), son una representación numérica tridimensional de la dinámica atmosférica, y por lo tanto de la circulación general alrededor del planeta. Estos modelos buscan representar procesos físicos en la atmósfera, los océanos, la criósfera y en la superficie terrestre, y en la actualidad son la herramienta disponible más avanzada que se tiene para simular la respuesta futura del sistema climático global a los aumentos en los gases efecto invernadero (IPCC, 2013).

Para la selección de los modelos a utilizar para los escenarios de Cambio Climático para República Dominicana, se realizó el inventario de los GCM disponibles en la base de datos del proyecto CMIP5, y se descargaron los datos mensuales existentes para las variables: precipitación, temperaturas (media, máxima y mínima) y aumento del nivel del mar. Se descargaron los datos de los modelos para los que existiesen datos tanto para el periodo histórico 1961-2005 como para los RCP en el periodo futuro 2021-2100, de las variables mencionadas anteriormente. Con este criterio, se tomaron los datos de 15 modelos (Tabla 1).

Además, del conjunto total de modelos del CMIP5 se evaluaron 42 modelos en el proyecto de generación de los escenarios de Cambio Climático para Colombia, dentro de la Tercera Comunicación Nacional de ese país (IDEAM et. al., 2015), y se encontró que, al analizar las variables mencionadas anteriormente, en comparación con los datos observados y/o de diversos reanálisis (ERA40, CRU, CFSR, entre otros), los modelos que mejor representan las condiciones climáticas para Colombia, Ecuador y gran parte de la región tropical de Centro y Suramérica y el Caribe son los 15 modelos seleccionados que se utilizaron en esta evaluación.

Tabla 1. Listado de Modelos de Circulación Global disponibles para la elaboración de escenarios de clima futuros.

Modelo	Institución
bcc-csm1-1-m	BCC – Beijing Climate Center, China Meteorological Administration
CCSM4	NCAR – National Center for Atmospheric Research
CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO-QCCCE – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence
FIO-ESM	FIO – The First Institute of Oceanography, SOA, China
GFDL-CM3	NOAA-GFDL – NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
GISS-E2-H	NASA-GISS – NASA Goddard Institute for Space Studies
GISS-E2-R	
HadGEM2-AO	Met Office Hadley Centre
IPSL-CM5A-LR	IPSL - Institut Pierre-Simon Laplace
IPSL-CM5A-MR	
MIROC5	MIROC – Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
MIROC-ESM-CHEM	
MIROC-ESM	
MRI-CGCM3	MRI – Meteorological Research Institute
NorESM1-ME	NCC – Norwegian Climate Centre

1.2 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN OBSERVADA DISPONIBLE

Tanto para el proceso de reducción de escala estadística como para la validación de los resultados obtenidos son necesarios datos observados. Éstos se definen como los valores de las variables meteorológicas registrados por las estaciones del mismo tipo durante determinados intervalos de tiempo. Para los estudios climáticos y de cambio climático, comúnmente se suele trabajar con datos a escala mensual, y se requiere de al menos 25 años con series completas de información.

En lo concerniente a la revisión de los datos observados entregados por la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET) y el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) de República Dominicana, se realizó la revisión para el periodo de referencia 1981-2005. Para cada variable, se hizo la revisión de las estaciones que tuviesen datos mensuales suficientes (con al menos el 85% de la información) y confiable (después del proceso de revisión de homogeneidad y control de calidad de las series) para este periodo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada variable.

1.2.1 PRECIPITACIÓN

La información entregada para esta variable corresponde a 265 estaciones, de las cuales, tras el proceso de revisión, únicamente 71 cuentan con información suficiente y confiable para el periodo 1981-2005 (Figura 1.2.1-1 y Tabla 2).

Tabla 2. Listado de estaciones meteorológicas de ONAMET (en verde) e INDRHI (en azul) en República Dominicana, con datos suficientes y confiables para la variable de Precipitación, considerando el periodo 1981-2005.

ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD
A. Herrera	-69,96670651	18,46678088
A. La Unión	-70,55000794	19,7500911
Arroyo Barril	-69,45000806	19,21678693
Azua	-70,73331714	18,45008139
Baní	-70,33331361	18,26678646
Barahona	-71,10001278	18,20008648
Constanza	-70,73287607	18,90185884
Cotuí	-70,15000848	19,05008591
El Cercado	-71,5167167	18,71678095
Hondo Valle	-71,68331254	18,71678877
Imbert	-70,83301165	19,75009136
Imaní	-71,84960309	18,48516284
La Vega	-70,53330935	19,2167884
Las Américas	-69,66626829	18,43515949
Las Matas de Farfán	-71,5167183	18,86678563
Loyola	-70,10001332	18,41674859
Mao	-71,06670997	19,55008624
Moca	-70,51671615	19,38338649
Monción	-71,15001443	19,40008968
Padre las Casas	-70,93331465	18,73338786
Polo	-71,28331153	18,06678292
Punta Cana	-68,36624595	18,56855091
Rancho Arriba	-70,45000867	18,70008597
Sabana de la Mar	-69,41625959	19,05186149
Salcedo	-70,41670866	19,36678213
Samaná	-69,32227093	19,20713301
San Cristóbal	-70,10001355	18,41678473
San Juan	-71,23289399	18,80186224
San Pedro de Macorís	-69,30000535	18,45008276
San Rafael del Yuma	-68,66670826	18,41678484
Sánchez	-69,58963791	19,22287951
Santiago	-70,69958042	19,45186609
Santiago R.	-71,33301333	19,46708532
Santo Domingo	-69,91626973	18,48516027
Villa Vásquez	-71,43301807	19,73309027

ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD
0201 Chacuey-Partido	-71,55514958	19,49075598
0404 Yaque del Norte-Santiago-Isa	-70,7454129	19,4476985
0405 Yaque del Norte-Quinigua	-70,77319126	19,52825508
0409 Yaque del Norte-El Rio-Constanza	-70,62735682	18,98241864
0410 Yaque del Norte-Manabao	-70,79402554	19,06575241
0422 Yaque del Norte-Jinamagao	-70,98291685	19,54631053
0427 Yaque del Norte-Guayubín Rincón	-71,38848003	19,52686706
0434 Yaque del Norte-La Ciénaga-Manabao	-70,86152665	19,06797452
0438 Yaque del Norte-Janey	-70,76846991	19,16936391
0440 Yaque del Norte-Cagueyes	-70,83291478	19,28769772
0442 Yaque del Norte-Juncalito	-70,82180369	19,21880831
1804 Yuna-Los Quemados	-70,45790902	18,89352874
1815 Yuna-La Angelina	-70,22179354	19,12825169
1821 Yuna-La Ceiba-Rio Blanco	-70,55735576	18,89825098
1826 Yuna-Tireo en Pinalito	-70,56124488	18,88463992
1837 Yuna-La Cabirma	-70,04845789	18,98602848
1838 Yuna-Cenovi Santa Ana	-70,34651729	19,29630793
2301 Anamuya-Anamuya	-68,64287865	18,70018967
2601 Chavón-Santa Lucia	-68,93566165	18,68796836
3002 Soco-Paso del Medio	-69,1662218	18,57963527
3302 Ozama-Cacique	-69,86345505	18,81574916
3305 Ozama-Higuero	-69,98845769	18,58241503
4001 Bani-El Recodo	-70,33957513	18,37602548
4501 Arroyo Hatillo-Hatillo Azua	-70,53846742	18,39630292
4907 Yaque del Sur-La Florida	-71,09069807	18,82964046
4910 Yaque del Sur-Cacheo	-71,11514345	18,81575142
4913 Yaque del Sur-Villarpando	-71,04680865	18,65463931
4936 Yaque del Sur-Gajo de la Lagunita	-71,10375422	18,8860298
4981 Yaque del Sur-El Chorro-Constanza	-70,7570812	18,90130634
4982 Yaque del Sur-El Limoncito	-70,83680452	18,90047343
5313 Enriquillo-Guayabal-Postrer Rio	-71,63709681	18,59630582
5402 Artibonito-Pozo Hondo	-71,48848269	18,99353108
5403 Artibonito-Puertecito	-71,51070531	18,80186293
5407 Artibonito-Ranchito Macasia	-71,61626294	18,9351969
5412 Artibonito-Cajulito	-71,5996044	19,07269462
5413 Artibonito-Guazumal Elías Piña	-71,66904089	18,87769656

1.2.2 TEMPERATURAS MEDIA, MÁXIMA Y MÍNIMA

La información disponible para estas variables corresponde a 23 estaciones de la ONAMET¹, de las cuales únicamente 14 con datos de temperatura máxima, 16 de temperatura mínima y 14 de temperatura media, cuentan con información confiable y suficiente (Figura 1.2.2-1 y Tabla 3).



Figura 1.2.2-1. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas de ONAMET con datos suficientes y confiables para las Temperaturas Media, Máxima y Mínima, considerando el periodo 1981-2005. Elaboración propia.

Tabla 3. Listado de estaciones meteorológicas de ONAMET con datos suficientes y confiables para las Temperaturas Media, Máxima y Mínima, considerando el periodo 1981-2005.

ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD	TEMPERATURA MÁXIMA	TEMPERATURA MÍNIMA	TEMPERATURA MEDIA
A. Herrera	-69,9667065	18,4667809	X	X	X
A. La Unión	-70,5500079	19,7500911	X	X	X
Arroyo Barril	-69,4500081	19,2167869	X	X	X
Barahona	-71,1000128	18,2000865	X	X	X
Constanza	-70,7328761	18,9018588		X	
Jimaní	-71,8496031	18,4851628	X	X	X
La Vega	-70,5333094	19,2167884	X	X	X
Las Américas	-69,6662683	18,4351595	X	X	X
Loyola	-70,1000133	18,4167486	X	X	X
Punta Cana	-68,3662459	18,5685509	X	X	X
Sabana de la Mar	-69,4162596	19,0518615	X	X	X
Salcedo	-70,4167087	19,3667821	X	X	X
San Juan	-71,232894	18,8018622		X	
San Pedro de Macorís	-69,3000054	18,4500828	X	X	X
Santiago	-70,6995804	19,4518661	X	X	X
Santo Domingo	-69,9162697	18,4851603	X	X	X

¹ Para estas variables no se tuvo información de las estaciones del INDRHI.

Para estas variables, si bien quizá se tiene una cantidad aceptable de estaciones, la cobertura espacial de las mismas es bastante limitada, y como se aprecia en la Figura 1.2.2-1, la parte noroccidental y gran parte del occidente y centro del país no cuentan con datos, razón por la cual, de utilizarse únicamente la información de las estaciones, se generaría una alta incertidumbre para estas zonas. Ante esta situación, se revisó la información de otras fuentes (reanálisis, de satélite, otros modelos, etc.) y se seleccionaron los datos derivados de satélite CHIRTS (*Climate Hazards Group InfraRed Temperature with Station data*), los cuales proveen datos a una resolución de 5x5 kilómetros y poseen información diaria y mensual para el periodo 1983-2016. Se realizó el proceso de extracción, ajuste y validación de las series con los datos observados para República Dominicana, y con el Modelo Digital de Elevación (DEM) de 30 metros para el país. Con ello, se logró generar series de datos para 1796 píxeles a lo largo del territorio nacional (Figura 1.2.3-1).

1.2.3 NIVEL DEL MAR

La información del aumento del nivel del se tomó a partir de los datos derivados de satélite del Servicio de Vigilancia Medioambiental Marina de Copernicus². Esta información de nivel global tiene una resolución de 1x1 kilómetros, y se tienen series mensuales tanto para el cambio del nivel del mar como otras variables oceánicas desde el año 1993 hasta la fecha. Se extrajeron las series mensuales para la costa de República Dominicana y un área de 5 kilómetros desde la línea costera hacia el interior del Mar Caribe (Figura 1.2.3-2), y las mismas fueron revisadas, validadas y ajustadas con los datos observados de 3 estaciones ubicadas en las provincias: Barahona, Puerto Plata y Punta Cana. En total se generaron datos mensuales para el periodo 1993-2019 de aproximadamente 16,308 píxeles que cubren el área mencionada anteriormente.

² <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-sea-level-global>

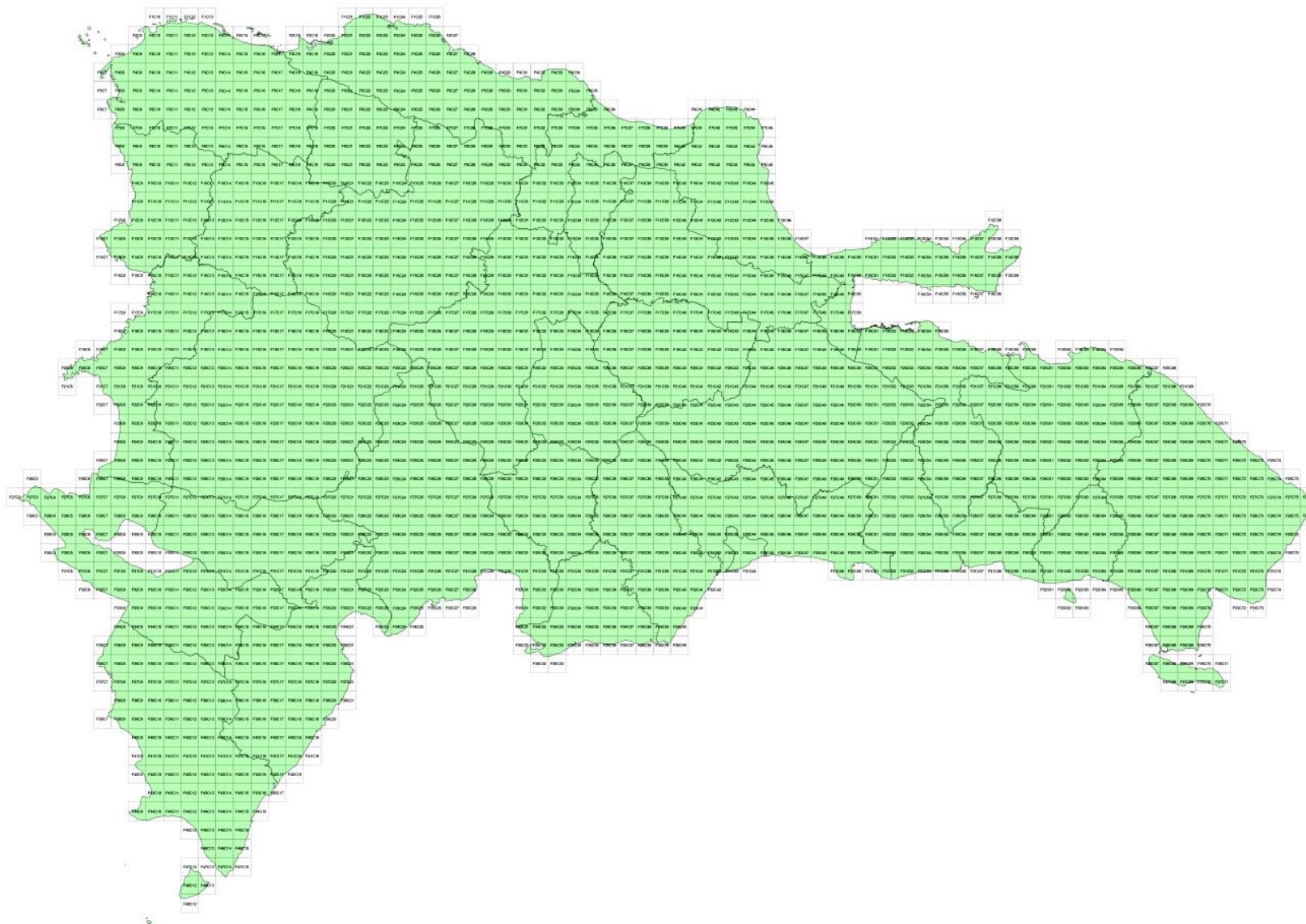


Figura 1.2.3-1. Distribución de los 1776 pixeles con datos de Temperaturas Máxima, Mínima y Media para el periodo 1983-2005, derivados de satélite CHIRTS. Elaboración propia,

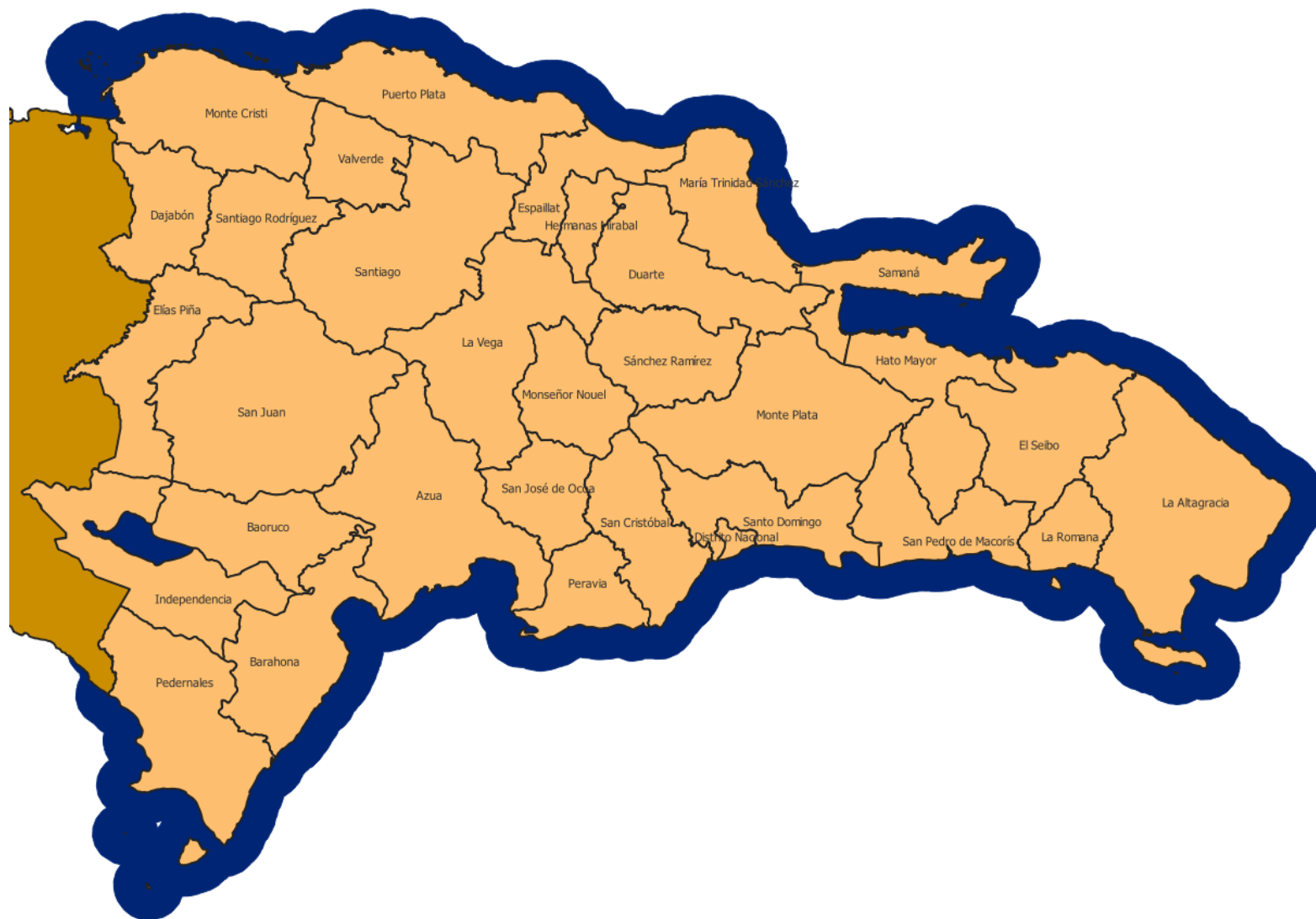


Figura 1.2.3-2. Área de los datos para el cambio del nivel del mar según Copernicus para el periodo 1993-2019 (en azul), utilizados para la generación de los escenarios de cambio climático de esta variable oceánica, Elaboración propia.

1.3 EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS MODELOS GLOBALES PARA REPÚBLICA DOMINICANA

Tomando los datos mensuales observados en el periodo 1981-2005 para las variables: Precipitación y Temperaturas Media, Máxima y Mínima, los datos mensuales observados de aumento del nivel del mar de Copernicus para el periodo 1993-2005, y los datos mensuales de los 15 modelos a utilizar (Tabla 1) para las mismas estaciones (para precipitación), pixeles de CHIRTS (para las temperaturas) y de Copernicus (para el nivel del mar), y las mismas variables e iguales periodos de referencia, se realizó la revisión de las series originales de los modelos.

Con los datos mensuales de los modelos globales en el periodo de referencia 1981-2005 para las 4 variables meteorológicas mencionadas anteriormente, y con los datos de los modelos para el periodo 1993-2005 para la variable oceánica, se realizó la evaluación del comportamiento de las mismas, comparándolas con los datos mensuales observados de las estaciones y los pixeles de CHIRTS y de Copernicus para el mismo periodo, y con base en tres métricas:

- Correlación (Indica la fuerza y la dirección de una relación lineal y de proporcionalidad entre dos variables estadísticas. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra)

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

- BIAS (Sesgo. Es una medida de exactitud. Mide la diferencia entre el valor simulado y el valor medido de la variable)

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

- RMSE (Raíz del Error Cuadrático Medio. Es una medida de desempeño cuantitativa, y consiste en la raíz cuadrada de la sumatoria de los errores cuadráticos. El RMSE amplifica y penaliza con mayor fuerza aquellos errores de mayor magnitud)

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

Para cada variable climática y oceánica, se realizó la evaluación de estas métricas a los datos de cada una de las estaciones y píxeles seleccionados, y con base en los valores de las métricas, se otorgó una ponderación a cada uno de los 15 modelos seleccionados. De igual forma, se realizó una evaluación promedio para todo el país con base en las métricas y ponderaciones de las estaciones con datos disponibles para cada una de las variables climáticas.

1.4 REDUCCIÓN DE ESCALA ESTADÍSTICA

Debido a la resolución que poseen los modelos globales, es necesario realizar un proceso de reducción de escala o downscaling con el fin de obtener series de datos a una resolución espacial adecuada para generar las proyecciones climáticas. Con los datos mensuales observados y de los 5 modelos seleccionados, se realizó el proceso de reducción de escala estadística, aplicando el método de “Corrección del Sesgo” (Pabón, 2011; Walsh, 2011; Walsh y Trainor, 2012). Con esta metodología, en términos generales, se busca reducir la diferencia entre los valores observados y los valores simulados, mediante la aplicación de un factor de ajuste a los datos simulados por los modelos globales, de la siguiente forma:

$$X_{i,j}^* = \alpha_j X_{i,j}^{\text{mod}}$$

Donde $X_{i,j}^*$ es el valor ajustado de la variable X del año i -ésimo y del mes j -ésimo; $X_{i,j}^{\text{mod}}$ es el valor simulado de la variable X del año i -ésimo y del mes j -ésimo, y α_j es el factor de ajuste para el mes j -ésimo, el cual se calcula como:

$$\alpha_j = \frac{\overline{X_j^{\text{obs}}}}{\overline{X_j^{\text{mod}}}}$$

Siendo $\overline{X_j^{\text{obs}}}$: Promedio multianual de la serie de datos observados para el mes j -ésimo; y $\overline{X_j^{\text{mod}}}$: Promedio multianual de la serie de datos simulados para el mes j -ésimo.

Para usar esta metodología, se deben tener series observadas con al menos 10 años de datos, con el fin de obtener promedios multianuales aceptables y coherentes con la variabilidad climática de cada estación.

1.5 MÉTODO DE ENSAMBLE DE CONFIABILIDAD PONDERADA (REA)

Una vez obtenidos los datos de cada modelo, el siguiente paso es obtener una única serie de proyecciones climáticas, la cual se obtiene a partir del ensamble de los mismos. Existen diversos métodos de ensamble en la literatura científica, que van desde el más básico que consiste en darle la misma ponderación o peso estadístico a cada modelo, hasta métodos que involucran otras variables climáticas y técnicas estadísticas. Para el caso de los escenarios climáticos se seleccionó el método de Ensamble de Confiabilidad Ponderada (REA - *Reliability Ensemble Averaging*) (Giorgi & Mearns, 2001; Tebaldi & Knutti, 2007). Este método de ensamble otorga ponderaciones a los modelos de circulación general teniendo en cuenta dos criterios:

- Un criterio de desempeño: Se basa en la capacidad del modelo para reproducir diferentes aspectos del clima presente. En este sentido el modelo que tenga la mejor representación del periodo de referencia tiende a ser el más confiable en las simulaciones de cambio climático.
- Un criterio de convergencia: está basado en los cambios simulados a través de los modelos para un mismo escenario de emisiones, es decir que una mayor convergencia hacia el futuro entre los modelos implica mayor confiabilidad en la señal encontrada.

Este método permite calcular el promedio y el rango de incertidumbre de las proyecciones de cambio climático regionales de diferentes conjuntos de simulaciones de los modelos con base en los dos criterios anteriores (IDEAM, 2015).

En este método, el cambio promedio $\widetilde{\Delta T}$ es dado por el promedio ponderado de los miembros del ensamble, así:

$$\widetilde{\Delta T} = \widetilde{A}(\Delta T) = \frac{\sum_i R_i \Delta T_i}{\sum_i R_i}$$

Donde R es un factor de fiabilidad de cada modelo, definido así:

$$R_i = [(R_{B,i})^m \times (R_{D,i})^n]^{1/(m \times n)}$$

$R_{B,i}$ es el factor que mide la fiabilidad del modelo como una función del sesgo del modelo o del desempeño que tiene con respecto al clima presente, y $R_{D,i}$ es un factor que mide la habilidad del modelo en términos de la distancia del cambio calculado para un modelo dado con respecto al cambio promedio de todos los modelos evaluados, es decir, cuanto mayor sea la distancia menor será la fiabilidad del modelo y viceversa. El criterio de desempeño del método REA se representa con $R_{B,i}$ mientras que el criterio de convergencia se representa con $R_{D,i}$. Los factores m y n corresponden al peso usado para cada criterio.

Utilizando los dos criterios, se realizó la ponderación de las series de cada modelo. Para el criterio de desempeño, se evaluaron las series mensuales de precipitación, y temperaturas media, máxima y mínima para el periodo de clima presente 1981-2005 de cada modelo, en relación con las series de datos observados para el mismo periodo. De igual forma se realizó para el nivel del mar, teniendo en cuenta que el periodo de referencia es 1993-2005. Mientras que el criterio de convergencia, se evaluaron las series mensuales de cada modelo para cada escenario RCP en el periodo 2021-2100, en comparación con la tendencia de los 5 modelos hacia el futuro. Se realizó la ponderación de los modelos con base en las tres métricas utilizadas en la evaluación de los modelos globales. Se hizo la evaluación de estas métricas a los datos de cada estación y cada variable, con base en ellas se otorgó un peso a cada modelo y con estas ponderaciones se hizo el ensamble multimodelo para cada uno de los escenarios.

1.6 CAMBIO DE PORCENTAJE DE LA PRECIPITACIÓN

Los datos de precipitación, tanto observada como obtenida de los modelos del CMIP5, vienen dados en milímetros/mes. De igual forma, el método de ensamble REA provee las cantidades de precipitación en estas unidades. Con el fin de poder cuantificar la reducción o incremento de las precipitaciones obtenido con el método REA respecto a la precipitación de clima de referencia sobre cada estación, fue necesario calcular el cambio de porcentaje de la precipitación del futuro con respecto a dicho clima presente. Este cálculo se conoce como Cambio de porcentaje, y se calcula como:

$$[\text{Cambio de porcentaje}] = \left[100 * \left(\frac{[\text{dato observado} \pm \text{delta del método REA}]}{[\text{dato observado}]} \right) \right] - 100$$

De esta forma es posible comparar los cambios que tendría la precipitación en cada uno de los escenarios RCP para cada estación, al cuantificar porcentualmente estos cambios con base en el volumen de lluvia que se presente en cada zona del país.