

REPÚBLICA DE PANAMÁ

MINISTERIO DE AMBIENTE

RESOLUCIÓN DM- 0151 -2023

De 14 de Agosto de 2023

Que aprueba el Manual de Procedimientos para la Generación de Escenarios de Cambio Climático de la República de Panamá

El suscrito Ministro de Ambiente, en uso de sus facultades legales, y

CONSIDERANDO:

Que el artículo 118 de la Constitución Política de la República de Panamá establece, que es deber fundamental del Estado garantizar que la población viva en un ambiente sano y libre de contaminación, en donde el aire, el agua y los alimentos satisfagan los requerimientos del desarrollo adecuado de la vida humana;

Que el artículo 119 de la Constitución Política de la República dispone que el Estado y todos los habitantes del territorio nacional, tienen el deber de propiciar un desarrollo social y económico que prevenga la contaminación del ambiente, mantenga el equilibrio ecológico y evite la destrucción de los ecosistemas;

Que el artículo 1 del Texto Único de la Ley 41 de 1 de julio de 1998, General de Ambiente de la República de Panamá, dispone que la administración del ambiente es una obligación del Estado; por tanto, establece los principios y normas básicas para la protección, conservación y recuperación del ambiente, promoviendo el uso sostenible de los recursos naturales. Además, ordena la gestión ambiental y la integra a los objetivos sociales y económicos, a fin de lograr el desarrollo humano sostenible del país;

Que la República de Panamá mediante la Ley 10 del 12 de abril de 1995, aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC); tratado internacional sobre el medio ambiente que tiene como objetivo macro la estabilización de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI), la resiliencia climática y el flujo de finanzas verdes;

Que la República de Panamá mediante la Ley 88 de 30 de noviembre de 1998, aprobó el Protocolo de Kyoto, instrumento que operativiza la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), al comprometer a los países industrializados y a las economías en transición a limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). A su vez, mediante la Ley 38 de 3 de junio de 2015, la República de Panamá aprobó la Enmienda de Doha la cual establece un segundo periodo de compromiso (2013-2020) para el Protocolo de Kioto;

Que la Ley 8 de 25 de marzo de 2015, crea el Ministerio de Ambiente, como la entidad rectora del Estado en materia de protección, conservación, preservación y restauración del ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales para asegurar el cumplimiento y aplicación de las leyes, los reglamentos y la Política Nacional del Ambiente;

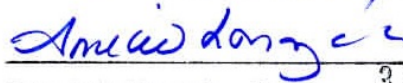
Que el Ministerio de Ambiente mediante el artículo 5 del Decreto Ejecutivo N° 135 de 30 de abril de 2021, que reglamenta el Capítulo I del Título V del Texto Único de la Ley 41 de 1 de Julio de 1998, General de Ambiente de la República de Panamá, sobre la Adaptación al Cambio Climático Global, y dicta otras disposiciones, creó el Sistema Nacional de Datos de Adaptación al Cambio Climático (SNDACC), como plataforma para la gestión, evaluación y monitoreo del riesgo climático y la vulnerabilidad al cambio climático en la República de Panamá;

Que el artículo 11 del citado Decreto Ejecutivo N° 135 de 2021, establece como una función del Sistema Nacional de Adaptación al Cambio Climático (SNDACC), el compilar toda la


REPÚBLICA DE PANAMÁ
— GOBIERNO NACIONAL —

MINISTERIO DE
AMBIENTE

FIEL COPIA DE SU ORIGINAL


Secretario General Fecha: 31 AGO 2023

información histórica disponible de todas las entidades públicas y privadas, educativas, organizaciones no gubernamentales o sin fines de lucro, sobre datos hidrometeorológicos y oceanográficos en el territorio nacional, que permitan desarrollar los escenarios futuros de cambio climático a mediano y largo plazo;

Que en la actualidad, el Cambio Climático es un fenómeno activo y una realidad incuestionable, evidente a través de una serie de fenómenos que contribuyen al aumento de la vulnerabilidad de los sistemas naturales, económicos y sociales;

Que bajo el Decreto Ejecutivo No. 3 de 8 de junio de 2023, se adopta la Política Nacional de Cambio Climático 2050, como un instrumento de gestión estratégica para promover las acciones relativas a la adaptación, mitigación y los medios de implementación ante la crisis climática.

Que la lucha contra el Cambio Climático se lleva a cabo principalmente dentro de dos grandes esferas de acción: la mitigación y la adaptación;

Que a nivel global existen regulaciones como las establecidas en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kioto, siendo estos los principales instrumentos que rigen la materia de cambio climático, de los cuales Panamá es un país signatario;

Que por medio de este Manual de Procedimiento, se busca establecer las directrices y métodos para desarrollar escenarios de cambio climático específicos bajo un contexto nacional, y de esta manera, proyectar y predecir posibles alteraciones en las condiciones climáticas del país.

RESUELVE:

Artículo 1. La Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente desarrollará cada dos (2) años los escenarios de Cambio Climático, a través de las variables meteorológicas y los escenarios por ascenso del nivel del mar, con el objetivo de alertar a la población, sectores económicos, tomadores de decisiones, sobre los futuros impactos que pudiera ocasionar el cambio climático y tomar las medidas esenciales para su mitigación.

Artículo 2. ADOPTAR el “Manual de Procedimientos para la Generación de Escenarios de Cambio Climático de la República de Panamá”, para disponer de estimaciones realistas sobre el clima futuro que permitan establecer políticas de adaptación al cambio climático, el cual forma parte integral de la presente resolución, como Anexo.

Artículo 3. Esta Resolución comenzará a regir a partir de su promulgación.

FUNDAMENTO DE DERECHO: Constitución Política de la República de Panamá, Ley 10 del 12 de abril de 1995, Texto Único de la Ley 41 de 1 de julio de 1998, Ley 88 de 30 de noviembre de 1998, Decreto Ejecutivo N° 135 de 30 de abril de 2021, Decreto Ejecutivo No. 3 de 8 de junio de 2023, demás normas concordantes y complementarias.

COMUNÍQUESE Y CÚMPLASE

Dada en la ciudad de Panamá a los catorce (14 días) del mes de agosto del año dos mil veintitrés (2023)

MILCIADES CONCEPCIÓN
Ministro de Ambiente



Ministerio de Ambiente

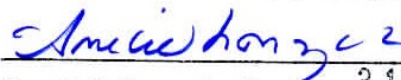
Resolución No. DM- 0151 -2023

Página 2 de 2


REPÚBLICA DE PANAMÁ
— GOBIERNO NACIONAL —

MINISTERIO DE
AMBIENTE

FIEL COPIA DE SU ORIGINAL


Secretario General Fecha: 31 ABO 2023



REPÚBLICA DE PANAMÁ
— GOBIERNO NACIONAL —

MINISTERIO DE AMBIENTE

**“MANUAL DE PROCEDIMEINTO PARA LA
GENERACIÓN NACIONAL DE ESCENARIOS
DE CAMBIO CLIMÁTICO”**

Versión N°1

**DIRECCIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO
DEPARTAMENTO DE ADAPTACIÓN Y RESILIENCIA**

2023

Contenido

Acrónimos /Siglas 1

Glosario 2

1. Introducción..... 4

 1.1 Antecedentes Globales 5

 1.2 Antecedentes Regionales 5

 1.3 Antecedentes Nacionales 5

2. Escenarios y Modelos Globales Climáticos 6

 2.1 Modelos Globales Climáticos..... 7

 2.2 Escenarios de Emisiones y Socioeconómicos 7

 2.3 Métodos de Reducción de Escala 10

 2.3.1 Reducción de escala dinámico..... 11

 2.3.2 Reducción de escala estadístico..... 11

3 Metodología..... 12

 3.1 Identificación de modelos globales climáticos 12

 3.2 Fuentes de datos..... 13

 3.3 Selección de escenarios 13

 3.4 Selección de variables de estudios..... 13

 3.5 Reducción de escala..... 13

 3.6 Línea base nacional..... 14

 3.7 Métricas 14

 3.8 Formato para presentación de resultados..... 15

 3.8.1 Escala Nacional 15

 3.8.2 Escala por regiones hidro-climáticas..... 15

 3.8.3 Estructura final (Geodatabase / Metadatos)..... 16

Conclusiones..... 17

Referencias 18

Acrónimos /Siglas

ACP	Autoridad del Canal de Panamá
CORDEX	Experimento Regional Coordinado de Reducción de Escala Climática
IMHPA	Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
FIO	Primer Instituto de Oceanografía
MiAMBIENTE	Ministerio de Ambiente
MPI	Instituto Max Planck
ESM	Modelos de Sistemas Terrestre
LR	Baja resolución
HR	Alta resolución
RCP	Trayectorias de concentración representativas
SSP	Trayectorias socioeconómicas compartidas
MCG	Modelos de circulación global
MCR	Modelos de circulación regional

Glosario

Adaptación: Proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos.

Archivo geoespacial: Se refiere a un dato con representación espacial o dato georreferenciado.

Cambio climático: Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos.

Escenario: Descripción plausible de un futuro verosímil, basada en un conjunto coherente e internamente congruente de supuestos sobre las fuerzas motrices (p. ej., el ritmo del cambio tecnológico y los precios) y sobre las relaciones más importantes. Obsérvese que los escenarios no son ni predicciones ni pronósticos, pero son útiles porque ofrecen un panorama de las consecuencias de la evolución de distintas situaciones y medidas.

Escenario de emisiones: Representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que son radiativamente activas (p. ej., gases de efecto invernadero, aerosoles), basada en un conjunto coherente de supuestos sobre las fuerzas que las impulsan (p. ej., el desarrollo demográfico y socioeconómico, la evolución tecnológica, la energía y el uso de la tierra) y las principales relaciones entre ellos.

Escenario socioeconómico: Escenario que describe un posible futuro en términos de población, producto interno bruto (PIB) y otros factores socioeconómicos relevantes para comprender las consecuencias del cambio climático.

Línea base: Es el valor que un indicador fija como punto de partida para evaluarlo y darle seguimiento.

Métrica: Es un número, una medida cuantitativa que nos sirve para medir y comparar.

Modelo climático: Representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroalimentación, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas.

Plantilla: Es un documento de mapa (. mxd) a partir del cual se pueden crear nuevos documentos. Las plantillas pueden incluir capas de mapa base o constituir un surtido de los diseños de página más utilizados.

Precipitación: En la precipitación se mide la tasa de acumulación de lluvia, por unidad de área horizontal. Una acumulación de 1mm corresponde al volumen de 1 litro por metro cuadrado de superficie.

Reducción de escala: Método consistente en extraer información de escalas local a regional (de hasta 100 km) de modelos o análisis de datos a mayor escala. Existen dos métodos principales: dinámico y empírico/estadístico.

Regiones hidroclimáticas: Regionalización en base al comportamiento de la variabilidad del clima, para fraccionar el territorio en áreas menores con características comunes.

Temperatura: Fenómeno mediante el cual, parte de las radiaciones solares que no son absorbidas por la atmósfera llegan a la superficie de la tierra, son recibidas y transformadas en calor.

Temperatura máxima: Es la mayor temperatura registrada durante un periodo de tiempo dado.

Temperatura mínima: Se trata de la menor temperatura alcanzada en un lugar en un día, en un mes o en un año y también la mínima absoluta alcanzada en los registros de temperaturas de un lugar determinado.

Vulnerabilidad: Propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación.

1. Introducción

La primera Comunicación de Cambio Climático de la República de Panamá publicada en el 2000, es donde se inicia el proceso de incorporación de la temática del cambio climático global en el planeamiento nacional para el desarrollo, posteriormente en la Segunda Comunicación de Cambio Climático de la República de Panamá en el 2011, se identifican los sectores estratégicos para el desarrollo nacional, como energía, agricultura sostenible y seguridad alimentaria; así como la elaboración del segundo inventario de gases de efecto invernadero y una estrategia nacional de mitigación; ya para la Tercera Comunicación Nacional Panamá sobre cambio climático en el 2017, se incorporan los primeros escenarios de cambio climático tomando los RCP que proyectan la rutas de mayor y menor emisión de GEI como escenarios de estudios, analizando las variables de precipitación y temperaturas máximas y mínimas.

La importancia de generar este tipo de investigación para Panamá se sustenta en que las tendencias sobre riesgo climático en la región son complejas, Centroamérica es la segunda región del mundo más vulnerable a riesgos climatológicos; después del sureste de Asia. Según la base de datos del EM-DAT CRED desde 1970- a 2011, el 69,7 por ciento de los desastres ocurridos en Centroamérica han sido originados por eventos meteorológicos correspondiendo a inundaciones, 55%, a tormentas y huracanes, 33%, a sequías 10% y a temperaturas extremas, 2% (UNISDR & CEPREDENAC, 2018).

Panamá se considera como un país altamente vulnerable a los impactos del cambio climático; experimenta una serie de eventos climáticos extremos incluyendo lluvias intensas y prolongadas, tormentas tropicales, inundaciones, sequías, incendios forestales, terremotos, deslizamientos, y eventos El Niño-La Niña, esto se evidencia en el Índice de Vulnerabilidad de Panamá publicado en febrero del 2021 (MiAMBIENTE, 2021).

Entre 1982 y 2008, Panamá fue afectado por 32 eventos de desastres naturales, con un total de daños económicos estimado por USD \$86 millones. Además, la pérdida de vidas humanas durante estos eventos llegó a un total de 249. Dada la esperada variabilidad en precipitación, producto del cambio climático es crucial mejorar la capacidad de almacenamiento para utilizar el exceso de agua de los años húmedos. Mayores periodos de altas temperaturas pueden producir olas de calor recurrentes que pueden crear impactos de salud severos incluyendo la proliferación de diversos patógenos, mayor deshidratación y otras enfermedades respiratorias (Calderón, Adriana, 2021).

Este documento presenta información sobre los procesos para generar escenarios de cambio climático, así como la metodología y los procedimientos utilizados en la actualización de los escenarios de cambio climático publicados en la República de Panamá en 2022 incluidos en la Cuarta Comunicación Nacional de Cambio Climático. De acuerdo con las directrices, los escenarios deben actualizarse cada dos años, al igual que la metodología, los modelos y las fuentes de información utilizados.

1.1 Antecedentes Globales

En 1988 se creó el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 1990 este grupo presentó un primer informe de evaluación en el que se reflejaban las investigaciones de 400 científicos. En él se afirmaba que el calentamiento atmosférico de la Tierra era real y se pedía a la comunidad internacional que tomara cartas en el asunto para evitarlo.

Las conclusiones del IPCC alentaron a los gobiernos a aprobar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En comparación con lo que suele ocurrir con los acuerdos internacionales, la negociación en este caso fue rápida. La Convención estaba lista para firmar en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que se celebró en 1992 en Río de Janeiro, conocida como Cumbre para la Tierra.

Hoy en día el IPCC tiene una función claramente establecida. En vez de realizar sus propias investigaciones científicas, examina las investigaciones realizadas en todo el mundo, publica informes periódicos de evaluación (hasta ahora han sido cuatro) y elabora informes especiales y documentos técnicos.

Las observaciones del IPCC, por el hecho de reflejar un consenso científico mundial y ser de carácter apolítico, representan un contrapeso útil en el debate, con frecuencia muy politizado, sobre qué se debe hacer con respecto al cambio climático. Los informes del IPCC se utilizan con frecuencia como base para las decisiones adoptadas en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y desempeñaron un papel importante en las negociaciones que dieron lugar al Protocolo de Kyoto.

1.2 Antecedentes Regionales

En el caso particular de la región Centroamericana, es considerada altamente vulnerable por su ubicación geo climática en un istmo estrecho entre dos continentes y entre los océanos Pacífico y Atlántico. La región es recurrentemente afectada por sequías, ciclones y el fenómeno El Niño-Oscilación Sur (CEPAL, 2012).

De igual manera, dentro de la Estrategia Regional de Cambio Climático de Centroamérica (2010) se enumeran claramente los principales impactos que tiene y tendrá el cambio climático en esta región: Incremento de la vulnerabilidad y eventos extremos, inseguridad alimentaria, deforestación, pérdida de ecosistemas y disponibilidad de agua (Martínez, s.f.).

1.3 Antecedentes Nacionales

Panamá se suma a los esfuerzos globales para abordar el cambio climático al firmar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). A raíz de esta importante firma, el país canalero se embarca en un proceso significativo de incorporación de la temática del cambio climático a nivel nacional, marcando así el inicio de un esfuerzo coordinado y comprometido para abordar este desafío global.

La primera Comunicación de Cambio Climático de la República de Panamá representa un hito en este proceso. En esta etapa inicial, se establecen los cimientos para la integración de la adaptación y mitigación del cambio climático en la planificación nacional para el desarrollo. Posteriormente, en la segunda comunicación, se identifican sectores estratégicos clave para el desarrollo nacional y se lleva a cabo la elaboración del segundo inventario de gases de efecto invernadero. Además, se formula una estrategia nacional de mitigación, consolidando así los esfuerzos panameños para abordar los desafíos climáticos de manera integral.

En la tercera Comunicación de Cambio Climático de Panamá, se da un paso adelante al incorporar los primeros escenarios de cambio climático. Estos escenarios, basados en los RCP (Representative Concentration Pathways) óptimo y menos óptimo, se utilizan como marco de estudio para analizar las variables clave, como precipitación y temperaturas máximas y mínimas. Esta fase marca una evolución importante en la respuesta de Panamá al cambio climático, al permitir una comprensión más profunda de sus posibles impactos y la formulación de estrategias más efectivas de adaptación y mitigación.

Hasta la fecha, Panamá ha presentado un total de cuatro comunicaciones nacionales en el contexto de su compromiso con la lucha contra el cambio climático. En la cuarta comunicación nacional, presentada en agosto de 2024, se ponen de manifiesto los resultados obtenidos a través de diversas herramientas de gestión en las que el país se apoya para diseñar e implementar políticas y medidas relacionadas con la adaptación y resiliencia frente al cambio climático, tanto a nivel nacional como local. Entre estas herramientas se destacan el Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático, la Guía Técnica Comunitaria utilizada para recopilar información y evaluar la vulnerabilidad, el riesgo climático y la resiliencia, los Escenarios de Cambio Climático a largo plazo (Visión 2030-2050-2070), los Mapas de Amenazas Climáticas, y la Base de Datos de Dinámicas Marinas en las Costas Panameñas. Estos elementos representan recursos fundamentales para la toma de decisiones informadas y eficaces en la gestión del cambio climático en el país.

2. Escenarios y Modelos Globales Climáticos

Cuando abordamos el análisis del cambio climático a través de la exploración de escenarios de cambio climático, es esencial considerar aspectos interrelacionados que se desarrollan de manera conjunta. En esta sección, se introduce el concepto de modelos globales climáticos y se examinan los escenarios presentados en los informes de evaluación elaborados por el IPCC.

2.1 Modelos Globales Climáticos

Según el IPCC, los modelos climáticos globales son representaciones numéricas del sistema climático, que puede ser representado con diferentes niveles de complejidad, y se utilizan como una herramienta de investigación, para estudiar y simular el clima (ao & Song, 2020). Los modelos climáticos trabajan con la resolución de ecuaciones de las leyes y principios de la física, que contemplan los procesos de cada componente del sistema climático (atmósfera, hidrosfera, criosfera, biosfera y litosfera). El uso de los modelos climático se da mayormente para fines operativos en particular predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales. La información que brinda los modelos climáticos globales es apropiada para la toma de decisiones a una escala internacional, como lo son las reuniones e informes periódicos por parte del IPCC, no obstante, la resolución que ofrecen no es apropiada para la toma de decisiones de un país determinado o una ciudad. El IPCC ha argumentado que, si bien los modelos climáticos globales han mejorado sus esquemas, aún existen fuerzas de cambio como la tecnología, políticas, en la agricultura, educación, la economía. Estos factores exponen retos ante la incertidumbre que plantean (MiAMBIENTE, 2019).

Para modelos climáticos globales, tenemos modelos que pueden realizar cálculos de los cambios en la temperatura media mundial y el aumento del nivel del mar debido a la dilatación media térmica con modelos sencillos (MCS). Existen los modelos climáticos terrestres (EMIC), estos integran dinámicas de circulaciones atmosféricas y oceánicas, donde incluyen a menudo representaciones de ciclos biogeoquímicos. Estos modelos son usados para estudiar el cambio climático a un nivel continental, y sus efectos a largo plazo.

Para la construcción de escenarios climáticos se han utilizados los modelos de circulación general atmósfera-oceano. Estos modelos tienen una representación tridimensional de un modelo de circulación general de la atmósfera acoplado a otro de circulación general del océano. Caracterizan el clima global con una resolución horizontal que varía entre 250 y 600 km para distintas capas verticales, entre 10 y 20 capas en la atmósfera y hasta 30 en los océanos (IDEAM, 2010).

Los modelos de circulación general atmósfera-oceano no se limitan a simular el clima pasado y presente; también tienen la capacidad de proyectar la influencia antropogénica en el clima futuro. Estas proyecciones se basan en diversos escenarios de emisiones que proporcionan estimaciones a largo plazo de todos los gases de efecto invernadero. Estos escenarios se utilizan como agentes de forzamiento radiativo en las simulaciones de los modelos para períodos futuros, con el propósito de prever los posibles cambios en el clima por venir (IDEAM, 2010).

2.2 Escenarios de Emisiones y Socioeconómicos

Para entrar en contexto acerca de escenarios de emisiones que se utilizaron en la confección de los escenarios para Panamá se definen y explican las trayectorias de concentración

representativas (RCP por sus siglas en inglés) y las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP, por sus siglas en ingles), utilizadas en el sexto informe de evaluación por parte del IPCC.

Los científicos han utilizado los modelos climáticos para el desarrollo de escenarios de cambio climático bajo las directrices desarrolladas desde el 2007 por el IPCC, en su informe AR4. Estos se plantean como una herramienta para aumentar el conocimiento y poder hacerse las preguntas necesarias para entender como las acciones pasadas y futuras afectarían el sistema climático. Los escenarios de cambio climático se definen como una “representación coherente, internamente consistente y plausible de un posible estado del futuro”. Es decir, se crean y modelan futuras alternativas como estrategias para entender y explorar estrategias de cambio, para entender cómo se asocian las distintas dimensiones socioeconómicas y la manera en que éstas dan forma al futuro climático. Estos escenarios examinan como se dará el cambio en las condiciones climáticas en el futuro como la temperatura, precipitación y otros fenómenos climáticos (IPCC, Cambio Climático. Informe de Síntesis , 2007).

Siguiendo esta línea, los escenarios de emisión proveen de información necesaria a los escenarios climáticos.

Las RCP se definen como “series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de GEI y aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo y la cubierta terrestre”.

Para las diferentes trayectorias se proyectan diferentes forzamientos radiativos calculados en base a factores como tamaño de la población, la actividad económica, el estilo de vida, el uso de la energía, los patrones de uso del suelo, la tecnología y la política climática.

Tabla 1: Trayectorias de concentración representative.

Trayectoria de concentración representativa (RCP)	Proyección de forzamiento
RCP2.6	el forzamiento radiativo alcanza el valor máximo a aproximadamente 3 W m ⁻² antes de 2100 y posteriormente disminuye
RCP4.5 Y RCP6.0	Son dos trayectorias donde se da la estabilización intermedia en las cuales el forzamiento radiativo se estabiliza a aproximadamente 4,5 W m ⁻² y 6 W m ⁻² después de 2100.
RCP8.5	Trayectoria alta para la cual el forzamiento radiativo alcanza valores superiores a 8,5 W m ⁻² en 2100 y sigue aumentando durante un lapso.

Fuente: IPCC, 2014; Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

En el sexto informe de evaluación del IPCC (AR6) se incluyeron los SSP. Estas son la descripción de las alternativas al futuro del desarrollo económico. Estas proponen considerar

la evolución de las diferentes economías, los niveles de desigualdad al futuro, los cambios demográficos y tecnológicos, entre otras consideraciones.

Un aspecto importante de los SSP es entender las dos narrativas que las acompañan en ambas dimensiones, la primera son los desafíos que las condiciones socioeconómicas representan a la adaptación, y la segunda son los retos que representarían en mitigación. La definición de cada ruta:

- **SSP1 tomando el camino verde (bajos desafíos para la mitigación y adaptación):** es un escenario de sustentabilidad, se proyecta un camino sostenible donde se da un desarrollo más igualitario, donde se supone un bajo crecimiento poblacional, un alto crecimiento económico, altos niveles de educación, gobernabilidad y una sociedad avanzada, cooperación internacional, desarrollo tecnológico y conciencia ambiental.
- **SPP2 desafíos medios para la mitigación y la adaptación:** este escenario se considera un intermedio entre los supuestos de los SSP1 Y SSP3. Se proyecta un desarrollo económico, tecnológico y social que no se aparta del desarrollo histórico.
- **SSP3 altos desafíos para la mitigación y la adaptación:** el escenario de fragmentación, en este escenario se supone un alto crecimiento población, un bajo crecimiento económico, niveles inferiores de educación, una sociedad regionalizada y con poca conciencia ambiental. Se proyecta un incremento en las preocupaciones, pero a nivel nacional, donde se espera que los países sean empujados a preocuparse cada vez más por cuestiones internas o regionales. Donde existan bajas preocupaciones internacionales por el cuidado del medio ambiente, que produzca como resultado la degradación ambiental de ciertas regiones.
- **SSP4 un camino dividido (bajos desafíos para la mitigación, altos desafíos para la adaptación):** el escenario de desigualdad, donde se supone que la tecnología, la economía y la educación avance solo en los países desarrollados, pero no necesariamente toda la población se beneficiaría de esto, resultando en una sociedad desigual y estratificada tanto a nivel nacional como internacional.
- **SSP5 altos desafíos para la mitigación, bajos desafíos para la adaptación:** en este escenario se asume que la población aun tendría una alta dependencia a los combustibles fósiles, donde se tendría un bajo crecimiento poblacional, un elevado crecimiento económico y un alto desarrollo humano. Pero basado en una sociedad que se basa en el uso de los combustibles fósiles, y un alto consumo de energía (CIIFEN, 2022).

Tabla 2: Matriz de trayectorias de forzamiento radiativo (RCP) y vías socioeconómicas (SSP).

Escenario demográfico (SSP)	Crecimiento de la población mundial (miles de millones)	Población mundial (miles de millones)	Escenario climático		
			RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
			aumento medio de la temperatura global proyectada de ~ 1,5 ° C	-	aumento medio de la temperatura global proyectada de ~ 3,2 ° C
			Fuera del "nicho climático humano" (bn)	Fuera del "nicho climático humano" (bn)	Fuera del "nicho climático humano" (bn)
Crecimiento cero	0,00	7.26	1,06 ± 0,30	1,62 ± 0,42	2,37 ± 0,43
SSP1	0,98	8.24	1,20 ± 0,34	1,84 ± 0,48	2,69 ± 0,49
SSP2	2,20	9.46	1,38 ± 0,39	2,12 ± 0,55	3,09 ± 0,56
SSP3	3,88	11.14	1,63 ± 0,46	2,49 ± 0,65	3,64 ± 0,66
SSP4	2,20	9.46	1,38 ± 0,39	2,12 ± 0,55	3,09 ± 0,56
SSP5	1,21	8.47	1,24 ± 0,35	1,89 ± 0,49	2,76 ± 0,50

Fuente: Ministerio de Ambiente de Panamá. (2022). Informe sobre los escenarios de cambio climático para la República de Panamá para los periodos 2030, 2050, 2070 considerando dos vías socioeconómicas: SSP126 Y SSP585. Panamá.

Para obtener una visión más completa del futuro, se integran las RCP con las SSP. Estas se organizan en una matriz donde los SSP se ubican en las filas y las RCP en las columnas, permitiendo la combinación de diversos escenarios posibles para el futuro. Debido a estas combinaciones, no es factible prever un único escenario, sino que es esencial considerar un conjunto de ellos que se ajusten a una narrativa específica. Cada nuevo escenario se forma en base a una combinación de una trayectoria socioeconómica y una trayectoria de emisiones, las cuales se alinean con las narrativas y proyecciones correspondientes.

2.3 Métodos de Reducción de Escala

Para muchas aplicaciones, particularmente aquellas a escala subnacional o local, la información regional sobre el cambio climático proporcionada por los Modelos Globales ha

resultado insuficiente. Por lo tanto, se requieren técnicas de reducción de escala para proporcionar más información regional en escenarios de cambio climático.

Para obtener resultados más detallados y específicos de los modelos globales, se pueden aplicar dos enfoques: el modelado climático regional y la reducción de escala estadística. El modelado climático regional, conocido como RCM (Regional Climate Model), opera a una resolución más fina, típicamente de 50 km × 50 km, y utiliza los resultados de los modelos globales como condiciones de contorno para realizar simulaciones más detalladas de los procesos climáticos relevantes en una región geográfica específica. Por otro lado, los métodos estadísticos de reducción de escala proporcionan proyecciones de variables climáticas locales al emplear índices de circulación a gran escala simulados por el modelo global, pero mejorados, y establecer relaciones estadísticas entre estos índices y las variables meteorológicas locales durante un período de referencia. La reducción de escala estadística tiene la capacidad de generar proyecciones climáticas para ubicaciones específicas (PNUD, 2006).

En síntesis, existen dos enfoques principales para la reducción de escala: la reducción de escala dinámica, también conocido como regionalización dinámica, emplea modelos climáticos regionales con una resolución de aproximadamente 25 km (dependiendo del modelo utilizado), centrados en una región geográfica específica y acoplados con modelos globales que proporcionan las condiciones iniciales para simulaciones de mayor resolución. Por otro lado, la reducción de escala estadística, o regionalización estadística, se basa en modelos empíricos para establecer relaciones estadísticas entre las predicciones globales de los modelos globales y las características climáticas locales bien conocidas, como los datos observados en puntos específicos.

2.3.1 Reducción de escala dinámico

Para aplicar métodos de reducción de escala dinámica, es fundamental tener en consideración la elección del modelo regional, o incluso múltiples modelos, como se recomienda en la literatura especializada. Es esencial evaluar la capacidad de estos modelos seleccionados para representar de manera precisa las condiciones climáticas actuales de la región, así como calcular el nivel de incertidumbre asociado a su representación. Además, es necesario incorporar en estos modelos regionales de cambio climático las condiciones de frontera derivadas de los modelos globales, junto con información adicional relevante del país, como topografía, uso del suelo y condiciones climáticas locales.

Es importante subrayar la necesidad de cuantificar la incertidumbre en los resultados que se presenten. La reducción de escala dinámica, si bien es un enfoque efectivo, suele ser más costosa y requiere un mayor nivel de conocimiento y experiencia para calibrar los modelos y analizar los resultados obtenidos.

2.3.2 Reducción de escala estadístico

En el empleo de métodos de reducción de escala estadística, es esencial elegir la técnica estadística adecuada en función de la disponibilidad de datos. Se deben seleccionar puntos de observación estratégicos que aseguren una representación completa de la región que se desea proyectar, garantizando además que las series de datos abarquen un período mínimo

de 20 a 30 años y mantengan una alta calidad y homogeneidad. Además, es fundamental cuantificar la incertidumbre asociada a los resultados obtenidos.

Cabe destacar que la reducción de escala estadística representa un enfoque más económico y menos exigente en términos de recursos económicos y tecnológicos. Sin embargo, se basa en la suposición de relaciones estadísticas estacionarias entre las variables proyectadas a lo largo de los horizontes temporales, lo que es importante tener en cuenta al interpretar los resultados.

3 Metodología

En esta sección, se presenta el procedimiento utilizado para la generación de los nuevos escenarios de emisiones diseñados para la IV comunicación de cambio climático de la República de Panamá, esta información se presentó de manera estacional e interanuales, ofreciendo la posibilidad de anticipar, los daños o efectos de la variabilidad de las temperaturas máximas, temperaturas mínimas y precipitaciones; como consecuencia de la emisión de gases de efecto invernadero debido a la actividad humana descontrolada.

Para cada actualización es importante señalar, que la presente metodología es una guía, pero esta debe ser revisada y actualizada bajo las más recientes directrices que se tengan por parte del IPCC, con respecto a los escenarios, modelos y técnicas a utilizar.

3.1 Identificación de modelos globales climáticos

Primeramente, se realiza una revisión y análisis de fuentes bibliográfica para comprender ¿Que son los modelos climáticos globales? ¿Para qué sirven los modelos climáticos globales? Y ¿Qué modelos climáticos globales puedo utilizar para mí estudio?

La selección de los modelos de cambio climático utilizados fue basada en los modelos que más se acercan a las realidades climáticas de la región centroamericana según el estudio realizado por (Zhang, Zhongfeng, Ying, & Guo, 2021). Este estudio evaluó el rendimiento y la interdependencia de los modelos globales climáticos de la Fase 6 del Proyecto de Inter comparación de Modelos Acoplados (CMIP6) en términos de siete campos impulsores clave a gran escala en ocho dominios CORDEX “Coordinated Regional Downscaling Experiment” para América Central (C-AM), América del Norte (N-AM), Europa (EURO), Sur de Asia (S-AS), Este de Asia (E-AS), Australasia (AUS), Medio Oriente África del Norte (MENA), y el Sudeste de Asia (SEA). Se trabajo con 3 modelos que se acoplaron de mejor manera a la región centroamericana, dentro de la cual se encuentra Panamá.

Tabla 3: Modelos globales climáticos seleccionados.

Centro Modelador	Modelo	Institución
FIO-ESM-2-2	FIO-ESM	First Institute of Oceanography Earth System Model version 2.0, China
MPI-ESM1-2-HR	MPI-ESM	Max Planck Institute Earth System Model, Higher-resolution, Germany
MPI-ESM1-2-LR		Max Planck Institute Earth System Model, Low-resolution, Germany

Fuente: worldclim.org

3.2 Fuentes de datos

Posterior a la selección de los modelos climáticos, se procedió a la descarga de datos a través de la página Wordclim.org (Wordclim, s.f.). Esta es una herramienta en línea que permite acceder y explorar información climática y datos relacionados con el clima de todo el mundo. Se utiliza principalmente para consultar y visualizar datos climáticos históricos, proyecciones climáticas futuras, y otros recursos climatológicos. Wordclim es una herramienta útil para investigadores, científicos, planificadores y profesionales en diversas disciplinas que requieren información climática para tomar decisiones informadas y realizar análisis climáticos. Además, facilita el acceso a datos de alta calidad y contribuye a una comprensión más profunda de los patrones climáticos y sus efectos en diversas regiones del planeta. La información se descargó en formato tiff en una resolución espacial de 30 segundos, que aproximadamente es de un 1km, tomando en cuenta las variables climáticas más estudiadas para la región de Centroamérica, temperaturas mínimas (tn), temperaturas máximas (tx) y precipitación (pr).

3.3 Selección de escenarios

Para efectos de este estudio, nos basamos en la actualización del último informe de la IPCC (AR6), es por ello, que se tomó como referencia los escenarios socioeconómicos (SSP) y la vía de concentración representativas (RCP), lo que se realizó en este nuevo informe es agrupar o unir los posibles escenarios socioeconómicos con los escenarios de las emisiones de gases de efecto invernadero, dando como resultado la información obtenida a partir de los modelos seleccionados proyectados en dos vías socioeconómicas, ssp126 y el ssp585.

3.4 Selección de variables de estudios

Para este estudio se seleccionaron 3 variables climáticas, precipitación, temperaturas mínimas y temperaturas máximas, resaltando que, a nivel nacional, estas variables son las más estudiadas y de las cuales cuentan con la mayor calidad de datos. Debido a esto, se procede a la descarga de datos bajo los 3 modelos seleccionados, para visualizar la calidad de información utilizamos software SIG como el Saga Gis de código abierto, ArcGIS o ArcGIS-PRO para la obtención de las estadísticas de cada variable climática en tres bases: valores máximos, promedios y valores mínimos, a una escala Nacional y a una escala regional en tres periodos de tiempo, 2030, 2050 y 2070.

3.5 Reducción de escala

Para esta sección, se debe determinar el método más apropiado para realizar la reducción de escala a la información obtenida de la salida de los modelos globales seleccionados. Posteriormente se realiza la reducción de escala estadística a las variables climáticas de temperaturas mínimas, máximas y a las precipitaciones, utilizando software de Sistemas de Información Geográfica donde se realizó a través de un una interfaz de secuencias de comandos R con el software de código abierto “SAGA-GIS”. Este interfaz genera dinámicamente funciones R (estadísticas), para cada herramienta de geoprocasamiento “SAGA-GIS”, lo cual permite múltiples aplicaciones.

Haciendo referencia a la reducción de escala sobre los ráster en formato TIFF descargado, de un 1 km se redujo a 30 m, esto se realizó utilizando el Software R y aplicando predictores para la variable temperatura, el predictor utilizado es un Modelo Digital de Elevación DEM, ya que, analizando el comportamiento de las temperaturas de Panamá, que prácticamente varían a diarios, estas están ligadas a las alturas, por ejemplo, en las costas mantenemos un nivel de temperatura alta y a medida que aumentamos de altitud la temperatura comienza descender, y es aquí el motivo de utilizar un predictor de Modelos digital de elevación.

Cabe resaltar que, para determinar la variable precipitación para Panamá es necesario identificar si la región tiene un impacto orográfico donde podamos determinar o modelar las precipitaciones, utilizando Modelo Digital de Elevación y solo de esta forma podemos utilizar un modelo de pendiente, para realizar la reducción de escala como predictor.

Por consiguiente, toda esta información obtenida del Modelos Digital de elevación, primero: se descargó, luego se clasificó, se eliminaron valores negativos y que posteriormente se pueda aplicar la reducción de escala.

3.6 Línea base nacional

Una vez descargada y agrupadas toda la información de las variables con sus valores máximos y mínimos extraídos, tenemos que analizar, utilizando datos o línea base (referencia) estudiada, clasificada y actualizada de un periodo de 30 años, para esto se tomó la información de 2 fuentes:

- 1. Tercera Comunicación de Cambio Climático (MiAMBIENTE, 2019)
- 2. Estudio de proyecciones climáticas realizada por una estudiante de la Universidad Técnica de Desdén, Alemania (Aguilar A. , 2021). Este autor se basó en la publicación denominada “Una nueva Regionalización Climática de Panamá como aporte a la seguridad hídrica” (Aguilar, Salazar, & Pérez, 2016).

Tabla 4 base de temperaturas y precipitación para la República de Panamá (1980-2014).

REGIONES HIDROCLIMÁTICAS	Precipitación (mm)			Temperaturas Máximas (°C)	Temperaturas Mínimas (°C)
	Valor Máximo	Promedio	Valor Mínimo		
Caribe Occidental	4 530.00	3 900.00	3 100.00	29.56	22.05
Pacífico Occidental	3 800.00	3 100.00	2 200.00	28.77	19.40
Arco Seco	1 722.00	1 400.00	1 200.00	31.11	23.13
Región Central	3 348.00	2 500.00	1 736.00	31.96	23.49
Caribe Oriental	3 248.00	1 360.00	500.00	31.46	22.98
Pacífico Oriental	3 435.00	1 700.00	1 360.00	31.47	22.52

Fuente: (A. Aguilar 2021)

3.7 Métricas

Para la definir las métricas o unidades de medidas de cada dato, mapa y variables, primeramente, es necesarios verificar y evaluar los modelos climáticos seleccionados para cada variable estudiada, haciendo referencia al informe de escenarios de cambio climático

para la república de Panamá, la información tiff que se obtuvo a través de la página de WorldClim fue definida en el sistema Geodésico Mundial de 1984, Proyección Universal Transversal de Mercator Zona 17 Norte. Las variables son expresadas en grados centígrados (°C) para las temperaturas y en milímetros (mm) para las precipitaciones.

3.8 Formato para presentación de resultados

Los resultados de los escenarios climáticos se deben ofrecer en una escala nacional y a una escala por región hidroclimática, estos deberán ser presentados con sus datos correspondientes indicando los valores promedios, máximos y mínimos estimados, para cada variable estudiada (precipitación, temperatura máximas y mínimas) y para cada periodo estudiado (2030, 2050 y 2070).

3.8.1 Escala Nacional

Al generar escenarios a una escala nacional se debe tomar en cuenta las características geográficas del País, donde la variabilidad del clima afecta a diferentes sectores, por lo tanto, es importante realizar estos análisis ya que de esta manera podemos realizar estrategias a corto y largo plazo.

3.8.2 Escala por regiones hidro-climáticas

Panamá está dividida en 6 regiones hidroclimáticas determinadas por su precipitación media anual, temperatura máxima y temperatura mínima. Esta clasificación fue realizada por el Centro del Agua y del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC) en 2016 (Aguilar, Salazar, & Pérez, 2016). Para la realización de esta clasificación, los autores (Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe y Ministerio de Ambiente 2017) tomaron en cuenta 48 estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo del territorio nacional, presentando un periodo de datos homogéneos entre 1980 a 2014. Los resultados de este estudio se presentan en base a las regiones hidro climáticas de Panamá, las regiones se presentan a continuación:

- *Región Caribe Occidental:* Esta región abarca toda la porción caribeña desde Bocas del Toro, parte de comarca Ngäbe-Bugle, Veraguas y costa abajo de Colón. *Región Pacífico Occidental:* Esta región cubre Chiriquí, parte interior de comarca Ngäbe-Bugle, interior y sur de Veraguas, porción oeste de Herrera y Los Santos.
- *Región del Pacífico Central:* Esta región incluye las porciones este de Los santos, Herrera, sur de Coclé y sur de gran parte de Panamá Oeste. (Arco Seco de Panamá).
- *Región Central:* Esta región abarca toda la porción del centro del territorio de las provincias de Coclé, Panamá oeste, Panamá metro y resto de la provincia de Colón hasta su frontera con comarca Guna Yala.
- *Región Pacífico Oriental:* Esta región comprende gran parte de la provincia de Panamá este, comarcas Madugandí, Wargandí, las Emberá Wounaan y Darién.

- *Región Caribe Oriental:* Esta región se refiere solo la porción que cubre la comarca Guna Yala.

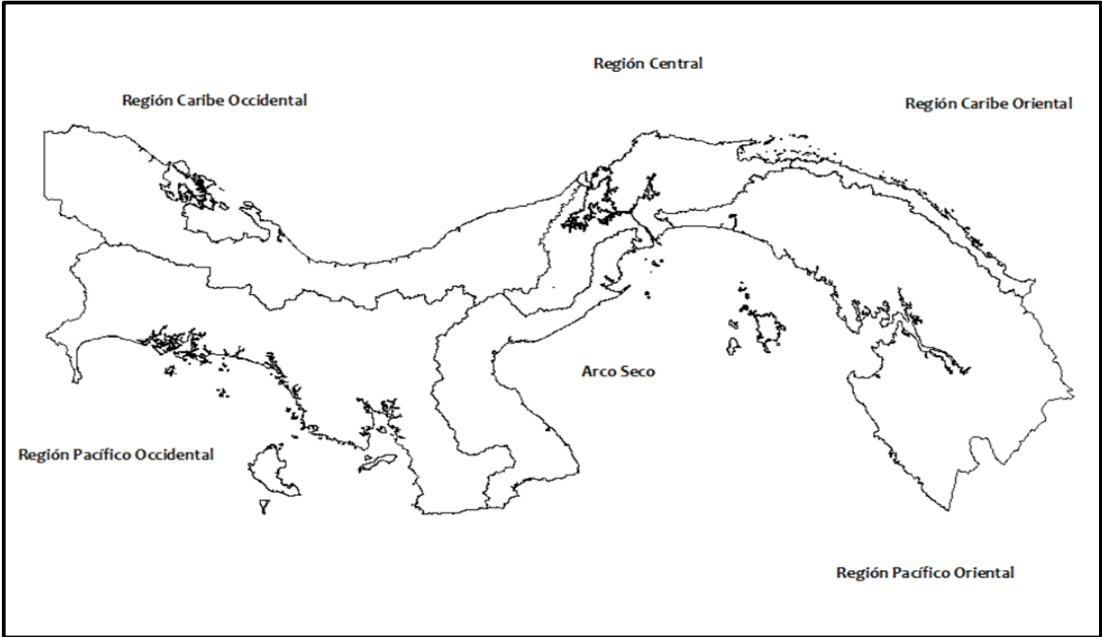


Figura 1: Regiones hidroclimáticas. Fuente: Ministerio de Ambiente de Panamá, 2022. Informe sobre los escenarios de cambio climático para la República de Panamá para los periodos 2030, 2050 y 2070 considerando dos vías socioeconómicas: ssp126 y ssp585.

3.8.3 Estructura final (Geodatabase / Metadatos)

La información final a entregar debe estar cuidadosamente organizada en una base de datos (Geodatabase), que incluya tanto datos ráster como vectoriales con sus respectivos feature data sets y feature classes, además de los mapas generados en diversos formatos existentes.

En cuanto a los metadatos, es esencial que toda la información generada, tanto en formato ráster como vectorial, esté acompañada de metadatos completos conformes al perfil Lamp v2. Esto garantizará un control de calidad óptimo tanto en el ámbito interno como externo al momento de producir subproductos a partir de la información entregada.

Conclusiones

Es importante contar con un manual de procedimientos para establecer el paso a paso para la generación de escenarios de cambio climático en la república de Panamá. La estandarización de este tipo de iniciativas organiza de manera sistemática todos los procesos requeridos para obtener resultados óptimos y de calidad que ayuden al investigador realizar de manera eficiente su análisis climático

Los escenarios climáticos son herramientas esenciales que nos ayudan a comprender y anticipar las condiciones futuras, lo que a su vez nos permite tomar medidas y prepararnos para afrontar estos cambios. Asimismo, nos brindan la base necesaria para trabajar en la construcción de una sociedad resiliente y con bajas emisiones. Esto se logra a través de la realización de talleres de sensibilización y talleres técnicos para fortalecer capacidades, involucrando a la sociedad en nuestros proyectos y haciendo que sean parte activa de este proceso de transformación.

Es imperativo comprender que las proyecciones climáticas son números que nos orientan en la planificación y en la preparación para adaptarnos a las variaciones de temperatura, ya sean aumentos o disminuciones, sin embargo, estas no representan predicciones del clima, si no proyecciones. Panamá debe mantenerse al tanto de las últimas metodologías establecidas a nivel internacional por las organizaciones líderes en esta materia y actualizar sus escenarios en consecuencia. Esto asegurará que el país esté preparado para afrontar los desafíos climáticos que se avecinan.

Referencias

Aguilar, A. (2021). Downscaling Climate Change Projections for Panama using Machine Learning. *Master Thesis, Dresden Germany*.

Aguilar, G., Salazar, L., & Pérez, J. (2016). Una nueva regionalización climáticas de Panamá como aporte a la seguridad hídrica . *CATHALAC*.

ao, Y., & Song, Z. y. (2020). fio-ESM versión 2.0: descripción y evaluación del modelo.

Calderón, Adriana. (2021). *Cambio Climático y Vulnerabilidad Soscial. El caso de Panamá y la pandemia*. Obtenido de EFEverde.

CEPAL. (2012). *La economía del cambio climático en Centroamérica*.

CIIFEN. (2022). *Escenarios y Proyecciones*. Obtenido de <https://ciifen.org/escenarios-y-proyecciones/>

IDEAM. (2010). *Guía de procedimientos para la generación de escenarios de cambio climático regional y loca a partir de modelos globales*.

Martínez, A. (s.f.). *Centroamérica se adapta al cambio climátic por su salud*. Obtenido de Red de Comunicación en Cambio Climático: <https://latinclima.org/centroamerica-se-adapta-al-cambio-climatico-por-su-salud>

MiAMBIENTE. (2019). *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Panamá*. Obtenido de <https://online.fliphtml5.com/eebm/ssel/>

MiAMBIENTE. (2021). *Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático de la República de Panamá*.

PNUD. (2006). *Orientación sobre el desarrollo de escenarios de cambio climático regional*.

UNISDR & CEPREDENAC. (2018). *Informe Regional del estado de Vulnerabilidad y Riesgo de Desastres en Centroamérica*.

Wordclim. (s.f.). Obtenido de <https://www.worldclim.org/>

Zhang, M.-Z., Zhongfeng, X., Ying, H., & Guo, W. (2021). Evaluation of CMIP6 Models Toward Dynamical Downscaling Over Eight CORDEX Domains.