

# Información climática disponible y recomendaciones para su uso en la inversión pública en los países del COSEFIN/SICA

Jaime Olivares  
Santa Paola Centeno  
Verónica Quiroz  
Edwin Castellanos



# Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

**Deseo registrarme**



NACIONES UNIDAS



[www.cepal.org/es/publications](http://www.cepal.org/es/publications)



[www.instagram.com/publicacionesdelacepal](http://www.instagram.com/publicacionesdelacepal)



[www.facebook.com/publicacionesdelacepal](http://www.facebook.com/publicacionesdelacepal)



[www.issuu.com/publicacionescepal/stacks](http://www.issuu.com/publicacionescepal/stacks)



[www.cepal.org/es/publicaciones/apps](http://www.cepal.org/es/publicaciones/apps)

# Información climática disponible y recomendaciones para su uso en la inversión pública en los países del COSEFIN/SICA

Jaime Olivares  
Santa Paola Centeno  
Verónica Quiroz  
Edwin Castellanos





# Información climática disponible y recomendaciones para su uso en la inversión pública en los países del COSEFIN/SICA

Jaime Olivares  
Santa Paola Centeno  
Verónica Quiroz  
Edwin Castellanos



Este documento fue preparado por Jaime Olivares y Santa Paola Centeno, funcionarios, Verónica Quiroz, Asistente de Investigación, y Edwin Castellanos, Consultor, bajo la supervisión de Julie G. Lennox, Coordinadora del Proyecto RIDASICC y Jefa de la Unidad de Desarrollo Agrícola y Cambio Climático de la sede subregional de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en México, en el marco del Proyecto RIDASSIC “Fortalecimiento de capacidades para la incorporación de la reducción del riesgo de desastres y la adaptación sostenible e incluyente al cambio climático en la inversión pública en los países miembros del COSEFIN/SICA”, coejecutado por la CEPAL y la Secretaría Ejecutiva del Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (SE-COSEFIN) con siete ministerios de hacienda/finanzas y tres secretarías/ministerios de planificación, con el apoyo financiero de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).

Se agradecen las contribuciones de Hugo Hidalgo, del Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica; Carlos E. Navarro, del Centro de Investigación de Agricultura Tropical; Tereza Cavazos, del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada; Jorge Tamayo, Esteban Rodríguez, Alfonso Hernanz y Ernesto Rodríguez, de la Agencia Estatal de Meteorología de España, y Sara Covaleda, de la Fundación Internacional y para Iberoamérica de Administración y Políticas Públicas. Asimismo, se agradecen las aportaciones de Alfredo I. Flores, Secretario Ejecutivo, José Á. Recinos y Nelson Salazar, de la SE-COSEFIN; Francisco Tula, Johanna Salas y Gabriel Corrales, del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN) de Costa Rica; Estefani Flores, del Ministerio de Hacienda de Costa Rica; Ana R. Chacón y Martha Pereira, del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica; Diego Arévalo, del Ministerio de Hacienda de El Salvador; Pablo Ayala y Giovanni Molina, de la Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales (DGOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de El Salvador; Lucía Rosales, de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) de Guatemala; Wilson García, Mariano Cap, Naomy Andrino, Isabel González y Jennifer Rivera, del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH); Carla P. Gutiérrez, de la Secretaría de Finanzas (SEFIN) de Honduras; Paulette Herrera, Wendy Rodríguez y Eleazar Salinas, de la Dirección General de Recursos Hídricos de Ministerio de Ambiente (MiAmbiente); Estéfana Velásquez, de la Comisión Permanente de Contingencias (COPECO); Elsy J. Cisneros y Neemías Villalobos, de la Secretaría de Planificación Estratégica de Honduras; Mauricio Gallo y José L. Aburto, del Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP) de Nicaragua; Luis Herrera, del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER); Fabio Bedoya, del Ministerio de Economía y Finanzas MEF de Panamá; Ligia Castro de Doens, Brillitt Manzané, Nathalye Camano, Yahaira Cárdenas, René López e Israel Torres, del Ministerio de Ambiente de Panamá; Luz G. de Calzadilla, del Instituto Meteorológico Hidrológico de Panamá (IMHPA); Víctor A. Hughes, del Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPyD); Martín Zapata, del Ministerio de Hacienda de República Dominicana; y de Berta Olmedo durante su período de Secretaria Ejecutiva del Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH). Se agradecen las contribuciones de José M. Iraheta, Mariana García, Estefanía Velásquez, Róger Vega, Yolanda Castelán y Luz Gradilla. Se agradece la valiosa labor de Damary Vilá, Nelly Torres, Andrea Jiménez, Adriana del Río y Sofía Sauer.

Las Naciones Unidas y los países que representan no son responsables por el contenido de vínculos, enlaces o marcadores a sitios externos incluidos en esta publicación, ni por las menciones de sociedades mercantiles o nombres comerciales de productos y servicios, y no deberá entenderse que existe adhesión a sitios, su contenido, sus responsables ni a los productos o servicios que se mencionen u ofrezcan.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización o las de los países que representa.

Publicación de las Naciones Unidas  
LC/MEX/TS.2023/39  
Distribución: L  
Copyright © Naciones Unidas, 2023  
Todos los derechos reservados  
Impreso en Naciones Unidas, Santiago

Esta publicación debe citarse como: J. Olivares y otros, *Información climática disponible y recomendaciones para su uso en la inversión pública en los países del COSEFIN/SICA (LC/MEX/TS.2023/39)*, Ciudad de México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2023.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

# Índice

<b>Mensajes clave</b> .....	9
A. Criterios de selección de escenarios, modelos y fuentes de información climática para su aplicación en la inversión pública en el marco del proyecto RIDASICC .....	11
B. Oferta de datos climáticos y meteorológicos históricos para los países de la región del SICA .....	13
C. Oferta de escenarios de cambio climático para los países de la región del SICA.....	14
D. Conclusiones y recomendaciones .....	16
<b>Resumen</b> .....	19
<b>Introducción</b> .....	21
<b>I. Evidencia del cambio en el clima a nivel global y regional</b> .....	31
A. Gases de efecto invernadero .....	31
B. Temperatura.....	32
1. Evidencia de cambios en la temperatura en la región del SICA.....	34
C. Precipitación.....	37
1. Evidencia de cambios en la precipitación en la región del SICA.....	38
D. Océanos y nivel del mar .....	44
E. Índices de riesgo climático y vulnerabilidad .....	46
F. Eventos extremos y su agravamiento con el cambio climático .....	47
1. Riesgos asociados a los fenómenos extremos en Centroamérica.....	50
<b>II. Criterios de selección de escenarios, modelos y fuentes de información climática para su uso en el marco de proyecto RIDASICC</b> .....	53
A. Criterios de selección de información climática histórica .....	53
B. Criterios de selección de información de escenarios de cambio climático .....	55
<b>III. Oferta de información climática histórica para los países de la región del SICA</b> .....	57
A. Estaciones meteorológicas por país .....	57
1. Costa Rica.....	57
2. El Salvador.....	58
3. Guatemala.....	60
4. Honduras .....	62
5. Nicaragua.....	63
6. Panamá.....	65
7. República Dominicana .....	66
8. Base de Datos Climáticos de Centroamérica (BDCAC). Centro Clima .....	67
B. Bases de datos climáticos internacionales .....	67
1. Unidad de Investigación del Clima (CRU) .....	68
2. HADCRUT5.....	69
3. Worldclim .....	70
4. NOAA GlobalTemp .....	72
5. ERA-5.....	72
6. GISTEMP .....	74
7. JRA-55.....	75
8. Berkeley Earth .....	75

9.	CHIRPS.....	76
C.	Resumen y conclusiones de la oferta meteorológica y climatológica histórica .....	77
<b>IV.</b>	<b>Modelos y escenarios de cambio climático .....</b>	<b>83</b>
A.	Modelos climáticos.....	83
1.	Tipos de modelos.....	84
2.	Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP) .....	86
3.	Experimento coordinado sobre reducción de escala de modelos climáticos regionales (CORDEX).....	87
B.	Conceptos y evolución de escenarios de cambio climático del IPCC.....	88
1.	Escenarios IS92.....	88
2.	Escenarios SRES .....	88
3.	Escenarios RCP del CMIP5.....	89
4.	Escenarios MIP (SSP-RCP) del CMIP6.....	89
5.	Resumen de la evolución de los escenarios de GEI del IPCC.....	92
6.	Comparación de las familias de escenarios .....	94
7.	Consideraciones prácticas para el proyecto RIDASICC: emisiones históricas, NDC y escenarios de cambio climático .....	96
C.	Tratamiento de la incertidumbre .....	100
<b>V.</b>	<b>Oferta de escenarios de cambio climático para los países de la región del SICA .....</b>	<b>103</b>
A.	Generación de escenarios a nivel nacional .....	103
1.	Costa Rica.....	103
2.	El Salvador .....	104
3.	Guatemala.....	106
4.	Honduras .....	108
5.	Nicaragua.....	110
6.	Panamá.....	111
7.	República Dominicana .....	111
B.	Plataformas para acceder a modelos y escenarios.....	112
1.	Atlas Interactivo del IPCC.....	112
2.	Portal de conocimiento del Banco Mundial (CCKP) .....	113
3.	Worldclim .....	114
4.	CCAFS-Climate.....	116
5.	Proyecto INCENTIVA .....	117
6.	Visor de Escenarios de Cambio Climático de Centroamérica de CRRH.....	118
C.	Resumen y conclusiones de la oferta de escenarios de cambio climático.....	120
1.	Escenarios a nivel nacional.....	120
2.	Escenarios a nivel regional .....	122
D.	Ensamblajes de modelos climáticos .....	125
1.	Evaluación de modelos climáticos para la región del SICA.....	126
2.	Análisis y evaluación de los modelos del visor de escenarios de cambio climático.....	127
<b>VI.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>131</b>
A.	Conclusiones.....	131
B.	Recomendaciones.....	134
	<b>Glosario.....</b>	<b>137</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>143</b>

## Cuadros

Cuadro 1	Ejemplos de impactos del cambio climático en la infraestructura vial.....	27
Cuadro 2	Centroamérica y República Dominicana: anomalía mayor, de la década 2011-2020 y en 2021 y 2022 con respecto de 1961-1990.....	36
Cuadro 3	Centroamérica y República Dominicana: anomalía de la precipitación, mes con mayor cambio de la década 2011-2020 y de 2021-2022 con respecto de 1960-1990.....	42
Cuadro 4	Centroamérica y República Dominicana: precipitación y desviación estándar, anual y para julio y octubre por década, 1981-2020.....	43
Cuadro 5	Índice de riesgo climático para los países del SICA, 2000-2019 .....	47
Cuadro 6	Ejemplos de vida útil típica de las infraestructuras.....	56
Cuadro 7	Costa Rica: estaciones meteorológicas del Instituto Meteorológico Nacional.....	58
Cuadro 8	El Salvador: características de la red nacional de estaciones meteorológicas de la DGOA.....	59
Cuadro 9	El Salvador: características de las estaciones del ICC.....	60
Cuadro 10	Guatemala: características de la red de estaciones meteorológicas del INSIVUMEH .....	60
Cuadro 11	Guatemala: características de la red de estaciones meteorológicas del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC).....	61
Cuadro 12	Guatemala: características de la Red de Estaciones Meteorológicas de la Asociación Nacional del Café (REMA).....	61
Cuadro 13	Honduras: características de las estaciones meteorológicas del CENAOS-COPECO .....	63
Cuadro 14	Honduras: características de los datos de las estaciones del CCAFS-Climate...	63
Cuadro 15	Nicaragua: Red Nacional de Estaciones Meteorológicas .....	64
Cuadro 16	Nicaragua: características de datos de las estaciones CCAFS-Climate.....	65
Cuadro 17	Panamá: características de las estaciones meteorológicas de la Red Hidrometeorológica Nacional.....	65
Cuadro 18	República Dominicana: estaciones meteorológicas de la ONAMET.....	67
Cuadro 19	Características de la base de datos de CRU .....	68
Cuadro 20	Características de la base de datos de HADCRUT5 .....	70
Cuadro 21	Características de la base de datos de Worldclim .....	71
Cuadro 22	Características de la base de datos de NOAA GlobalTemp.....	72
Cuadro 23	Características de la base de datos de ERA-5 .....	73
Cuadro 24	Características de la base de datos GISTEMP.....	74
Cuadro 25	Características de la base de datos JRA-55.....	75
Cuadro 26	Características de la base de datos Berkeley Earth .....	76
Cuadro 27	Características de la base de datos CHIRPS.....	77
Cuadro 28	Centroamérica y República Dominicana: fuentes con datos meteorológicos históricos .....	80
Cuadro 29	Fuentes internacionales con datos meteorológicos y climatológicos históricos.....	82
Cuadro 30	Desafíos socioeconómicos para la adaptación y mitigación.....	90
Cuadro 31	Evolución de los escenarios de GEI y climáticos del IPCC.....	93
Cuadro 32	Anomalía de la temperatura media global con 29 (CMIP5) y 34 (CMIP6) modelos con respecto de 1850-1900 .....	99
Cuadro 33	Costa Rica: características de los modelos de simulación y escenarios climáticos, 2021 .....	103

Cuadro 34	El Salvador: características de los modelos de simulación y escenarios climáticos para El Salvador, 2017 .....	105
Cuadro 35	Guatemala: características de las Proyecciones de Cambio Climático en Guatemala –Reducción Dinámica– .....	106
Cuadro 36	Guatemala: escenarios de cambio climático para Guatemala, CA 2020, IIA-FAUSAC-CIAT.....	108
Cuadro 37	Honduras: Tercera Comunicación Nacional.....	109
Cuadro 38	Nicaragua: Cuarta Comunicación Nacional .....	110
Cuadro 39	Panamá: Cuarta Comunicación Nacional.....	111
Cuadro 40	República Dominicana: Tercera Comunicación Nacional.....	112
Cuadro 41	Características de la base de datos de escenarios de cambio climático del Atlas Interactivo del IPCC.....	113
Cuadro 42	Características de la base de datos de escenarios de cambio climático del CCKP .....	114
Cuadro 43	Características de la base de datos de escenarios de cambio climático de Worldclim .....	115
Cuadro 44	Características de la base de datos de escenarios de cambio climático de CCAFS-Climate.....	116
Cuadro 45	Características de los escenarios de cambio climático para la región del SICA del geoportal de INCENTIVA.....	118
Cuadro 46	Características del visor de escenarios de cambio climático de Centroamérica del CRRH .....	119
Cuadro 47	Centroamérica y República Dominicana: oferta de datos de escenarios de cambio climático.....	123
Cuadro 48	Fuentes internacionales con datos de escenarios de cambio climático .....	124
Cuadro 49	Modelos del CMIP6 que mejor simulan el clima en los Estados Unidos, México, Centroamérica y el Caribe.....	127
Cuadro 50	Clasificación de los modelos que se encuentran en el visor de escenarios de cambio climático del Centro Clima según la categorización de Hidalgo y Alfaro (2015) .....	128
Cuadro 51	Clasificación de los modelos (análogos) que se encuentran en el visor de escenarios climáticos del Centro Clima en la herramienta GCMeval.....	129
<b>Gráficos</b>		
Gráfico 1	Mundo: historia de los cambios de la temperatura global y causa del reciente calentamiento .....	32
Gráfico 2	Anomalía de la temperatura media global de la superficie terrestre por año y por década, 1850-2022, con respecto de la climatología 1850-1900.....	33
Gráfico 3	Diferencia de la temperatura media anual mundial con respecto de las condiciones preindustriales (1850-1900) en seis conjuntos de datos de temperaturas mundiales (1850-2021).....	33
Gráfico 4	Anomalías de la temperatura media para México/Centroamérica y el Caribe con respecto de la media de 1981-2010 .....	34
Gráfico 5	Centroamérica y República Dominicana: anomalía de la temperatura por año y década, 1900-2022, con respecto de la climatología de 1961-1990.....	35
Gráfico 6	Mundo: precipitación global por año, media y desviación estándar de la precipitación por década, 1901-2022 .....	37
Gráfico 7	Costa Rica: precipitación acumulada anual y precipitación mensual, 1901-2022 .....	39

Gráfico 8	El Salvador: precipitación acumulada anual y precipitación mensual, 1901-2022 .....	39
Gráfico 9	Guatemala: precipitación acumulada anual y precipitación mensual, 1901-2022 .....	40
Gráfico 10	Honduras: precipitación acumulada anual y precipitación mensual, 1901-2022 .....	40
Gráfico 11	Nicaragua: precipitación acumulada anual y precipitación mensual, 1901-2022 .....	41
Gráfico 12	Panamá: precipitación acumulada anual y precipitación mensual, 1901-2022 .....	41
Gráfico 13	República Dominicana: precipitación acumulada anual y precipitación mensual, 1901-2022.....	42
Gráfico 14	Contenido calorífico de los océanos, 1960-2021.....	45
Gráfico 15	Elevación del mar desde 1993 .....	45
Gráfico 16	Centroamérica: tipos de peligros que más preocupan y áreas prioritarias para la adaptación reportadas en las contribuciones determinadas a nivel nacional .....	50
Gráfico 17	Comparación de los escenarios SRES y RCP.....	94
Gráfico 18	Comparación de los escenarios RCP y SSP-RCP.....	95
Gráfico 19	Mundo: emisiones de CO <sub>2</sub> e con CUS histórico y de acuerdo con diversos escenarios, 1990-2030 y 1990-2100 .....	97
Gráfico 20	Estimado de calentamiento de los escenarios de los grupos de trabajo 1 y 3 del IPCC en 2100 con respecto del período 1850-1900.....	99
 <b>Recuadros</b>		
Recuadro 1	Ejemplo del uso de escenarios climáticos para el diseño de infraestructura resiliente: Sistema de Información Climática para el Diseño de Carreteras (SICLIC).....	29
Recuadro 2	Ejemplo del uso de escenarios climáticos como herramienta para la planificación: Atlas Nacional de Vulnerabilidad al cambio climático en México .....	30
Recuadro 3	Modelos climáticos regionales para el proyecto RIDASICC .....	85
 <b>Diagramas</b>		
Diagrama 1	Infraestructura de provisión de bienes y servicios públicos: componentes del riesgo y su causalidad .....	26
Diagrama 2	Cascada de incertidumbre de uso de escenarios de cambio climático en impactos y medidas de adaptación.....	100
 <b>Mapas</b>		
Mapa 1	Centroamérica y el Caribe: anomalías de precipitación para 2021.....	44
Mapa 2	Mesoamérica y el Caribe: elevación del nivel del mar .....	46



## Mensajes clave

En los países miembros del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), la infraestructura pública que proporciona servicios esenciales a la población enfrenta amenazas asociadas a los desastres que son tradicionalmente reconocidos, como huracanes, inundaciones y sequías. Al mismo tiempo, el cambio climático de origen antropogénico está exacerbando estas amenazas y generando nuevas de desarrollo lento, como el alza de temperatura y cambios en los patrones de lluvia. El cambio climático también agrava la degradación de los ecosistemas por la actividad humana directa sobre el ambiente. Esta compleja combinación de factores adversos está aumentando los riesgos que afrontan la población y la infraestructura que le provee de servicios.

Según el índice de riesgo climático, en el período de 2000 a 2019, seis de los ocho países del SICA se encontraban entre los cincuenta más vulnerables ante los eventos climáticos extremos (Eckstein, Kunzel y Schafer, 2021). Las mayores amenazas en Centroamérica y el Caribe incluyen inundaciones, ciclones tropicales, aumento de la temperatura y sequías; también son recurrentes los deslizamientos, los incendios forestales y las temperaturas extremas (OMM, 2021a).

En el sexto informe de evaluación (AR6<sup>1</sup>) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC<sup>2</sup>) se concluye que la actividad humana es la principal fuerza motriz de los cambios en las variables climáticas observadas, que generan el incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) por encima de los niveles preindustriales (IPCC, 2021a). En 2021, las concentraciones de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) alcanzaron nuevos máximos, con una estimación de 508 partes por millón (ppm) (incluyendo aerosoles) (Montzka, 2022). Este impacto antropogénico ya se evidencia en el aumento de la temperatura global de 1,09 °C (2011-2020) con respecto del período preindustrial de 1850-1900 (IPCC, 2021a). Incluso, en el Caribe y México/Centroamérica se reportaron anomalías de la temperatura media en 2021 de 0,68 °C y 0,97 °C, respectivamente, en comparación con el período de 1961 a 1990 (OMM, 2022a). No solamente está afectada la atmósfera: de 1960 a 2021, el contenido calorífico (temperatura) de los océanos se incrementó en todas las capas de profundidad del océano, y de manera acelerada en las últimas dos décadas (OMM, 2022b). El derretimiento de los hielos polares, junto con el calentamiento del océano, ha provocado un aumento del nivel del mar. Ambos fenómenos afectan los países de la región del SICA con extensas costas. El calentamiento de los océanos también contribuye a la intensidad de los huracanes.

Ante la contundente evidencia científica de que la actividad humana está cambiando el clima, se necesita contar con información de las tendencias históricas del clima y lo que pueda ocurrir en el futuro en el área de influencia o en el entorno socioambiental de un proyecto de inversión pública que se propone diseñar adecuadamente. Con estos elementos es posible entender de mejor manera cómo las condiciones climáticas han afectado y pueden afectar las condiciones o los perfiles de consumo de la población usuaria de los servicios que el proyecto debe proporcionar, los posibles daños a la infraestructura y las perturbaciones en la función de producción de esos activos fijos. Las condiciones climáticas y sus afectaciones determinan los riesgos que deben mitigarse introduciendo medidas específicas de reducción de riesgo de desastres y de adaptación sostenible e incluyente al cambio climático.

Esta publicación tiene el objetivo de presentar un análisis consolidado de la información climática disponible para los países del Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y la República Dominicana (COSEFIN) del SICA y proponer criterios y

<sup>1</sup> Sixth Assessment Report.

<sup>2</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change.

recomendaciones para la selección de los datos que pueden ser de mayor utilidad para la formulación de proyectos de inversión pública con medidas para reducir el riesgo de la interrupción de sus servicios por eventos extremos y adaptarse de forma sostenible e incluyente al cambio climático. El análisis cubre información tanto meteorológica histórica como de los escenarios (futuros) de cambio climático y los modelos de circulación.

Esta publicación es parte de una serie de documentos que se prepara en el marco del proyecto “Fortalecimiento de capacidades para la incorporación de la reducción del riesgo de desastres (RRD) y la adaptación sostenible e incluyente al cambio climático (ASICC) en la inversión pública en los países miembros del COSEFIN/SICA” (RIDASICC) ejecutado por la sede subregional en México de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Secretaría Ejecutiva del Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (SE-COSEFIN) del SICA con financiamiento de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y con aportes en especie de las instituciones socias. En los ámbitos nacionales, los siete ministerios/secretarías de hacienda/finanzas, así como tres ministerios/secretarías de planificación responsables de la inversión pública se encargan de liderar la ejecución de las actividades y forman parte del Comité Técnico Regional, mecanismo de gestión técnica del proyecto en el ámbito regional. El proyecto RIDASICC se enmarca en la iniciativa sobre “Fortalecimiento de capacidades en el diseño de proyectos de inversión pública y formulación de instrumentos fiscales verdes para responder al cambio climático y contribuir a los ODS en Centroamérica y la República Dominicana”, que cuenta con el aval de las y los ministros del COSEFIN, y es consistente con el Plan de Trabajo Regional de la Matriz de Interés Fiscal impulsado por estas autoridades y su Secretaría Ejecutiva.

El objetivo general del proyecto RIDASICC es contribuir a la integración de la RRD y la ASICC en los proyectos de inversión pública, conservando y mejorando los bienes y servicios que se brindan a la población de los países miembros del COSEFIN/SICA. Durante la primera fase, los socios acordaron enfocarse en dos sectores: agua potable y saneamiento e infraestructura vial. Para alcanzar estos resultados se implementan los siguientes componentes de forma coordinada:

- Capacitación “aprender-haciendo” con técnicos/as nacionales y regionales para integrar RRD-ASICC en la identificación, la formulación y la evaluación de los proyectos de inversión pública.
- Desarrollo o mejora de guías metodológicas, manuales y herramientas nacionales o regionales del SICA, a fin de facilitar esta integración de RRD-ASICC en los proyectos de inversión pública.
- Fortalecimiento de proyectos piloto de inversión pública por medio de una mayor integración de RRD-ASICC, en conjunto con los equipos de técnicos/as nacionales responsables.
- Desarrollo de plataformas de sistemas de información geográfica (SIG) con variables de RRD-ASICC y módulos para la inversión pública, según las necesidades de cada país y en colaboración con su institucionalidad de datos espaciales.
- Intercambios de experiencias y buenas prácticas en la integración de la RRD-ASICC en los proyectos de inversión pública.

Para el desarrollo de estos productos, la información meteorológica y climática histórica y los escenarios del cambio climático son insumos clave, en especial para los desarrollos metodológicos, de herramientas y de SIG.

El uso de los escenarios de cambio climático en diversos sectores es cada vez más frecuente en la planificación y toma de decisiones de instituciones públicas y privadas, y es ampliamente recomendado en la elaboración de Planes Nacionales de Adaptación (LEG, 2012). Para la Organización

Meteorológica Mundial (OMM), los Servicios Meteorológicos/Hidrológicos, al poner a disposición la información han aumentado la seguridad y la eficiencia del transporte terrestre, marítimo y aéreo, han ayudado a que las comunidades se preparen para enfrentar fenómenos meteorológicos extremos y adopten las medidas necesarias, y han facilitado la mejora del proceso de adopción de decisiones en los sectores económicos sensibles a las condiciones meteorológicas (OMM, 2015). Sin embargo, todavía se requiere un mayor esfuerzo. En el AR6 del IPCC se destaca, con un nivel de confianza medio, que la falta de información y datos ha impuesto restricciones a los procesos de adaptación y planificación (IPCC, 2022). En este contexto, los socios del proyecto RIDASICC procuran avanzar en la aplicación de información climática en su ámbito de acción: la inversión pública.

## **A. Criterios de selección de escenarios, modelos y fuentes de información climática para su aplicación en la inversión pública en el marco del proyecto RIDASICC**

Para la descripción y el análisis de la oferta de la información climática histórica y de escenarios de cambio climático, se propuso una serie de criterios que pueden ser relevantes para la selección y el uso en la formulación y evaluación de proyectos de inversión pública, en particular para los socios clave del proyecto RIDASICC.

Los criterios de selección sugeridos para la información climática histórica son:

- Institución generadora de la información. Se recomienda priorizar fuentes oficiales considerando que el uso es para proyectos de inversión avalados por el sector público. Por ello, primero se acudió a los Institutos Meteorológicos Nacionales u otras instituciones nacionales responsables de esta información. Después se revisaron las fuentes regionales, como segunda opción, en especial las autorizadas por los países miembros del SICA, y, en tercer lugar, las instituciones globales de investigación.
- Densidad y número de estaciones meteorológicas. En los proyectos de inversión pública es importante la ubicación en un contexto donde las características climáticas pueden cambiar en pocos kilómetros influido por la vegetación y la topografía. Contar con una gran densidad de estaciones meteorológicas es esencial para estimar mejor el riesgo climático de los proyectos de inversión.
- Resolución de información histórica. El trabajo de las instituciones globales de investigación que interpolan los valores climáticos es una alternativa a la ausencia de estaciones meteorológicas localizadas en el área de influencia de un proyecto. Se contemplarán las bases con las resoluciones más altas.
- Disponibilidad. El proyecto busca información de acceso libre o autorizado para el sector público de cada país para que los datos estén a disponibilidad de los formuladores de los proyectos públicos.
- Extensión de las series de tiempo o períodos históricos. Una serie más larga de las variables permitiría una mejor identificación de amenazas que han afectado el área de influencia del proyecto.
- Frecuencia de medición. Una fuente de información con datos mensuales ayudaría a identificar el patrón intraanual de variables como temperatura y precipitación para datos históricos, lo que es importante en una región con marcadas fluctuaciones durante el año y por región. Con los datos diarios históricos se identificarían los eventos extremos con variables como la cantidad de precipitación en uno o varios días.
- Cobertura geográfica. Para los datos históricos se requiere una fuente que cubra mínimo un país entero e idealmente todos los países miembros del COSEFIN/SICA para aquellas fuentes regionales o internacionales.

- Variables. Para los proyectos de inversión pública es esencial contar con datos de temperatura y precipitación, y puede ser relevante contar con información de evapotranspiración, humedad relativa y velocidad del viento para temas como provisión de servicios de agua, movilidad y salud.

Los criterios propuestos para las fuentes de escenarios de cambio climático son:

- Institución generadora de información. Se recomienda aprovechar los esfuerzos nacionales y regionales que han producido escenarios para esta región, tomando en cuenta sus bases técnicas y metodológicas.
- Disponibilidad de información. Se busca información de acceso libre cuya base de datos se integre a las plataformas y los módulos de SIG en preparación con cada país en el marco del proyecto RIDASICC.
- Escenarios de cambio climático. Las generaciones más recientes de escenarios incluyen entre cuatro y siete escenarios. Para no complejizar la aplicación en la formulación de proyectos de inversión pública, se debe recomendar uno o dos escenarios que representan el rango actualmente considerado de mayor probabilidad, de acuerdo con las tendencias de emisiones y concentración de GEI, y un análisis de la factibilidad de los compromisos hechos en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (CDN) para reducir globalmente las emisiones. Con este criterio se podrían identificar los impactos más probables y las medidas de adaptación más apropiadas.
- Modelos climáticos. Son evaluados comparando sus simulaciones con las observaciones históricas. Si el modelo hace una buena reproducción del clima pasado, aumenta la confianza en las proyecciones del futuro que puede generar. Otro análisis útil evalúa cuáles y cuántos elegir para un ensamble que capture gran parte del rango de posibles trayectorias con respecto del total de modelos disponibles en una región particular, en este caso Centroamérica y el Caribe.
- Resolución de la información de escenarios de cambio climático. La reducción de escala y la corrección de sesgo del resultado de los modelos climáticos globales producen datos que permiten estimaciones del cambio climático con mayor resolución y, así, puedan ser de utilidad para la estimación de impactos y las medidas de adaptación. Estos escenarios de muy alta resolución son relevantes para los proyectos de inversión pública.
- Períodos de escenarios de cambio climático que abarcan el rango de vida útil prevista para proyectos de inversión pública. Normalmente, los escenarios de cambio climático utilizan períodos de varias décadas para reportar los cambios previstos. Gran parte de las fuentes identificadas usan períodos de 20 años. Por otro lado, los proyectos de inversión pública diseñan infraestructura con distintos años de vida útil, que varía entre un par y hasta siete décadas para la infraestructura vial.
- Frecuencia. Al igual que los datos históricos, los datos mensuales nos ayudarían a identificar los posibles cambios en el patrón intraanual de temperatura y precipitación bajo los escenarios de cambio climático que impactarían en la operación y el ciclo de vida la infraestructura.
- Cobertura geográfica. Se requiere una fuente que cubra mínimo un país entero e idealmente todos los países miembros del COSEFIN/SICA. En este sentido, una fuente regional tendría la ventaja de que se podrían usar datos cercanos en la frontera de otro país por su zona de influencia o proyectos de inversión regionales, ya que tendrían las mismas características de resolución, períodos y modelos.

- Variables. Principalmente los escenarios de cambio climático de temperatura y precipitación. Sin embargo, serán tomadas en cuenta las fuentes con variables o indicadores climáticos adicionales como escorrentía, evapotranspiración, precipitación máxima acumulada en cinco días, número de días de lluvia, entre otras.

## **B. Oferta de datos climáticos y meteorológicos históricos para los países de la región del SICA**

En la región de los países del SICA, las principales redes de estaciones meteorológicas se encuentran administradas por los servicios meteorológicos nacionales o los ministerios de ambiente. Otras instituciones, tanto públicas como privadas, cuentan con estaciones y/o almacenan este tipo de información. Hay bases de datos de fuentes globales de información climática histórica, llamadas climatologías, que complementan la oferta nacional y que se basan en las mismas estaciones nacionales y datos satelitales.

En Costa Rica, el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) coordina todas las actividades meteorológicas. Asimismo, recopila y analiza toda la información climatológica que se registra y mide en el país y que es necesaria para preparar estudios climatológicos, incluyendo temperatura, presión atmosférica, precipitación, humedad relativa, velocidad, dirección del viento y radiación solar.

En El Salvador, la Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales, del Ministerio de Ambiente, en la actualidad aloja la información de las estaciones de la red del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). Las variables que monitorea son humedad relativa, viento instantáneo y viento promedio cada 10 m, precipitación instantánea y acumulada, temperatura máxima y mínima, radiación solar, y presión atmosférica.

En Guatemala, el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) es la principal institución en el alojamiento de información de las estaciones meteorológicas, incluyendo precipitación, temperatura máxima, mínima y media. Cuenta con información histórica relevante de más de 30 años.

En Honduras, la Dirección General de Recursos Hídricos (DGRH) del Ministerio de Ambiente (MiAmbiente+) cuenta con una red de estaciones, y le corresponde el manejo de las estaciones meteorológicas. Otras instituciones que tienen estaciones son el Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA), la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) y el Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos de la Comisión Permanente de Contingencias (CENAOS-COPECO). Esta última cuenta con registros de temperatura, precipitación acumulada y radiación solar.

En Nicaragua, la Dirección General de Meteorología del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) es responsable de la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas, que monitorea precipitación, temperatura de aire y suelo, brillo solar, dirección y velocidad del viento.

En 2022, Panamá estableció el Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá (IMHPA). Anteriormente, la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA) tenía asignadas las funciones hidrometeorológicas y la Red Hidrometeorológica Nacional, entre cuyas funciones estaba la gestión del Banco Nacional de Datos Meteorológicos. Las variables que registra son precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, temperatura del suelo, radiación solar, viento y horas de sol.

En la República Dominicana, la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET) es la institución responsable de la información meteorológica del país. Esta cuenta con estaciones meteorológicas que monitorean temperatura, precipitación, viento, humedad relativa y presión atmosférica.

En paralelo, para los propósitos de fortalecer la formulación de proyectos de inversión pública, las bases de datos de climatologías de fuentes internacionales podrán complementar los registros de estaciones meteorológicas disponibles en los países. Estas fuentes de información varían en cantidad de estaciones meteorológicas, uso de información satelital y el punto de partida de sus registros históricos. Las bases identificadas y evaluadas son CRU, HADCRUT, Worldclim, NOAA GlobalTemp, ERA-5, GISTEMP, JRA-55, Berkeley Earth, y CHIRPS.

### C. Oferta de escenarios de cambio climático para los países de la región del SICA

Para aplicar escenarios de cambio climático se requiere acoplarlos a modelos que representan el clima y los océanos del planeta. Uno de los tipos de modelos climáticos más útiles son los modelos de circulación general (MCG), que son modelos informáticos que resuelven las ecuaciones que representan la atmósfera y los océanos, divididos geográficamente por rejillas de 100 a 200 km. Los modelos climáticos regionales (MCR) son modelos climáticos de mayor resolución producidos a partir de los MCG con métodos de reducción de escala (IPCC, 2013a), que respaldan una evaluación más localizada del impacto del cambio climático y la identificación de medidas más apropiadas de adaptación (WCRP CORDEX, 2022a). Así, para el proyecto RIDASICC es recomendable usar escenarios de cambio climático combinados con modelos regionales que caractericen el clima en el ámbito local con rejillas de 50 km aproximadamente o aun de mayor resolución.

Las interacciones del sistema climático, los ecosistemas y las actividades humanas que emiten GEI se analizan a través de escenarios con diferentes niveles de emisiones con objeto de obtener escenarios de concentraciones futuras de GEI y aerosoles a los que el sistema climático responde. Así se obtienen escenarios de variables climáticas elaborados con los modelos climáticos para cada escenario de emisiones. Los escenarios no son predicciones, sino que ofrecen un panorama de las consecuencias climáticas de la evolución de las posibles trayectorias de emisiones de GEI a consecuencia de la actividad humana y las medidas de reducción, realmente tomadas o no, y de las mencionadas interacciones (IPCC, 2001; IPCC, 2013a y 2013b).

Los centros de investigación que lideran el desarrollo de los escenarios en coordinación con el IPCC han producido varias generaciones de escenarios. Para efectos de este análisis se consideraron dos generaciones. Las llamadas trayectorias de concentración representativas (RCP<sup>3</sup>), conocidas también como los escenarios IPCC del quinto informe de evaluación (AR5<sup>4</sup>). Son cuatro RCP, incluyendo un escenario de mitigación muy ambicioso (RCP2.6 W/m<sup>2</sup>) que representa una trayectoria de concentraciones que mantienen el calentamiento global menor de 2 °C con respecto de las temperaturas preindustriales. Se cuenta con dos escenarios intermedios (RCP4.5 W/m<sup>2</sup> y RCP6.0 W/m<sup>2</sup>) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de GEI (RCP8.5 W/m<sup>2</sup>). La generación más reciente consiste en un conjunto de ocho posibles trayectorias de emisiones futuras, concentraciones y uso del suelo, conocidas también como los escenarios IPCC AR6. A las cuatro trayectorias de forzamiento de los RCP se agregan tres: 7,0 W/m<sup>2</sup>, 3,4 W/m<sup>2</sup> y una trayectoria por debajo de 2,6 W/m<sup>2</sup> en 2100. Para cada una de estas trayectorias de forzamiento se seleccionó uno de los cinco escenarios de desarrollo socioeconómico establecidos, llamados trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP<sup>5</sup>). Las trayectorias relativamente más optimistas son la SSP1 y la SSP2, y las relativamente más pesimistas son la SSP3, la SSP4 y la SSP5.

Para los objetivos del proyecto RIDASICC, y con la intención de hacer manejable el número de escenarios que los formuladores de proyectos de inversión pública tendrá que manejar, se sugiere descartar aquellos escenarios que son improbables de acuerdo con las emisiones observadas y con

<sup>3</sup> Representative Concentration Pathways.

<sup>4</sup> Fifth Assessment Report.

<sup>5</sup> Shared Socioeconomic Pathways.

las tendencias actuales. Por otro lado, se sugiere hacer análisis de impacto del cambio climático y de opciones de adaptación en un rango que vaya desde escenarios medios hasta un límite alto de emisiones. Para los escenarios del AR5, las tendencias muestran que el límite inferior más probable en el futuro es el RCP4.5 y el escenario alto sería el RCP8.5, pues es un escenario cercano a las observaciones mostradas hasta 2019; por la misma razón, para los escenarios del AR6 se sugieren los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Los resultados de la exploración de los avances técnicos y la institucionalidad en los países del SICA respecto a los escenarios de cambio climático indican que la responsabilidad corresponde a los institutos meteorológicos nacionales o los ministerios de ambiente.

- En Costa Rica, el IMN es el responsable de generar los escenarios de cambio climático. Está participando en la actualización con los escenarios del AR6 que realiza el Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH) para su visor de cambio climático de Centroamérica.
- En El Salvador se generaron escenarios nacionales RCP del CMIP5<sup>6</sup>, con el apoyo del Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC). La Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales (DGOA) del Ministerio de Ambiente también participa en la actualización en el marco del CRRH, y ha indicado que serán sus escenarios nacionales.
- En Guatemala, el INSIVUMEH hizo proyecciones de cambio climático con reducción dinámica para los escenarios del CMIP5 (RCP) y del CMIP6 (SSP-RCP). El INSIVUMEH está trabajando en la actualización de AR6, coordinado por el CRRH.
- En Honduras, la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (MiAmbiente+) desarrolló la plataforma Agua de Honduras con escenarios climáticos del CMIP5 (RCP), con el apoyo del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). En la actualidad, el país está participando en la actualización de escenarios de cambio climático del CRRH por medio de la COPECO.
- En Nicaragua, el INETER hizo el estudio “Escenarios de clima futuro” para el período de 2021 a 2100, cuyos resultados fueron publicados en la Cuarta Comunicación Nacional de su país. El INETER participa en la actualización del visor de escenarios de cambio climático del CRRH.
- En Panamá, el Ministerio de Ambiente (MiAmbiente) es el encargado de la generación de escenarios de cambio climático. Con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) publicó su Cuarta Comunicación Nacional. En la actualización de sus escenarios del CMIP6 (SSP-RCP) utilizaron tres modelos con el SSP1-2.6 y el SSP5-8.5. Adicional a esto, el IMHPA participa en la actualización del visor de escenarios de cambio climático en el CRRH.
- En la República Dominicana, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MMARN) publicó en su Tercera Comunicación Nacional escenarios RCP preparados con el apoyo del CATHALAC. Este país no es miembro del CRRH.

Existe una oferta diversa de escenarios preparados por instituciones regionales e internacionales que se encuentran en visores o para descarga de capas. La primera fuente es el Atlas Interactivo del IPCC, lanzado junto con el AR6, que cuenta con escenarios del CMIP5 y del CMIP6, con un grupo de modelos de circulación general de baja resolución. El Portal de Conocimiento del Banco Mundial (CCKP<sup>7</sup>) cuenta con escenarios de cambio climático del CMIP5 (RCP) y del CMIP6 (SSP-RCP), con un gran número de modelos globales en baja resolución de 111 km. Estas dos plataformas son visores con posibilidad de descarga de información.

<sup>6</sup> Proyecto de Intercomparación de los Modelos Acoplados (CMIP, Coupled Model Intercomparison Project).

<sup>7</sup> Climate Change Knowledge Portal.

Worldclim y CCAFS-Climate son plataformas para descarga de información global con muy alta resolución con rejillas de hasta 1 km. Cuentan con escenarios del CMIP5 (RCP) y del CMIP6 (SSP-RCP). Worldclim es una fuente de referencia valorada por su metodología de reducción de escala y por sus períodos bases de referencia. El Proyecto INCENTIVA del Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP) generó escenarios con reducción de escala del CMIP6 (SSP-RCP) con resolución de 1 km con la metodología de Worldclim, con un ensamble de ocho modelos para Centroamérica y la República Dominicana.

El visor de escenarios de cambio climático de Centroamérica del CRRH contiene información con metodologías de reducción de escala para un conjunto de 17 modelos. La información de precipitación es de muy alta resolución, de 5,6 km, y de temperatura es de 27,8 km. Es una plataforma de acceso libre de la que los datos pueden ser descargados. Cuenta con el aval de las instituciones meteorológicas nacionales y el apoyo técnico de la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET). Para la reducción de escala se basó en las climatologías históricas de ERA5 para temperatura y de CHIRPS para precipitación. En este momento, esta fuente tiene los escenarios del CMIP5 (RCP), y las instituciones socias están en el proceso de actualizar el visor con los escenarios del CMIP6 (SSP-RCP) para ser publicados en 2023.

El conjunto de modelos de este visor fue evaluado en esta publicación. Se encontró que algunos de los modelos disponibles tienen la mejor clasificación en simulación del clima histórico de Centroamérica, de acuerdo con una clasificación de Hugo Hidalgo y Erik Alfaro, de la Universidad de Costa Rica (Hidalgo y Alfaro, 2015), y que los resultados de estos modelos capturan un porcentaje de más del 90% del total de modelos del CMIP5 en el escenario más extremo.

## D. Conclusiones y recomendaciones

Considerando las limitaciones con las cuales han trabajado las instituciones meteorológicas nacionales, se cuenta con una oferta útil de información climática y meteorológica para la región del SICA, tanto de fuentes nacionales y de la región del SICA como internacional. Con respecto al análisis del cambio climático, los países del SICA han generado escenarios de acuerdo con sus capacidades técnica y presupuestaria, a veces muy limitadas frente a las responsabilidades institucionales que tiene. Las capacidades de cada país son muy diferentes y los productos que se han generado varían en cuanto a variables, escenarios, modelos y datos históricos usados.

Las instituciones consultadas en el curso de esta investigación recalcaron la importancia de intensificar la inversión en el fortalecimiento de las capacidades institucionales y técnicas de la región para afrontar los retos que presenta el cambio climático, incluyendo la generación y el mayor acceso a información, por lo menos dentro del sector público, sobre el clima actual y los posibles climas futuros y la recuperación y digitalización de datos históricos. Las siguientes recomendaciones han sido consultadas al Comité Técnico Regional del Proyecto RIDASICC, de quien cuentan con el visto bueno.

En lo relativo a la elección de la fuente de información climática, las recomendaciones son las siguientes: trabajar con bases de datos que tengan reconocimiento y aceptación de los institutos meteorológicos nacionales responsables de la información climática; asegurar que el sistema de manejo de la información permita actualizarse con información nueva; utilizar una escala de resolución adecuada y con perspectiva de mejorarla en el futuro; fomentar o apoyar los planes de la institución responsable de fortalecer sus capacidades técnicas para generar modelos y escenarios.

Con respecto a la información histórica, los datos de las estaciones meteorológicas ofrecen información en el área inmediata de la estación, pero la poca densidad de estaciones puede resultar en ausencia de información climática para un número significativo de los proyectos de

inversión pública. Además, hay limitaciones en la disponibilidad de este tipo de datos en todos los países, que, con diferentes matices nacionales, incluyen: i) la insuficiencia de estaciones; ii) el estado de mantenimiento de las estaciones; iii) el almacenamiento incompleto o incorrecto de los datos; iv) la calidad de los datos; v) la limitada georreferenciación de los datos, y vi) el acceso restringido a estos. No obstante, se recomienda solicitar los accesos a la información disponible en cada país para el uso de esta en la formulación de proyectos de inversión pública y colaborar con las instituciones generadoras de esta vital información para el desarrollo de las capacidades nacionales para generar, almacenar y aplicar esta información.

En el caso de contar con una estación en el área de influencia del proyecto, se sugiere usar esta información en series históricas cuando están disponibles. En los demás casos, se recomienda utilizar los datos de ERA5 del proyecto Copernicus para temperatura y de CHIRPS para precipitación; ambas fuentes están basadas en observaciones de estaciones y satelitales e interpoladas a una resolución de 5,6 km y 27,8 km, respectivamente. Estas bases de datos geográficas fueron utilizadas en el visor de escenarios de cambio climático del CRRH para la reducción de escala de los modelos y escenarios que emplearon.

En cuanto a los escenarios de cambio climático, se sugiere utilizar la base de datos del visor de escenarios de cambio climático del CRRH colocado en el portal de Centro Clima (<https://centroclima.org/escenarios-cambio-climatico/>), ya que presenta las siguientes ventajas:

- Se desarrolla por medio de un grupo técnico de los institutos meteorológicos nacionales de la región; tiene reconocimiento de las seis instituciones meteorológicas nacionales miembros del CRRH, que es instancia del SICA;
- es un sistema robusto en su base técnica y científica, generada con la participación de especialistas de dichas instituciones con la asesoría de AEMET;
- presenta 37 variables derivadas a partir de las variables básicas de temperatura y precipitación;
- cuenta con un plan de actualización de información con la nueva generación del AR6, importante para ser fuente sostenible y relevante en el tiempo, y
- tiene un plan de fortalecimiento de capacidades.

Para hacer práctica y factible la aplicación de la información del visor de escenarios de cambio climático del CRRH en la identificación, la formulación y la evaluación de proyectos de inversión pública, se recomienda:

- Utilizar el promedio de los modelos bajados a escala (5,6 km para precipitación y 27,8 km para temperatura y sus variables derivadas) con el método de análogos (16 modelos).
- Utilizar el escenario intermedio RCP4.5 y el extremo alto RCP8.5 para el caso del CMIP5.
- Cuando estén los escenarios CMIP6, seguir un criterio similar y utilizar el escenario intermedio SSP2-4.5 y el extremo alto SSP5-8.5.
- Utilizar los cortes o períodos temporales que permitan abarcar la vida útil de la infraestructura y de sus elementos particulares.
- Proporcionar una capacitación adecuada a los/as formuladores y evaluadores/as que utilizarán esta información en los módulos SIG y las herramientas desarrolladas para entender las metodologías asociadas a los modelos y los escenarios, su aplicación y sus limitaciones, especialmente en términos de incertidumbres.

- Orientar a los/as usuarios/as acerca de que, por las capas de análisis con incertidumbre y los retos metodológicos, los resultados de los escenarios climáticos y socioeconómicos a largo plazo deben interpretarse como tendencias y magnitudes relativas, no como predicciones ni como magnitudes exactas.

Con respecto a la información del visor de escenarios de cambio climático del CRRH, esta es de acceso libre para el público en general, y se puede descargar la información de un área seleccionada. Sin embargo, se requieren las capas de información en formato ráster para ser incorporadas en las plataformas SIG nacionales en desarrollo con los socios nacionales en el marco del proyecto RIDASICC, lo cual requiere un acceso autorizado.

Con la finalidad de lograr la aplicación de esta valiosa información en los instrumentos del proyecto RIDASICC, se ha mantenido un proceso de consultas con el CRRH y sus instituciones miembros. Al momento de cerrar esta publicación, se ha solicitado el visto bueno del Consejo Director del CRRH a nivel del SICA, y a nivel nacional se han presentado solicitudes de las instituciones encargadas de los SNIP a cada Instituto Meteorológico e Hidrológico. Entre tanto, para fines de pruebas técnicas de las herramientas y las plataformas y módulos en el pilotaje de proyectos durante el año 2023, se utilizará temporalmente información de otra plataforma internacional de acceso libre. Los datos históricos de las estaciones meteorológicas y escenarios de cambio climático generados nacionalmente podrán ser integrados a la plataforma de SIG y al módulo para la inversión pública (MIP) nacionales mediante acuerdos entre las instituciones responsables de esta información y las instituciones responsables de los Sistemas Nacionales de Inversión Pública (SNIP).

## Resumen

**E**n esta publicación se proporciona un análisis consolidado de la información climática y meteorológica histórica, así como de los escenarios (futuros) de cambio climático y los modelos de circulación, actualmente disponibles para los países del COSEFIN/SICA. Asimismo, se proponen criterios y recomendaciones para la selección de los datos que pueden ser útiles para identificar las amenazas y los riesgos asociados a desastres y cambio climático para poder formular proyectos de inversión pública con medidas para reducir el riesgo de la interrupción de sus servicios por eventos extremos y las condiciones climáticas que podrían presentarse durante la vida útil de esta infraestructura. Respecto a los escenarios de cambio climático, se recomienda utilizar la base de datos geográficos del visor de escenarios de cambio climático del CRRH, colocado en el portal de Centro Clima (<https://centroclima.org/escenarios-cambio-climatico/>). Como clima histórico de referencia se recomienda la base de datos de ERA5 para temperatura y de CHIRPS para precipitación. Los escenarios generados en los países y las estaciones meteorológicas son considerados si así lo solicitan las instituciones meteorológicas nacionales.

Esta publicación se preparó en el marco del proyecto “Fortalecimiento de capacidades para la incorporación de la reducción del riesgo de desastres (RRD) y la adaptación sostenible e incluyente al cambio climático (ASICC) en la inversión pública en los países miembros del COSEFIN/SICA” (RIDASICC), ejecutado por la sede subregional en México de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Secretaría Ejecutiva del Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (SE-COSEFIN), con siete ministerios/secretarías de hacienda/finanzas y tres ministerios/secretarías responsables de la inversión pública, y con financiamiento de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).



## Introducción

Esta publicación se preparó en el marco del proyecto “Fortalecimiento de capacidades para la incorporación de la reducción del riesgo de desastres (RRD) y la adaptación sostenible e incluyente al cambio climático (ASICC) en la inversión pública en los países miembros del COSEFIN/SICA” (RIDASICC), ejecutado por la sede subregional en México de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Secretaría Ejecutiva del Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (SE-COSEFIN), con financiamiento de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y con aportes en especie de las instituciones socias. En los ámbitos nacionales, los siete ministerios/secretarías de hacienda/finanzas, así como tres ministerios/secretarías de planificación responsables de la inversión pública, se encargan de liderar la ejecución de las actividades del proyecto y forman parte del Comité Técnico Regional, mecanismo de gobernanza del proyecto en el ámbito regional. El proyecto RIDASICC se enmarca en la iniciativa sobre “Fortalecimiento de capacidades en el diseño de proyectos de inversión pública y formulación de instrumentos fiscales verdes para responder al cambio climático y contribuir a los ODS en Centroamérica y la República Dominicana”, que cuenta con el aval de los/as ministros/as del COSEFIN, y es consistente con el Plan de Trabajo Regional de la Matriz de Interés Fiscal (MIF) impulsado por estas autoridades y su Secretaría Ejecutiva.

El objetivo de este documento es proporcionar un análisis consolidado de la información climática y meteorológica histórica, así como de los escenarios (futuros) de cambio climático y los modelos de circulación, disponibles para los países del COSEFIN/SICA<sup>8</sup> y proponer criterios y recomendaciones para la selección de los datos que pueden ser útiles para formular proyectos de inversión pública con medidas para reducir el riesgo de la interrupción de sus servicios por eventos extremos y las condiciones climáticas. Dicha selección es competencia de las autoridades nacionales socias del proyecto RIDASICC, representadas por delegados/as en el Comité Técnico Regional de dicho proyecto. En el documento se reporta la decisión sobre la fuente de escenarios de cambio climático, de la que se procurará su integración en los sistemas de información geográfica correspondientes y su utilización en los procesos de capacitación y revisión de guías y otros instrumentos metodológicos previstos en cada país.

La exploración de las fuentes se basó en revisiones de las páginas de internet, bases de datos públicas, documentos y artículos de las instituciones encargadas de proporcionar información climática. En una segunda etapa se validó y corrigió la información encontrada con los encargados de las fuentes nacionales por correo y en reuniones virtuales. Adicionalmente, se tuvieron reuniones con expertos en modelos climáticos y reducción de escala de modelos globales, quienes nos relataron su trabajo en las fuentes internacionales de escenarios de cambio climático y las características de estas.

Esta publicación consta de cinco capítulos y esta introducción, en la que se expone la importancia de las variables climáticas en el marco del proyecto RIDASICC. En el capítulo I se hace un resumen de las evidencias actuales del cambio climático a nivel global, regional y nacional. En el capítulo II se presenta una propuesta cuyas características se revisaron en cada una de las fuentes de datos climáticos, y contiene criterios para una recomendación de las fuentes que deben utilizarse en el marco del proyecto RIDASICC. En el capítulo III se describe la oferta de datos climáticos históricos para los países de la región del COSEFIN/SICA tomando en cuenta fuentes nacionales e internacionales. En el capítulo IV se presentan las definiciones de

<sup>8</sup> Los países miembros del COSEFIN/SICA son Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y la República Dominicana.

los escenarios de cambio climático y de los modelos climáticos, incluyendo temas de reducción de escala e incertidumbre. En este capítulo se hace una recomendación sobre cuáles escenarios de cambio climático en particular se deben utilizar en el proyecto RIDASICC con base en un análisis de trayectorias probables. En el capítulo V se hace un mapeo de la oferta de escenarios de cambio climático para la región del COSEFIN/SICA. Por último, en el capítulo VI se enuncian las conclusiones y las recomendaciones.

La región es una de las más expuestas y vulnerables a los efectos adversos de las amenazas asociadas a los eventos extremos y al cambio climático. La recurrencia de eventos extremos, como tormentas tropicales y huracanes, ha debilitado la capacidad económica, lo que ha hecho necesaria la reasignación de recursos fiscales, escasos para responder a las emergencias, y emprender repetidos esfuerzos de reconstrucción de infraestructura. Al mismo tiempo, el cambio climático representa una amenaza flagrante para los países de la región al magnificar las vulnerabilidades socioeconómicas que inciden cada vez más en la evolución económica de actividades productivas como la agricultura y la generación hidroeléctrica, la infraestructura pública y privada, así como en el bienestar de sus habitantes y ecosistemas.

Se suelen utilizar de forma intercambiable los términos "tiempo y clima"<sup>9</sup>, que son conceptos diferentes. Ambos tienen una influencia en la vida de la Tierra y son fundamentales para el bienestar humano porque son esenciales para la salud y la producción de alimentos, entre otras actividades (IPCC, 2001). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC<sup>10</sup>) define el tiempo o la meteorología como "el estado fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizado por la temperatura, el viento, las precipitaciones, las nubes y otros elementos meteorológicos" (IPCC, 2001). El tiempo es "el resultado de sistemas meteorológicos que se desarrollan y decaen rápidamente como los sistemas de baja y alta presión que son predictibles durante un período de horas, y de los ciclones tropicales que se predicen en un período de varios días a una semana" (IPCC, 2001). Los sistemas meteorológicos son impredecibles más allá de una o dos semanas.

En tanto, el clima se refiere al estado meteorológico promedio en términos de su media y su variabilidad durante un período más largo y un área geográfica determinada. El clima varía en el tiempo, entre estaciones, años, décadas o escalas más largas de tiempo. Si la variación del clima persiste durante décadas, se denomina cambio climático. El clima está determinado por la circulación atmosférica y por sus interacciones con las corrientes oceánicas a gran escala, así como por las características de la tierra como las superficies que reflejan la radiación (superficie congelada y nieve, mantos de hielo, glaciares), la vegetación y la humedad del suelo (IPCC, 2001).

El concepto de tiempo es relevante para los proyectos de inversión pública, ya que los eventos meteorológicos extremos como las olas de calor, días secos consecutivos, las precipitaciones extremas que se presentan en uno o más días, las granizadas y los mismos ciclones tropicales que provocan fuertes vientos y lluvias extremas dañan la infraestructura pública por su intensidad en un corto tiempo. Identificar estas amenazas es posible con los registros históricos. Mientras el clima nos da las condiciones normales (promedios) de una zona donde se realizaría un proyecto de inversión pública, como las temperaturas máximas, mínimas y promedio, la precipitación acumulada y su patrón intraanual, los días de lluvia, las condiciones de aridez, entre otras variables; sin embargo, con el cambio climático, estas condiciones podrían cambiar, por lo que se requieren datos de escenarios de cambio climático.

Se hace notar que el cambio climático influye no solo en el clima, sino también en el tiempo y en los eventos meteorológicos extremos, ya que se observa que en algunos lugares los eventos extremos son cada vez más intensos o ahora ocurren en lugares donde no se habían presentado. No obstante, estos eventos extremos son difíciles de proyectar, y los escenarios de cambio climático solo dan una señal de lo que podría ocurrir. Por lo tanto, contar con datos meteorológicos,

<sup>9</sup> En la literatura en inglés, *weather* es referido al tiempo meteorológico y *climate* al clima.

<sup>10</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change.

climáticos y de escenarios de cambio climático da insumos fundamentados y necesarios para estimaciones de potenciales impactos físicos en sectores específicos, en las economías en general y para la formulación de proyectos de infraestructura. Para la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2015):

la información fiable sobre el tiempo, el clima y el agua permite que las personas, los hogares, las organizaciones, las empresas y los gobiernos adopten decisiones que reducen los efectos de las amenazas meteorológicas, mejoran la seguridad y la comodidad de la vida cotidiana, aumentan la rentabilidad de las empresas, les permiten hacer frente a las dificultades relativas a la salud pública y la reducción de la pobreza, incrementan la productividad, fortalecen las economías nacionales, protegen el medio ambiente y facilitan una base más sólida para la planificación futura en escalas temporales de horas a siglos.

Se ha observado que al poner a disposición la información, los servicios meteorológicos/hidrológicos:

han aumentado la seguridad y la eficiencia del transporte terrestre, marítimo y aéreo, han ayudado a que las comunidades se preparen para enfrentar fenómenos meteorológicos extremos y adopten las medidas necesarias, y han facilitado la mejora del proceso de adopción de decisiones en los sectores económicos sensibles a las condiciones meteorológicas (OMM, 2015).

Por su importancia, todas las variables meteorológicas e hidrológicas forman parte de otros servicios de información o son usados para análisis de largo plazo (por ejemplo, el diseño de una presa, un puente o un edificio); información sobre las condiciones actuales (por ejemplo, para la gestión del tránsito aéreo, la selección de pistas y la suspensión de las actividades del personal en tierra), o condiciones previstas en escalas temporales de minutos a meses, años o decenios (por ejemplo, para la cosecha de cultivos, la planificación del consumo eléctrico o las actividades de preparación en caso de sequías). La mayoría de los países dan mayor prioridad a la prestación de servicios de avisos de alerta temprana que hagan posible que las comunidades se preparen para fenómenos hidrometeorológicos extremos como tornados, tormentas, huracanes, olas de calor, incendios forestales y sequías, y así reducir al mínimo las consecuencias (OMM, 2015).

Desde 2008, la iniciativa de la Economía del Cambio Climático en Centroamérica y la República Dominicana (ECC CARD), realizada con los Ministerios de Hacienda/Finanzas y de Ambiente del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), generó diversos estudios del impacto del cambio climático. La ECC CARD evaluó el impacto del cambio climático en la biodiversidad, la aridez, los meses secos, los patrones intraanuales del clima, el sector de agua, los eventos extremos, la salud, los ecosistemas, el sector agropecuario, los granos básicos, el café y la hidroelectricidad en plantas de generación eléctrica de El Salvador, Guatemala, Panamá y la República Dominicana. Para obtener la relación estadística de las variables sectoriales con el clima fue necesario tener una climatología histórica base y series históricas de temperatura y precipitación. Asimismo, se utilizaron los escenarios de cambio climático del cuarto informe de evaluación (AR4<sup>11</sup>) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC<sup>12</sup>) para proyectar los impactos.

<sup>11</sup> Fourth Assessment Report.

<sup>12</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change.

Una conclusión de la ECC CARD fue que las consecuencias del aumento de la temperatura media en los países miembros del COSEFIN/SICA son múltiples y generarían elevados costos socioeconómicos, debido a los efectos de este en la biodiversidad, la agricultura, la disponibilidad de agua y la ocurrencia de eventos extremos como sequías e inundaciones causadas por huracanes y tormentas tropicales (CEPAL y otros, 2011). La ECC CARD concluyó que la implementación de medidas de adaptación sostenible e incluyente al cambio climático en los sectores analizados trae mayores beneficios, debido a los altos costos de la inacción.

En el sexto informe de evaluación (AR6<sup>13</sup>) del IPCC sobre impactos, adaptación y vulnerabilidad se indica que los incrementos observados en la frecuencia e intensidad del clima y los fenómenos meteorológicos extremos, incluidos los extremos cálidos de la tierra y el océano, fuertes precipitaciones, sequías e incendios, han tenido impactos generalizados y penetrantes en los ecosistemas, las personas, los asentamientos y la infraestructura. Desde el quinto informe de evaluación del IPCC (AR5), estos impactos observados se han atribuido al cambio climático inducido por el hombre.

El AR6 señala que, en entornos urbanos, el cambio climático observado ha tenido impactos en la salud humana, los medios de vida y la infraestructura clave, con un nivel de confianza alto. El informe señala que los múltiples peligros climáticos y no climáticos afectan a las ciudades, los asentamientos y la infraestructura, y cuando coinciden se magnifican los daños. La infraestructura, incluidos los sistemas de transporte, agua, saneamiento y energía, se ha visto comprometida por eventos extremos y de evolución lenta, con las consiguientes pérdidas económicas, interrupciones de los servicios e impactos en el bienestar. El informe también identifica riesgos para la región de Centro y Sudamérica en relación con la infraestructura, por ejemplo, los daños al ciclo de vida de la infraestructura causados por inundaciones, deslizamientos, aumento del nivel del mar, tormentas y erosión costera (IPCC, 2022).

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la adaptación al cambio climático se refiere a los ajustes de los sistemas (que pueden ser ecosistemas, sistemas sociales o económicos o una combinación de estos) y a la gestión climática de los riesgos a través de un proceso de identificación, planeación e implementación de actividades como políticas, programas o proyectos, con el fin de reducir la vulnerabilidad y construir resiliencia frente al cambio climático (LEG, 2012). Las respuestas de adaptación al cambio climático suceden en diferentes niveles: espaciales (nacional, regional, local), sectoriales (recursos hídricos, agricultura, turismo, salud pública, entre otros), tipos de acción (física, tecnológica, inversión, regulatoria, de mercado), actores (gobiernos locales, nacionales, donantes internacionales, sector privado, organizaciones no gubernamentales, comunidades locales, individuos), zona climática (zonas áridas, montañas, húmedas, entre otros), por el contexto general de desarrollo (países menos desarrollados, países de ingreso medio, países desarrollados), o en la combinación de estas categorías u otras (Adger, Arnell y Tompkins, 2005). Para cada uno de estos niveles y categorías se requiere información meteorológica, climática, de medio ambiente, sectorial, de infraestructura, social y económica para implementar las respuestas y políticas de adaptación.

En el reciente informe del IPCC sobre impactos, adaptación y vulnerabilidad se precisa que cerca de 170 países han incluido la adaptación como parte de sus políticas climáticas y procesos de planificación; además, se ha incrementado el uso de herramientas que apoyan la toma de decisiones y los servicios climáticos. No obstante, muchas de las iniciativas priorizan una reducción del riesgo de corto plazo, o están enfocadas más en la planeación que en la implementación, lo cual reduce la oportunidad para una adaptación transformacional. En el informe también se destaca que la falta de información y datos ha impuesto restricciones a los procesos de adaptación (IPCC, 2022). En los Planes Nacionales de Adaptación y Comunicaciones Nacionales de los países del SICA se utiliza información climática para el análisis de la situación del país, frecuentemente sintetizando hallazgos de los escenarios climáticos.

<sup>13</sup> Sixth Assessment Report.

En este contexto, el objetivo general del proyecto RIDASICC es contribuir a la reducción de pérdidas y daños causados por desastres y a la respuesta ante la emergencia climática mediante la integración de la RRD y la ASICC en los proyectos de inversión pública, conservando y mejorando los servicios que se brindan a la población de los países miembros del COSEFIN/SICA. Para alcanzar estos resultados se han previsto los siguientes componentes:

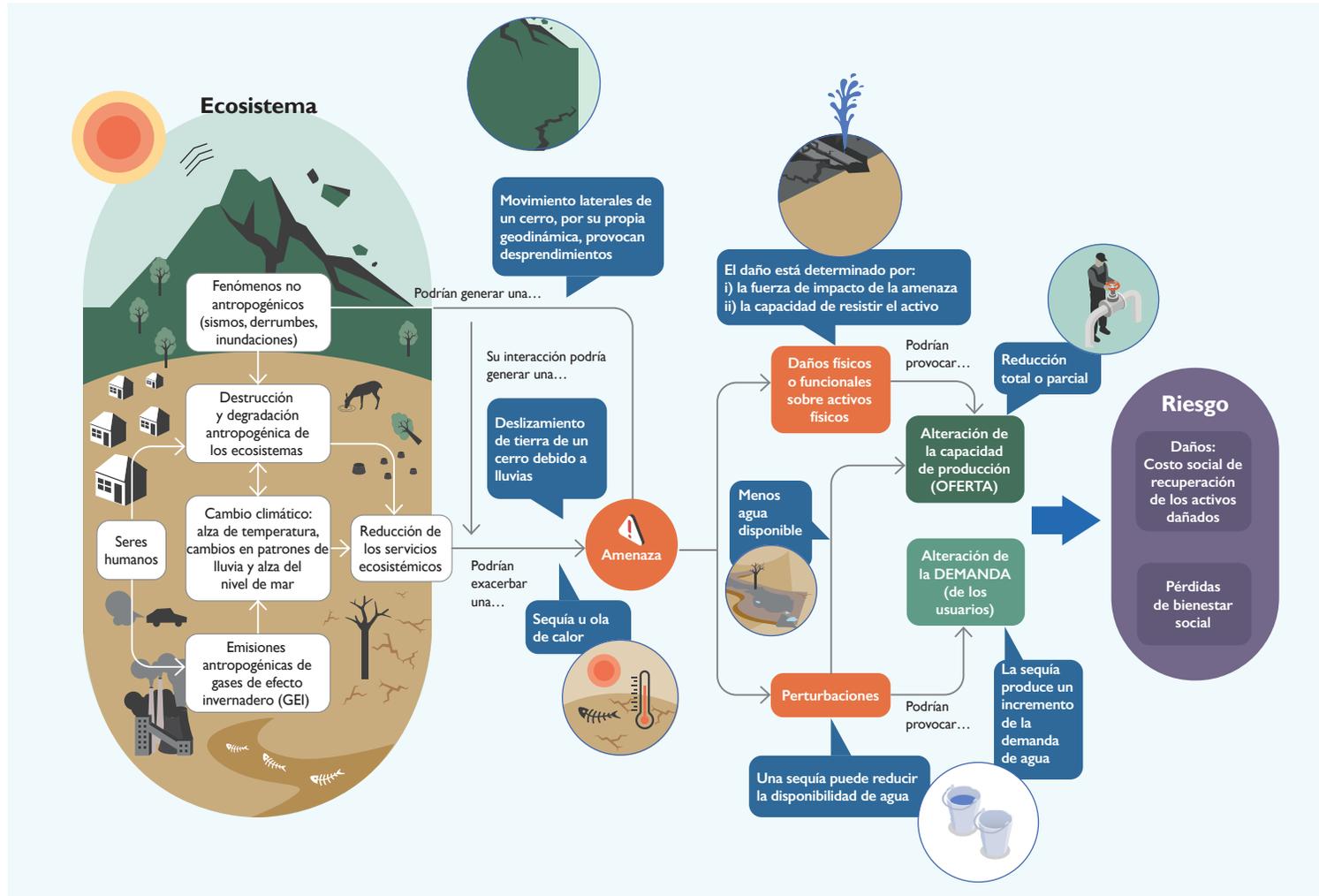
- Capacitación “aprender-haciendo” con técnicos/as nacionales y regionales para integrar RRD-ASICC en la identificación, formulación y evaluación de los proyectos de inversión pública.
- Desarrollo o mejora de guías metodológicas, manuales y herramientas nacionales o regionales del SICA para facilitar esta integración, que contengan RRD-ASICC en el ciclo de vida de los proyectos de inversión pública.
- Fortalecimiento de proyectos piloto de inversión pública por medio de una mayor integración de RRD-ASICC, en conjunto con los equipos de técnicos/as nacionales responsables.
- Desarrollo de plataformas de sistemas de información geográfica (SIG) con variables de RRD/ASICC y módulos para la inversión pública, según las necesidades e institucionalidad de datos espaciales de cada país.
- Intercambios de experiencias y buenas prácticas en la integración de la RRD-ASICC en los proyectos de inversión pública.

Para que el desarrollo de estos componentes cumpla con el objetivo del proyecto, la información meteorológica y climática histórica y los escenarios del cambio climático son insumos clave. En la propuesta del modelo conceptual metodológico (MCM) del proyecto se plantea la necesidad de determinar cómo el cambio climático podría afectar la infraestructura y su capacidad de producción de bienes y servicios. Es estratégico tomar en cuenta las condiciones del clima (temperatura, precipitación, viento, humedad) actuales y futuras posibles durante la vida útil de la nueva infraestructura desde la primera etapa de identificación del proyecto de inversión pública. Esto permitirá conocer el área de influencia en términos de las condiciones climáticas que han afectado, están afectando y estarán afectando las condiciones o perfiles de demanda-consumo de los/as usuarios/as, así como los riesgos de daño a la infraestructura, a los activos físicos de esta o perturbaciones a las funciones de producción y demanda.

En el diagrama 1 se muestra la propuesta de análisis de los componentes del riesgo y sus cadenas de causalidad o impacto en la infraestructura y su provisión de bienes y servicios, con la mirada global e integral que se quiere dar a la reducción del riesgo de desastres y la adaptación sostenible e incluyente al cambio climático en el Modelo Conceptual del proyecto RIDASICC (Vega y Lennox, 2023). Nótese que se reconoce que la infraestructura, existente o un proyecto nuevo, está insertada dentro de un ecosistema, el cual incluye elementos naturales y condiciones del clima de especial interés para identificar las amenazas.

En el diagrama 1 se observa que las amenazas de interés son las vinculadas a condiciones del clima que están evolucionando como resultado del cambio climático antropogénico, y que pueden exacerbar los desastres o provocar perturbaciones que afectan a la población y su demanda de bienes y servicios públicos. El cambio climático puede afectar tanto las amenazas tradicionalmente reconocidas y asociadas a desastres como otras no suficientemente reconocidas hasta el momento como los eventos de lento desarrollo, que incluyen el alza de las temperaturas atmosféricas y oceánicas, la desertificación, las alteraciones en la aridez, la pérdida de biodiversidad, entre otros. Este tipo de procesos tiene impactos sobre el acontecimiento de sequías, ondas de calor, inundaciones, huracanes, deslizamientos y otros. Todas estas amenazas provocan, por una parte, daños físicos y funcionales sobre activos físicos, que alteran la oferta del servicio que proporcionan y ocasionan, por otra parte, perturbaciones sobre la oferta y la demanda de agua (por ejemplo, mayor demanda de agua por sequía). Al final, esta cadena se traduce en riesgo que es el costo social de recuperación de los activos dañados y la pérdida del bienestar social por los servicios no cubiertos.

**Diagrama I**  
**Infraestructura de provisión de bienes y servicios públicos: componentes del riesgo y su causalidad**



Fuente: R.Vega Rodríguez y J.Lennox, *Modelo conceptual para integrar la reducción del riesgo de desastres y la adaptación sostenible e incluyente al cambio climático en la inversión pública (LC/MEX/TS.2023/33)*, Ciudad de México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2023.

Un elemento importante para lograr la identificación del impacto del cambio climático y los desastres en los proyectos de inversión pública son los canales de impacto, que parten de las variables climáticas, pasan por las amenazas específicas y llegan a los elementos particulares de la infraestructura y la provisión de servicios de esta que pueden ser afectados. El proyecto RIDASICC ha desarrollado dichos análisis con sus socios en los sectores de infraestructura vial y agua y saneamiento.

En el cuadro 1 se mencionan algunos ejemplos de la cadena de impacto en la infraestructura vial. Uno de estos ejemplos es el siguiente: el cambio climático tiene como consecuencia el aumento de la temperatura media, y el efecto es que la amenaza de olas de calor y los niveles de temperatura máxima serían más frecuentes e intensos. Esta amenaza impacta en el pavimento, lo que provocaría la degradación del asfalto, la generación de agrietamiento y deformaciones. Algunas de estas amenazas como la sequía puede provocar taludes, que se relacionan con la pérdida de la cobertura vegetal que generaría erosión del suelo y deslizamiento de material sobre la infraestructura. Estos daños tienen impacto en el servicio, ya que se podría tener daños en los vehículos y accidentes, así como cierres viales para su reparación. Al identificar estos impactos en los elementos de la infraestructura vial es posible tomar medidas de reducción de riesgo y de adaptación al cambio climático (Mendoza, 2023).

**Cuadro 1**  
**Ejemplos de impactos del cambio climático en la infraestructura vial**

Amenazas	Elementos de la infraestructura	Impacto
Altas temperaturas y olas de calor	Pavimentos	Exceder los límites plásticos de la mezcla asfáltica propensa a deformaciones asociadas al paso de las ruedas y deterioros en superficies de rodamiento. Generación de agrietamientos por fatiga térmica. Degradación del asfalto.
	Puentes	Aumento de la expansión térmica en juntas de pavimentos o uniones de puentes puede provocar estrés en la integridad de la estructura.
	Operación	Limitación en las horas de trabajo diurno para la construcción y mantenimiento de carreteras. Afectaciones en los vehículos por sobrecalentamiento y desgaste de neumáticos. Daños en los circuitos eléctricos de señalización.
Sequía	Pavimentos	Aceleración de la degradación de las capas de cimentación por pérdida de humedad. Contracción significativa del suelo con agrietamientos.
	Taludes	Pérdida de cubierta vegetal adecuada, que genera erosión y deslizamientos de material en taludes de corte o terraplén. Cambios en el paisaje.
	Operación	Cierre temporal de carreteras a causa de la amenaza de incendio o visibilidad reducida.
Aumento de la temperatura y del nivel del mar	Pavimento	Degradación e inestabilidad en el asfalto y cimientos por filtración de agua por marejadas. Pérdida de soporte estructural en el pavimento, que resulta en baches, grietas y hendiduras.
	Operación	Inundaciones costeras en infraestructura vial pueden afectar completamente las carreteras.
	Materiales	Repercusión en el comportamiento físico-químico de los materiales utilizados en la construcción de la infraestructura vial debido a cambios químicos en el océano.
Ciclones tropicales, huracanes, marejadas	Drenaje	Presión en la estabilidad y capacidad del drenaje.
	Operación	Daños o destrucción de vehículos, puentes e infraestructura vial. Bloqueos de carreteras debido a objetos caídos. Inundación de carreteras, de calzadas en zonas bajas y con drenaje insuficiente. Derrumbes y deslaves.

Amenazas	Elementos de la infraestructura	Impacto
Incremento de tormentas y precipitación	Operación	Interrupciones o retrasos del tránsito por el clima debido a una precipitación excesiva. Impactos en el nivel de servicio de la vialidad. Inundación de carreteras que obligue al cierre temporal de estas. En zonas costeras, las carreteras pueden inundarse a causa de las marejadas de tormenta.
	Pavimentos	Degradación e inestabilidad en el asfalto y cimientos por filtración de agua por inundaciones. Los cimientos se ven comprometidos. El pavimento pierde su soporte estructural, lo que da lugar a baches, grietas y hendiduras en la superficie de rodamiento.
	Taludes	Deslizamientos/deslaves de material de los taludes y terraplenes por alta penetración de agua. Erosión de taludes.
	Drenaje	Obras de drenaje insuficientes por precipitaciones excesivas y de larga duración. Reducción de la capacidad hidráulica o bloqueo de los sistemas de drenaje por incremento de escombros provenientes de taludes, vegetación o sedimentos de escorrentías superficiales debido a su erosión.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de J. F. Mendoza, "Canales de impacto del cambio climático en infraestructura vial", Ciudad de México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2023, en prensa.

Uno de los componentes es el desarrollo y el fortalecimiento de guías y manuales generales y sectoriales para integrar RRD-ASICC en la identificación, la formulación y la evaluación de proyectos, con base en el MCM del proyecto RIDASICC. Para facilitar su aplicabilidad y practicidad, estos manuales y guías estarán respaldados por herramientas específicas, que incluyen: selección de medidas RRD-ASICC, daños y pérdidas, análisis de demanda, valoración de costo-beneficios y evaluación económica, social y ambiental.

La aplicación de este enfoque en el ciclo de los proyectos de inversión pública está basada en SIG. Por esta razón, el proyecto RIDASICC está desarrollando plataformas SIG multipropósito por país que integren la información requerida relacionada con RRD-ASICC y datos sectoriales, así como un módulo para la inversión pública (MIP) para los sectores de infraestructura vial y de agua potable y saneamiento, dentro del cual las aplicaciones de las herramientas están orientadas a dar soporte a formuladores y evaluadores durante la fase de preinversión en los proyectos de inversión pública (PIP), lo que facilita el acceso a datos y mapas relevantes, incluyendo los climáticos. Asimismo, contempla la carga de información sectorial o de campo. Potenciales usuarios/as del MIP también son los supervisores de los Sistemas Nacionales de Inversión Pública (SNIP), oficinas de protección civil, ministerios de ambiente, gobiernos locales e instituciones regionales como la SE-COSEFIN, la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) y el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres en América Central y República Dominicana (CEPRENAC), entre otros.

En la región se han hecho algunos esfuerzos para generar plataformas SIG con objeto de apoyar la formulación de proyectos de inversión pública, que incluyen el uso de escenarios climáticos e información sectorial. Uno de ellos es el Sistema de Información Climática para el Diseño de Infraestructura Carretera (SICLIC) del Instituto Mexicano del Transporte en México (véase el recuadro 1). Una de las aplicaciones del Sistema es la identificación de la temperatura futura con los escenarios de cambio climático y la preparación de la mezcla asfáltica y aditivos con esas condiciones climáticas que permitan una mayor vida útil de esta carpeta.

### Recuadro I Ejemplo del uso de escenarios climáticos para el diseño de infraestructura resiliente: Sistema de Información Climática para el Diseño de Carreteras (SICLIC)

El SICLIC es una plataforma con un visor SIG, desarrollado en México por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) para que los diseñadores de carreteras puedan obtener información meteorológica y climatológica histórica y de escenarios de cambio climático cercana al proyecto que les sea útil en el diseño de los diferentes elementos que integran un activo carretero, tales como un pavimento, las obras de drenaje, las pendientes transversales de la calzada y otros, o en la selección de los materiales como el asfalto, los aditivos, las emulsiones, entre otros. El sistema comprende tres secciones principales con capas de información del clima y una sección con la red nacional de caminos. Cuenta con módulos que permiten efectuar diversas funciones de manera automática.

La primera sección contiene la información meteorológica y climática y los análisis climáticos sobre el clima histórico basados en los datos de estaciones meteorológicas automáticas de México, que se encuentran a una distancia no mayor de cinco kilómetros de una carretera. Las estaciones meteorológicas son del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), y las estaciones hidrométricas se obtuvieron de la misma CONAGUA, a través del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

La segunda sección está compuesta por los escenarios de cambio climático desarrollados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Comprende los cortes 2015-2039 y 2075-2099 y tiene los escenarios RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5 y RCP2.6, disponibles para los cambios de temperatura media, mínima y máxima, y precipitación (véase el mapa inserto en este recuadro). El escenario del aumento del nivel del mar fue evaluado con dos contextos: uno, con un aumento de dos metros; el otro, con un aumento de cinco metros. Las estimaciones de las áreas afectadas se obtuvieron a partir de la información ráster que ofrece el CReSIS (Center of Remote Sensing of Ice Sheets).



La tercera sección contiene el mapa de la clasificación climática de México desarrollado por García (1998) para la Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO) basado en la clasificación de Köppen. Las capas de la Red Nacional de Caminos y la capa de puentes fueron desarrolladas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en colaboración con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y el IMT.

De acuerdo con Mendoza y otros (2021), las variables del clima forman parte del diseño de la infraestructura carretera, por lo que los diseños toman en cuenta las condiciones climáticas del sitio en donde se construirá el proyecto. Algunos ejemplos de los elementos de diseño son:

- Pavimentos flexibles. Los métodos de diseño de pavimentos empíricos que se utilizan en México consideran el clima, ya que las condiciones meteorológicas influyen en la capacidad de soporte del suelo, el drenaje y la variación estacional de la capacidad de soporte del terreno natural. En estos casos, las variables necesarias son la precipitación y la temperatura. Otros métodos empírico-mecanicistas combinan el clima con el tránsito en la vialidad, e incluyen las variables de humedad, temperatura y precipitación. Para estos diseños, se proponen los siguientes indicadores:
  - Mezclas asfálticas. El Programa Estratégico de Investigación de Carreteras desarrolló un sistema de valoración/ clasificación/selección denominado grado de desempeño (PG<sup>14</sup>) para los materiales, como el asfalto. En la clasificación de PG se proponen dos temperaturas que representan la capacidad del cemento asfáltico para resistir la formación de roderas en el pavimento en temperaturas altas y resistir el agrietamiento térmico por influencia de bajas temperaturas. El grado de desempeño representa la temperatura máxima y mínima esperada en el pavimento según los datos climáticos locales del proyecto carretero, y se ajusta en función de la intensidad del tránsito y la velocidad de operación.

<sup>14</sup> Performance Grade.

- Valor relativo de soporte (VRS) del suelo. Es la capacidad de carga del suelo. Está asociado al contenido de humedad del suelo que varía en función de la precipitación o del nivel freático del agua.
- Coeficiente de drenaje. Es un tema importante en el diseño de pavimentos carreteros, pues el exceso de agua en las diferentes capas del pavimento puede conducir a fallas prematuras. La precipitación es un insumo de entrada para determinar el porcentaje de tiempo en el que la estructura del pavimento estaría expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.
- Pavimentos rígidos. Para el diseño de pavimentos rígidos es importante considerar la temperatura del aire y la del pavimento, ya que la diferencia entre estas causa fenómenos de alabeo (deformación cóncava o convexa).
- Obras de drenaje. Con la información climática es posible construir curvas de intensidad-duración-frecuencia para el diseño de la capacidad del sistema de drenaje. Se puede evaluar la tasa de socavación en función de la velocidad de los nuevos flujos de agua debida a una precipitación extrema.
- Puentes. Se requieren períodos de retorno adecuados con la información histórica, considerando las proyecciones futuras de precipitación para evitar inundaciones del puente y evaluar la tasa de socavación por lluvia extrema que afectan los estribos y las pilas de los puentes.
- Taludes. Un correcto diseño de un talud de corte debe considerar la precipitación del lugar para evitar deslizamientos que podrían afectar la operación de la carretera por cierres parciales o totales.

La Asociación Mexicana del Asfalto, A. C. (AMAAC), utiliza la herramienta SICLIC en sus cursos para enseñar a calcular el grado de desempeño de las mezclas asfálticas.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Gobierno de México, *Sistema de información climática para el diseño de carreteras*; Instituto Mexicano del Transporte (IMTA), 2022 [en línea] <http://siclic.imt.mx/SICLIC/>; J. F. Mendoza y otros, "Sistema de Información Climática para el diseño de infraestructura carretera", *Publicación Técnica*, N° 636, Querétaro, México, Instituto Mexicano del Transporte (IMT), 2021.

El uso de los escenarios de cambio climático es cada vez más frecuente en la planificación y toma de decisiones de los gobiernos y es ampliamente recomendado en la elaboración de Planes Nacionales de Adaptación (LEG, 2012). Estos han sido progresivamente más accesibles para su aplicación por diversos actores (véase el recuadro 2). Sin embargo, se debe tener cautela en la utilización de los escenarios; por ejemplo, los escenarios climáticos no son predicciones. Se recomienda su uso climático, así como tomar en cuenta la presencia de sesgos, el tratamiento de la incertidumbre y la definición de un período de análisis, entre otros.

### Recuadro 2

#### Ejemplo del uso de escenarios climáticos como herramienta para la planificación: Atlas Nacional de Vulnerabilidad al cambio climático en México

Ejemplo de una herramienta para la toma de decisiones y para el uso de los escenarios de cambio climático para medir impactos en los sectores y georreferenciar los resultados en un SIG es el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático en México, del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático en México (INECC). En este Atlas se examina la información climática y social para construir diversos índices, y se complementa con una revisión de políticas públicas estatales y locales.

El objetivo del Atlas es identificar los territorios más vulnerables a los efectos del cambio climático sobre la base de datos históricos, estudios previos y escenarios futuros, considerando la precipitación, las temperaturas y los fenómenos hidrometeorológicos extremos. También busca producir un registro de medidas y acciones de adaptación para gestionar la vulnerabilidad detectada en sectores y sistemas (Monterroso y otros, 2014). Para las actividades económicas, se georreferenció por municipio la vulnerabilidad de la producción ganadera y la producción forrajera ante el estrés hídrico, así como la vulnerabilidad de la producción ganadera extensiva ante inundaciones. En cuanto a la población, se calculó la vulnerabilidad de asentamientos humanos ante deslaves, inundaciones y ante el incremento en la distribución del dengue derivado de posibles cambios en el clima. El Atlas se basa en un análisis de la vulnerabilidad construido a partir de variables agrupadas bajo los conceptos de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. En el caso de las inundaciones, se calculó la vulnerabilidad actual y modelos de cambio climático. En tal ejercicio se utilizaron los modelos GFDL-CM3, CNRC-M5, HADGEM2-ES y MPI-ESM-LR en el escenario RCP8.5.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), *Atlas de vulnerabilidad al cambio climático en México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2022 [en línea] <https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/index.html#zoom=6&lat=21.5268&lon=-76.9841&layers=1>; *Municipios vulnerables al cambio climático con base en los resultados del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático*, D. González Terrazas, A. Vermonden Thibodeau y F. Gress Carrasco (coords.), México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), 2021, pág. 60; *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático, México* (1ª. ed., libro electrónico), Ciudad de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), 2019 [en línea] [https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC\\_LibroDigital.pdf](https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf).

## I. Evidencia del cambio en el clima a nivel global y regional

El objetivo de este capítulo es presentar el cambio en el clima en los ámbitos global, regional y en los países del COSEFIN/SICA a partir de la información del sexto informe de evaluación (AR6<sup>15</sup>) del IPCC, el reporte del clima de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el documento de escenarios climáticos de la CEPAL y CAC-SICA (2020). Además, se incluye la actualización del AR6 del IPCC sobre la evidencia de la atribución en eventos extremos por el cambio climático y otras iniciativas como Germanwatch (índice de riesgo climático).

De acuerdo con el AR6 del IPCC, muchos de los cambios en el clima de la Tierra no tienen precedentes en cientos de miles de años, y algunos de los cambios que ya se están produciendo, como el aumento continuo del nivel del mar, no se podrán revertir hasta dentro de varios siglos o milenios (IPCC, 2021a). El informe consolida y analiza la evidencia científica de este cambio y concluye que la actividad humana es la principal fuerza motriz de los cambios en las variables climáticas observadas.

### A. Gases de efecto invernadero

Las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) se han incrementado considerablemente en la atmósfera. Las actividades humanas son las principales responsables del calentamiento del planeta por encima de los niveles preindustriales (1850-1900). Las concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en 2019 fueron más altas que en cualquier período en los últimos 2 millones de años (nivel de confianza alto)<sup>16</sup>, y las concentraciones de metano (CH<sub>4</sub>) y de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) fueron más altas que en cualquier momento en al menos 800.000 años (nivel de confianza muy alto). De acuerdo con los hallazgos del AR6, “a menos que se reduzcan las emisiones de los GEI de manera inmediata, rápida y a gran escala, limitar el calentamiento a una temperatura global media de 1,5 °C, incluso a 2 °C, será una meta inalcanzable (IPCC, 2021a).

En 2020, las concentraciones siguieron aumentando en la atmósfera alcanzando promedios anuales de 413,2 partes por millón (ppm) de CO<sub>2</sub>, 1.889 partes por billón (ppb) de CH<sub>4</sub> y 333,2 ppb de N<sub>2</sub>O. El incremento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> entre 2019 y 2020 fue ligeramente menor al observado entre 2018 y 2019, pero con una tasa de crecimiento superior al promedio anual de la última década. El aumento de las concentraciones en 2020 ocurrió a pesar de una disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub> de combustibles fósiles de 5,6% debido a las restricciones por la pandemia de COVID-19 (OMM, 2022b). En 2021, las concentraciones alcanzaron nuevos máximos, con un promedio de 415,7 ppm de CO<sub>2</sub>, 1.908 ppb de CH<sub>4</sub> y 334,5 ppb de N<sub>2</sub>O (OMM, 2022c).

Expresado en dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), la concentración de todos los gases de efecto invernadero (incluyendo aerosoles) alcanzó 500 ppm en 2019; en 2020 fue de 504 ppm, y en 2021, de 508 ppm (Montzka, 2022). De acuerdo con el IPCC (2014a), es probable que se supere 1,5 °C a lo largo del siglo XXI, con 500 ppm de CO<sub>2</sub>e; y de alcanzarse las 650 ppm, es probable que se superen los 2 °C.

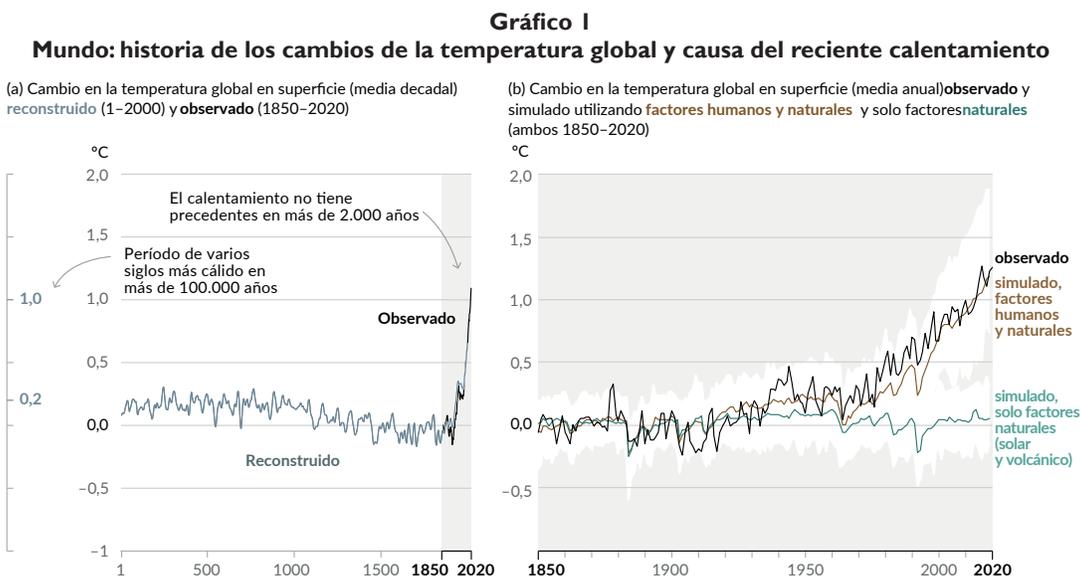
<sup>15</sup> Sixth Assessment Report.

<sup>16</sup> En el IPCC los términos utilizados para definir los niveles de confianza son: confianza muy alta (al menos 9 de 10 probabilidades), confianza alta (al menos 8 de 10 probabilidades), confianza media (al menos 5 de 10 probabilidades), confianza baja (al menos 2 de 10 probabilidades), Confianza muy baja (al menos 1 de 10 probabilidades).

## B. Temperatura

Para el período de 2011 a 2020, el aumento de la temperatura global fue de 1,09 [0,95 a 1,20] °C más alta que en el periodo preindustrial, 1850-1900, con mayores aumentos sobre la tierra 1,59 [1,34 a 1,83] °C que sobre el océano 0,88 [0,68 a 1,01] °C (IPCC, 2021a). Entre la evidencia global que presenta el AR6 está el registro de observaciones del cambio de temperatura media, que muestra un aumento sin precedentes en más de 2.000 años, con una clara influencia de la actividad humana. Este análisis es resultado de la mejora en los conjuntos de datos de observación para evaluar el calentamiento histórico, así como del progreso científico de la respuesta del sistema climático a las emisiones de GEI producidas por el ser humano (IPCC, 2021a).

En el gráfico1 se representa la anomalía de la temperatura global media para los años 1-2020 y 1850-2020 con respecto de la temperatura media global del período 1850-1900. En el panel a) se presenta la temperatura global reconstruida con archivos paleoclimáticos del año 1 al año 2000 (línea azul) y observaciones directas para el período de 1850 a 2020 (línea negra) en promedios decadales, con un rango muy probable<sup>17</sup> de las anomalías para la temperatura reconstruida (zona gris). En la barra vertical sombreada a la izquierda se muestra el incremento de la temperatura global sin precedentes. Por su parte, en el panel b) se presentan los cambios anuales de la temperatura superficial global para los últimos 170 años (línea negra), comparado con las simulaciones de los cambios de la temperatura de los modelos de clima respondiendo a factores naturales y humanos (línea café) y solo con factores naturales (línea verde), en específico variaciones en la radiación solar y actividad volcánica, con sus respectivos rangos muy probables. Las simulaciones de los modelos climáticos que incluyen factores por la actividad humana muestran trayectorias de la anomalía de la temperatura global muy cercanas a lo observado. Al no incluir estos factores humanos y solo los naturales, las simulaciones indican anomalías muy cercanas a cero y alejadas de lo observado, lo que permite concluir que es el factor humano el principal causante del cambio observado (IPCC, 2021a).

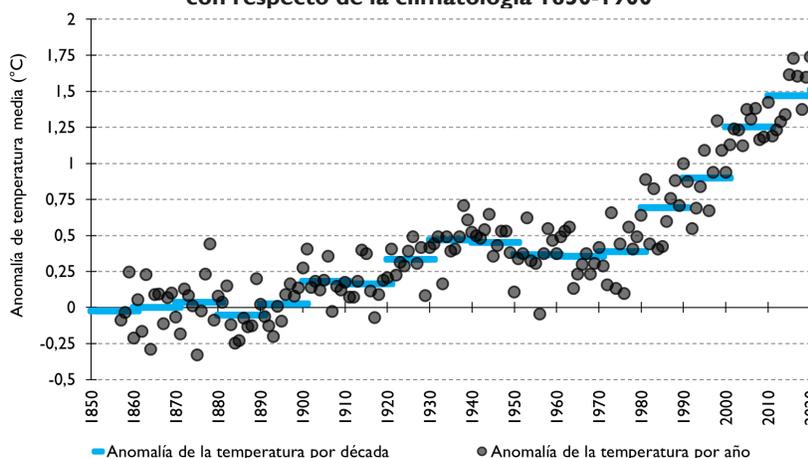


Fuente: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), "Resumen para responsables de políticas", *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, V. Masson-Delmotte y otros (eds.), Cambridge University Press, 2021b.

<sup>17</sup> En el IPCC se han utilizado los siguientes términos para indicar la probabilidad evaluada de un resultado: probabilidad prácticamente cierta, del 99% al 100%; muy probablemente, del 90% al 100%; probablemente, del 66% al 100%; casi tan probable como improbable, del 33% al 66%; improbable, del 0% al 33%; muy improbable, del 0% al 10%, y excepcionalmente improbable, del 0% al 1%. Términos adicionales (extremadamente probable del 95% al 100%; más probable que improbable > 50%-100%, y extremadamente improbable del 0% al 5%) también se utilizan cuando corresponde.

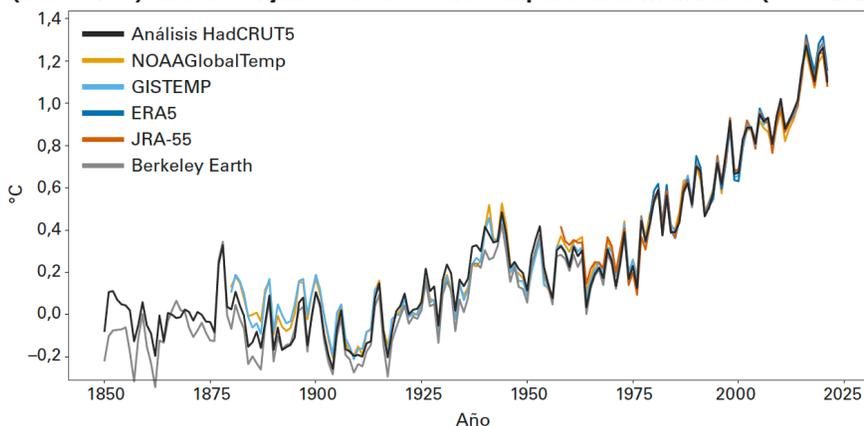
El AR6 proporciona evidencia de un incremento acelerado de la temperatura de la superficie terrestre desde 1970, más que en cualquier otro período de 50 años durante al menos los últimos 2.000 años (confianza alta), y esta temperatura ha aumentado más que la de la superficie oceánica (IPCC, 2021a). En el gráfico 2 se representa la trayectoria de la anomalía de la temperatura media de la superficie terrestre, reportada en la climatología<sup>18</sup> de la unidad de investigación del clima (CRU<sup>19</sup>). Según los registros de la Unidad, 2020 fue el año con mayor incremento acumulado con respecto del promedio del período de 1850 a 1900 (período preindustrial), con 1,74 °C, seguido de 2016, cuando alcanzó un aumento de 1,73 °C; mientras para la década de 2011 a 2020, el promedio de incremento fue de 1,47 °C. En el año 2022 se tuvo una anomalía de 1,52 °C (CRU, 2023a).

**Gráfico 2**  
**Anomalía de la temperatura media global de la superficie terrestre por año y por década, 1850-2022, con respecto de la climatología 1850-1900**



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Climatic Research Unit (CRU), Temperature CRUTEM5, 2023 [base de datos en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/CRUTEM5.0\\_gl.txt](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/CRUTEM5.0_gl.txt).

**Gráfico 3**  
**Diferencia de la temperatura media anual mundial con respecto de las condiciones preindustriales (1850-1900) en seis conjuntos de datos de temperaturas mundiales (1850-2021)**



Fuente: Organización Meteorológica Mundial (OMM), *Estado del clima mundial en 2021* (OMM-N° 1290), 2022b, pág. 6 [en línea] [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=22166#.Y9Ash3bMKbg](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22166#.Y9Ash3bMKbg).

<sup>18</sup> La climatología es el promedio histórico de 30 o más años de variables como temperatura y precipitación.

<sup>19</sup> Climatic Research Unit (véase el capítulo III sobre la oferta de datos históricos).

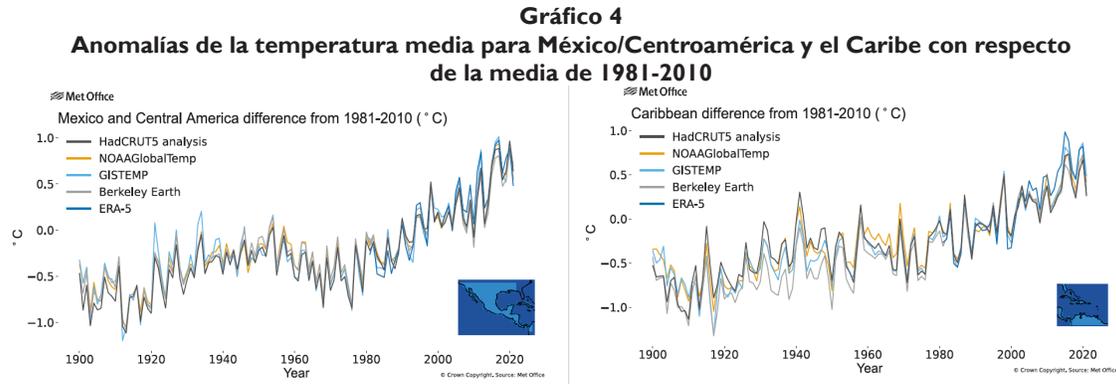
Considerando seis conjuntos de datos de temperatura mundial, en 2021 la temperatura media mundial fue  $1,11 [\pm 0,13]$  °C mayor<sup>20</sup> que en el período preindustrial (1850-1900) (véase el gráfico 3). Esto coloca al año 2021 entre el quinto y el séptimo año más cálidos registrados en el mundo con respecto de la temperatura media del período de 1981 a 2010; y de 2015 a 2021 han sido los años más cálidos registrados (OMM, 2022b).

En comparación con el período de 1961 a 1990, en el Caribe y en México/Centroamérica se reportaron en 2021 anomalías de la temperatura media de 0,68 °C y 0,97 °C, respectivamente. Con referencia a 1981-2010, las temperaturas medias en 2021 fueron 0,35 °C y 0,59 °C superiores en el Caribe y México/Centroamérica, respectivamente (véase el gráfico 4) (OMM, 2022a).

En 2021 se registraron anomalías de entre +1°C y 3°C en Guatemala, Honduras y El Salvador, y de +0,5°C en Nicaragua. En Costa Rica y Panamá se produjo un enfriamiento, y en la República Dominicana hubo una anomalía positiva (OMM, 2022a).

De acuerdo con el reporte especial del IPCC sobre cambio climático, desertificación, degradación de la tierra, gestión sostenible de la tierra, seguridad alimentaria y gases de efecto invernadero, en los ecosistemas terrestres:

"[...] los aumentos en la temperatura media global en la superficie, con respecto a los niveles preindustriales, afectan a los procesos involucrados en la desertificación (escasez de agua), la degradación de la tierra (erosión del suelo, pérdida de vegetación, incendios forestales, deshielo del permafrost) y la seguridad alimentaria (rendimiento de los cultivos e inestabilidad del suministro de alimentos). Los cambios en esos procesos generan riesgos para los sistemas alimentarios, los medios de subsistencia, la infraestructura, el valor de la tierra y la salud humana y de los ecosistemas" (IPCC, 2020).



Fuente: Organización Meteorológica Mundial (OMM), *El estado del clima en América Latina y el Caribe 2021* (OMM-N° 1295), 2022a [en línea] [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=22105#.Y9B1anbMKbg](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22105#.Y9B1anbMKbg).

Nota: Los datos para el Caribe y México/Centroamérica proceden de cinco conjuntos de datos distintos: HadCRUT5, NOAA GlobalTemp, GISTEMP, Berkeley Earth y ERA5.

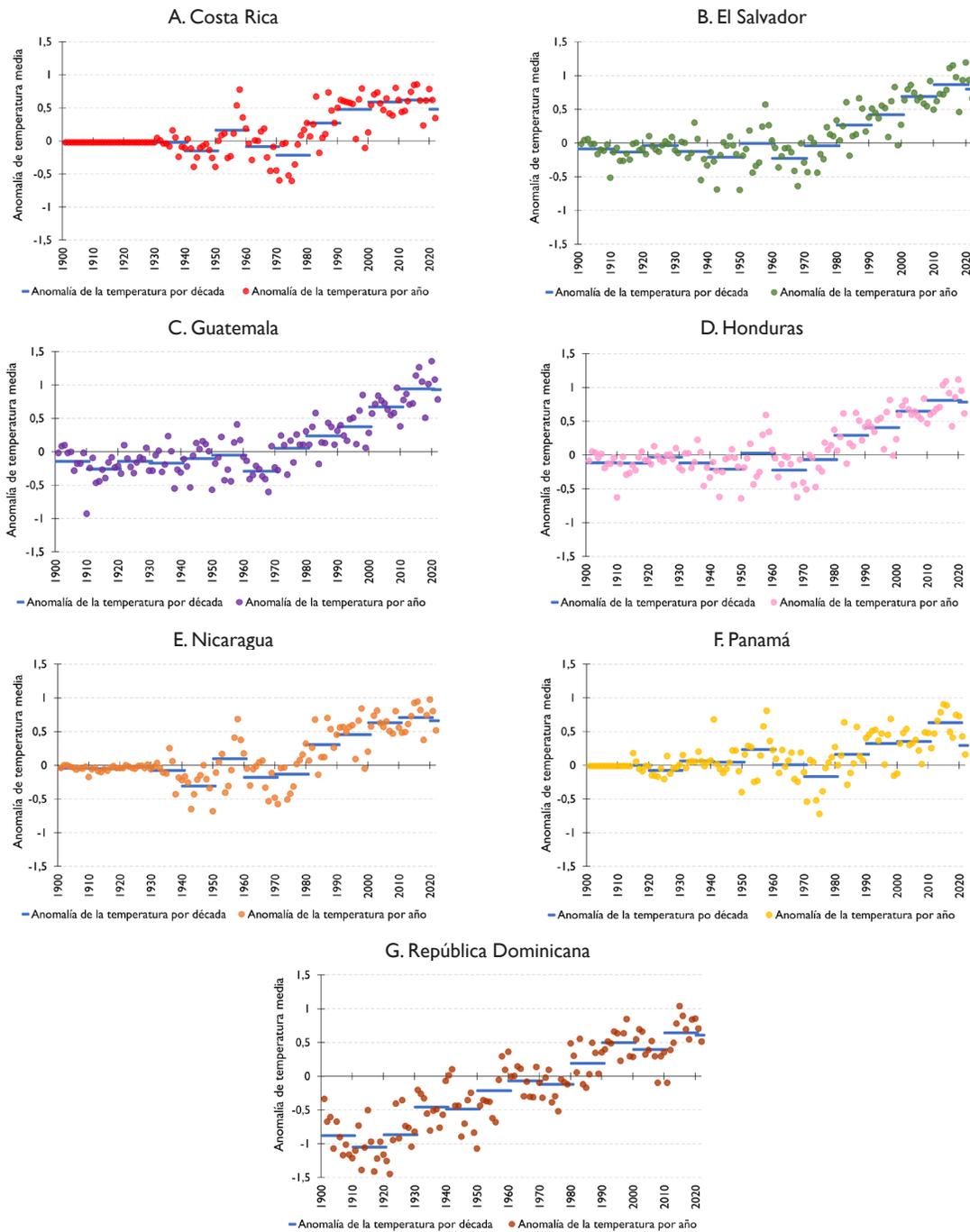
## I. Evidencia de cambios en la temperatura en la región del SICA

La evidencia del cambio en el clima durante el período histórico en la región indica un aumento de la temperatura sostenido en todos los países de la región, con algunas diferencias. Se observan aumentos de temperatura mayores en los países del norte de la región (El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua) con respecto de los países de latitudes más bajas (Costa Rica y Panamá). Desde los años ochenta, cada década ha tenido una anomalía mayor en comparación con la anterior, con excepción de la República Dominicana en la primera década del siglo (véase el gráfico 5).

<sup>20</sup> "El aumento de las temperaturas contribuye a la expansión térmica de los océanos, al aumento de la fusión de los mantos de hielo de Groenlandia y la Antártida, al deshielo de los glaciares de montaña y a cambios en la circulación de los océanos, lo que a su vez contribuye al aumento del nivel medio del mar en el mundo. Dichos cambios en estos y otros indicadores climáticos se deben en gran medida a la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera" (OMM, 2021a).

En la década de 2011 a 2020, El Salvador, Guatemala y Honduras registraron aumentos de temperatura de más 1 °C en más de un año con respecto de la temperatura del período de 1961 a 1990; la república dominicana, solo en un año, y las anomalías en nicaragua, costa rica y panamá estuvieron por debajo de 1 °C, pero ya muy cerca de pasar ese umbral en los próximos años (véase el gráfico 5).

**Gráfico 5**  
**Centroamérica y República Dominicana: anomalía de la temperatura por año y década, 1900-2022,**  
**con respecto de la climatología de 1961-1990**  
*(En grados centígrados)*



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Climatic Research Unit (CRU), CRU TS Version 4.07, 2023 [base de datos en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.07/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/).

Nota: La poca variabilidad en las primeras décadas para algunos países refleja la poca información para esos mismos países en esos años. El caso de la República Dominicana refleja el calentamiento en la región del Caribe desde hace más de un siglo.

Según esta climatología, en los contextos nacionales, el mayor incremento, en referencia a 1961-1990, en Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua ocurrió en 2020, con una anomalía de 1,36 °C, 1,19 °C, 1,12 °C y 0,98 °C, respectivamente. En Costa Rica, la mayor anomalía se registró en 2016, y en Panamá y la República Dominicana, en 2015. La anomalía del promedio de la década de 2011 a 2020, con respecto de 1961-1990, fue un aumento menor de 1 °C en la región, pero Guatemala se aproxima, con 0,94 °C, y le siguen El Salvador y Honduras, con 0,87 °C y 0,81 °C, respectivamente. Las anomalías del sur de Centroamérica estuvieron entre 0,71 °C y 0,62 °C. El año 2021 también fue un año con una anomalía superior con respecto de la década anterior por país, con excepción de Panamá, y las anomalías se redujeron en 2022, pero se mantuvieron por arriba de 0,5 °C en cinco de los países (véase el cuadro 2).

**Cuadro 2**  
**Centroamérica y República Dominicana: anomalía mayor, de la década 2011-2020 y en 2021 y 2022**  
**con respecto de 1961-1990**  
(En grados centígrados)

	Valores con mayor anomalía (año)	Anomalía de la década 2011-2020	Anomalía en 2021	Anomalía en 2022
Costa Rica	0,85 °C (2016)	0,62 °C	0,62 °C	0,34 °C
El Salvador	1,19 °C (2020)	0,87 °C	0,94 °C	0,66 °C
Guatemala	1,36 °C (2020)	0,94 °C	1,08 °C	0,78 °C
Honduras	1,12 °C (2020)	0,81 °C	0,95 °C	0,62 °C
Nicaragua	0,98 °C (2020)	0,71 °C	0,80 °C	0,52 °C
Panamá	0,90 °C (2015)	0,63 °C	0,43 °C	0,16 °C
República Dominicana	1,04 °C (2015)	0,64 °C	0,71 °C	0,51 °C

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Climatic Research Unit (CRU), CRU TS Version 4.07, 2023 [base de datos en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.07/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/).

Los cambios en la temperatura media serán determinantes en la precipitación. Duffy, Malone y Sheffield (2014) encuentran que en el escenario de cambio climático RCP8.5<sup>21</sup>, con el modelo CMIP3, la atmósfera contará con mayor capacidad para sostener vapor de agua, lo que llevaría a episodios de precipitaciones intensas; pero, al mismo tiempo, este ciclo del agua más acelerado comportaría períodos más secos. En cuanto a las sequías, algunos estudios concluyen que pueden ser una consecuencia de la temperatura de la superficie del mar.

Con un calentamiento global de más de 2 °C, el nivel de confianza y la magnitud del cambio en las sequías y las precipitaciones intensas y medias aumentan en comparación con 1,5 °C. Un hallazgo clave es que limitar el calentamiento global a 1,5 °C, comparado con 2 °C, reduciría aproximadamente a la mitad la proporción de la población mundial que podría sufrir escasez de agua con un aumento de 2 °C, aunque existe una considerable variabilidad entre las regiones (nivel de confianza medio). De igual modo, los estudios con diversos índices de sequía estiman mayores impactos adversos con incrementos de 2 °C. Por otro lado, con un calentamiento de 2 °C también existe confianza media en que habrá una expansión de las zonas donde aumentaría la escorrentía de forma significativa y las zonas afectadas por peligro de inundación en comparación con 1,5 °C. En el caso de los glaciares, se proyecta que la pérdida masiva de los glaciares continuará a lo largo del siglo XXI en todos los escenarios (IPCC, 2018 y 2021a).

<sup>21</sup> Véase definiciones de escenarios de cambio climático y modelos climáticos en el capítulo IV.

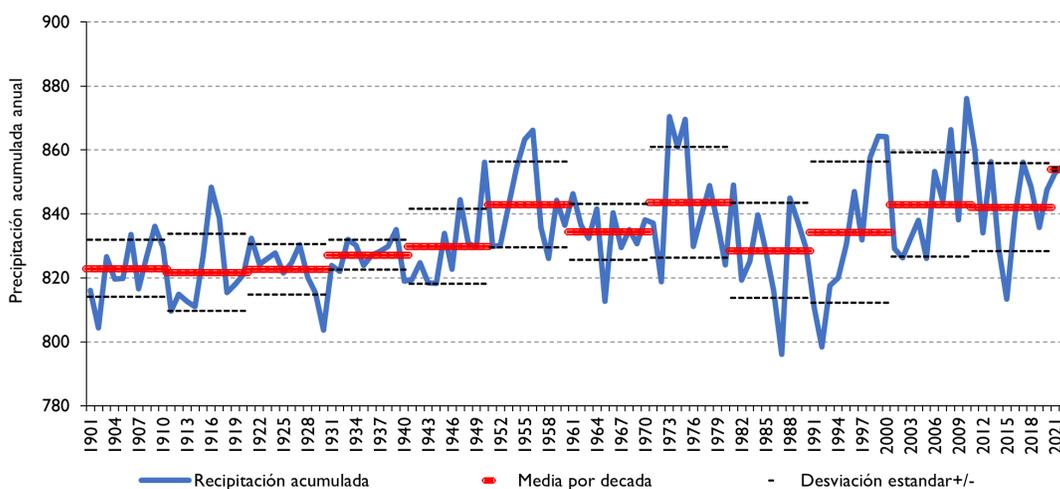
## C. Precipitación

Los hallazgos del AR6 confirmaron los cambios en el ciclo del agua. Se afirma, con una confianza media, que el promedio mundial de la precipitación sobre la tierra ha aumentado desde 1950, con una tasa más rápida de incremento desde la década de 1980, y es probable que la influencia humana haya contribuido al patrón de cambios observados en las precipitaciones desde mediados del siglo XX (IPCC, 2021a). El calentamiento global ha contribuido a un aumento general de la humedad atmosférica y la intensidad de las precipitaciones (nivel de confianza alto), una mayor evapotranspiración terrestre (nivel de confianza medio), ha influido en los patrones globales de aridez (muy probable), ha contribuido a la tendencia de los cambios observados en la salinidad de los océanos cerca de la superficie y los patrones de precipitación menos evaporación a lo largo del océano (nivel de confianza alto).

En otras zonas latitudinales, el nivel de confianza es bajo en lo relativo a las tendencias positivas o negativas de la precipitación en el largo plazo. Es importante señalar que para el análisis de precipitación histórica se requieren registros de larga duración, para poder examinar las tendencias en la precipitación, y que el análisis a escala regional oculta variaciones locales, mientras el anual oculta la variación intraanual, que es vital para entender los potenciales impactos del cambio climático y las medidas que tomar.

Con los datos disponibles y los análisis actuales no es posible determinar una tendencia para la precipitación local; sin embargo, lo que sí se ha identificado es una mayor variabilidad en los niveles de precipitación, sobre todo desde 1950, con alternancia de décadas húmedas (2000-2010) y secas (2011-2020). Posiblemente, algunos de estos cambios se expliquen por la mejora en la disponibilidad de datos, pero también por la ocurrencia de más eventos de precipitación intensa y de sequía. Esta varianza mayor de la precipitación global por década se ha incrementado con respecto de las décadas anteriores a los sesenta. Aunque la variabilidad en la precipitación es mayor, no se observan cambios en la media en los últimos 70 años y en la tendencia de precipitación (véase el gráfico 6).

**Gráfico 6**  
**Mundo: precipitación global por año, media y desviación estándar de la precipitación por década, 1901-2022**  
 (En milímetros)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Climatic Research Unit (CRU), CRU TS Version 4.07, 2023 [base de datos en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.07/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/).

Nota: La línea roja representa la media por década; la línea negra punteada es +/- una desviación estándar por década.

## I. Evidencia de cambios en la precipitación en la región del SICA

El clima de Centroamérica se caracteriza por su diversidad debido a su topografía compleja, que incluye territorios continentales, cadenas de islas y cadenas montañosas de diferentes orientaciones y elevaciones (CEPAL/CAC-SICA, 2020). La topografía interactúa con las circulaciones atmosféricas a gran escala para producir variaciones locales en el clima, incluyendo la precipitación acumulada anual, la duración de la temporada de lluvias y la ocurrencia de máximos y mínimos. Por ejemplo, las estaciones que caracterizan las zonas costeras caribeñas de Honduras, Costa Rica y Panamá poseen un régimen de lluvia más homogéneo intraanual, que contrasta con el régimen seco de invierno de la costa del Pacífico. Lo anterior se explica por las fuertes interacciones de los vientos de bajo nivel con la topografía (Taylor y Alfaro, 2005). Las variaciones dentro de la región dificultan hacer generalizaciones sobre su clima, pues se requieren acercamientos a escalas de mayor detalle (CEPAL/CAC-SICA, 2020).

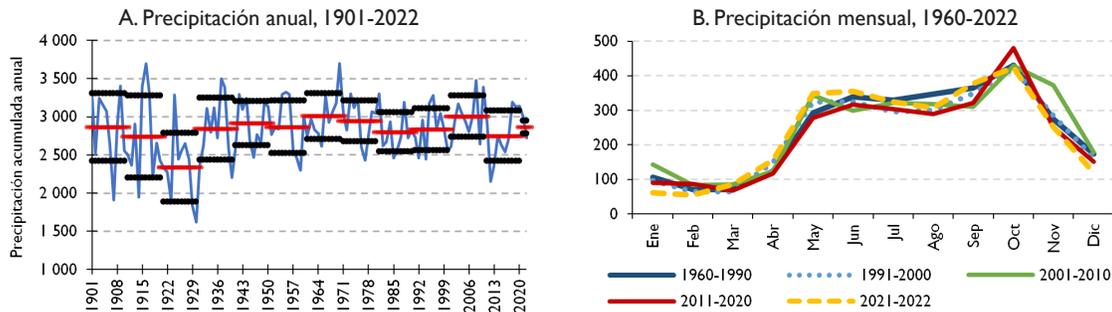
En la región se ubica el Corredor Seco Centroamericano (CSC), que se extiende por la Costa Pacífica de Centroamérica, desde Chiapas (México), en una franja que abarca las zonas bajas de la premontaña (0 a 800 msnm) de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, hasta Guanacaste (Costa Rica); Honduras incluye fragmentos que se aproximan a la costa del Caribe (Van der Zee y otros, 2012). Algunas delimitaciones incluyen el Arco Seco de Panamá, área donde se presenta una marcada aridez climatológica y condiciones propensas a ecosistemas de bosque tropical seco (Calvo-Solano y otros, 2018; CEPAL/CAC-SICA, 2020). Al mismo tiempo, el CSC cuenta con una gran variedad de condiciones climáticas, que pueden cambiar en pocos kilómetros, y con cambios de altitud. La climatología de este se caracteriza por dos períodos de mayor precipitación, que corresponden a junio y septiembre, una estación seca, que va de noviembre a mayo, y una canícula (período de reducción de lluvias) entre julio y agosto, que suele ser marcada y prolongada (Taylor y Alfaro, 2005; Calvo-Solano y otros, 2018; CEPAL/CAC-SICA, 2020).

En los gráficos de 7 al 13, en su panel A, se muestran la precipitación acumulada anual, la precipitación promedio por década (líneas rojas), su desviación estándar (líneas negras) para los países de Centroamérica y la República Dominicana de 1901 a 2022. La precipitación acumulada anual en los países tiene una gran variabilidad y no muestra una tendencia a largo plazo. La precipitación acumulada anual muestra reducciones entre 2011 y 2020 con respecto al período anterior, y en algunos casos hay reducciones en las últimas dos o tres décadas (véanse los gráficos 7 al 13). Observando la desviación estándar por década, la variabilidad aumenta en Costa Rica, Guatemala, Panamá y la República Dominicana en la última década con respecto del período anterior. En la década de 2011 a 2020 se observa una ligera reducción de la variabilidad en El Salvador, Honduras y Nicaragua (véanse los gráficos 7 a 13 y el cuadro 3).

Otro análisis se ocupa de los posibles cambios en los patrones de precipitación mes por mes. En los gráficos del 7 al 13, en su panel B, se representa la precipitación mensual en cuatro períodos, el período base 1960-1990 y las últimas tres décadas, y el patrón que siguió en 2021-2022. Los cambios observados difieren entre países y los cambios por década no muestran una tendencia en todos los meses, aunque en la mayoría de los países se detecta una cierta reducción de la precipitación en algunos meses en la época de lluvia, entre mayo y octubre-noviembre.

En cuanto a los cambios en Costa Rica, con respecto del período base, la década de 2001 a 2010 (línea verde) aparece como la más lluviosa, con precipitaciones mayores en casi todos los meses. Entre 2011 y 2020 (línea roja), los niveles de precipitación en la estación seca fueron muy cercanos a los del período base (línea azul oscuro) hasta mayo; entre junio y septiembre, la lluvia fue menor, y en octubre alcanzó un máximo superior al resto de los períodos (véase el gráfico 7), principalmente por los efectos de eventos como el huracán Rina en 2011, el huracán Nate en 2017 y los efectos de los primeros días de la formación de la tormenta tropical Eta.

**Gráfico 7**  
**Costa Rica: precipitación acumulada anual y precipitación mensual, 1901-2022**  
 (En milímetros)

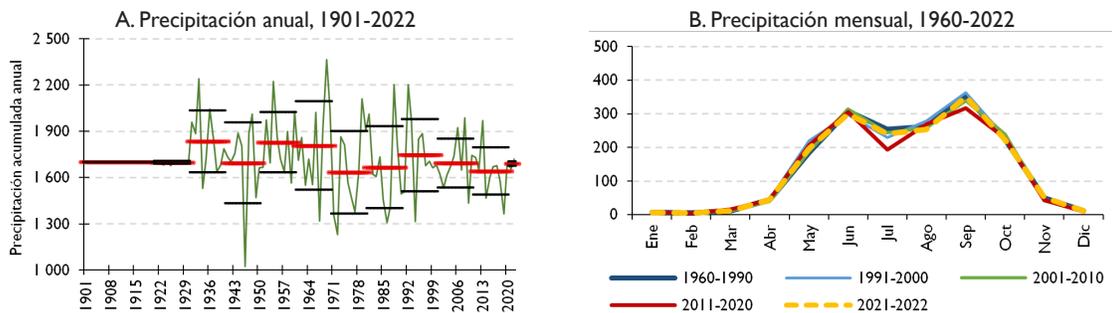


Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Climatic Research Unit (CRU), CRU TS Version 4.07, 2023 [base de datos en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.07/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/).

Nota: En el panel A se muestra la precipitación acumulada anual, la precipitación promedio por década (líneas rojas) y su desviación estándar (líneas negras).

En El Salvador no se detectaron cambios en la estación seca y en la primera temporada de lluvias; no obstante, se observa una canícula más pronunciada en julio y un menor nivel de precipitación en la segunda temporada en la última década (línea roja) (véase el gráfico 8).

**Gráfico 8**  
**El Salvador: precipitación acumulada anual y precipitación mensual, 1901-2022**  
 (En milímetros)

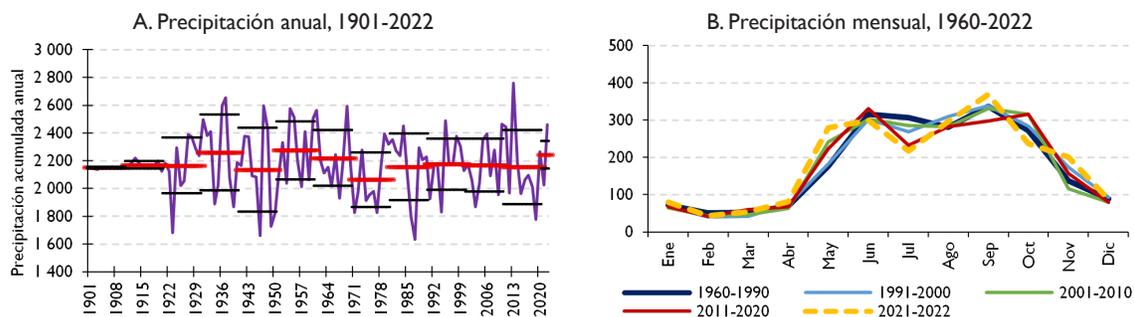


Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Climatic Research Unit (CRU), CRU TS Version 4.07, 2023 [base de datos en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.07/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/).

Nota: En el panel A se muestra la precipitación acumulada anual, la precipitación promedio por década (líneas rojas) y su desviación estándar (líneas negras).

Durante el período de 2011 a 2020 (línea roja), en Guatemala se adelantó la canícula, con un menor volumen de lluvia, la cual se mantiene debajo de los promedios de décadas anteriores entre julio y octubre. En 2021-2022 (línea amarilla), la precipitación de junio y julio tuvo niveles que fueron menores que en 2011-2020 (véase el gráfico 9).

**Gráfico 9**  
**Guatemala: precipitación acumulada anual y precipitación mensual, 1901-2022**  
 (En milímetros)

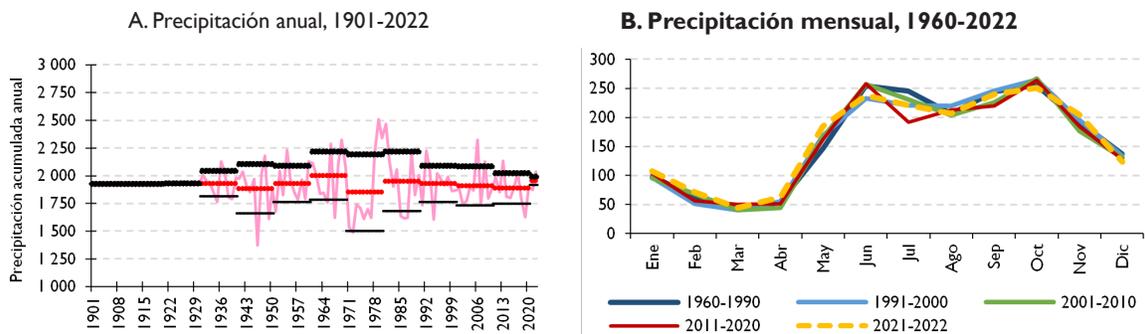


Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Climatic Research Unit (CRU), CRU TS Version 4.07, 2023 [base de datos en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.07/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/).

Nota: En el panel A se muestra la precipitación acumulada anual, la precipitación promedio por década (líneas rojas) y su desviación estándar (líneas negras).

En Honduras también ocurrió un adelanto de la canícula, de agosto a julio de 2011-2020 (línea roja), y en agosto y septiembre los niveles de lluvia se mantuvieron por abajo de los períodos anteriores (véase el gráfico 10). En Nicaragua, de 2011 a 2020 (línea roja) se redujeron los niveles de precipitación entre junio y agosto; también se observan niveles menores de lluvia en noviembre y diciembre en la última década y en 2021-2022 (línea amarilla) (véase el gráfico 11). En Panamá, los cambios en 2011-2020 (línea roja) muestran niveles de precipitación menores en el primer período de lluvia y un nuevo máximo en octubre en la última década (véase el gráfico 12).

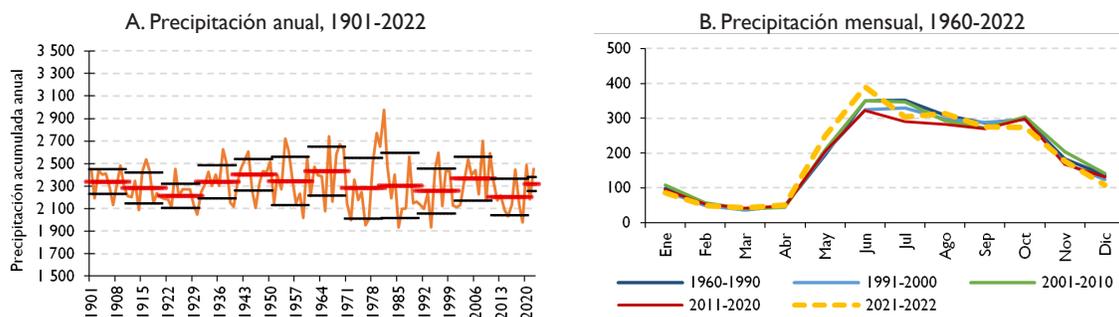
**Gráfico 10**  
**Honduras: precipitación acumulada anual y precipitación mensual, 1901-2022**  
 (En milímetros)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de CRU (Climatic Research Unit), CRU TS Version 4.07, 2023 [base de datos en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.07/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/).

Nota: En el panel A se muestra la precipitación acumulada anual, la precipitación promedio por década (líneas rojas) y su desviación estándar (líneas negras).

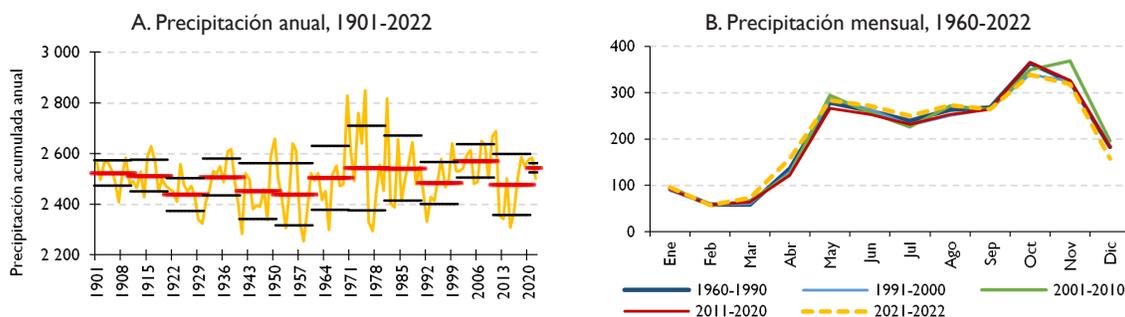
**Gráfico 11**  
**Nicaragua: precipitación acumulada anual y precipitación mensual, 1901-2022**  
 (En milímetros)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Climatic Research Unit (CRU), CRU TS Version 4.07, 2023 [base de datos en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.07/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/).

Nota: En el panel A se muestra la precipitación acumulada anual, la precipitación promedio por década (líneas rojas) y su desviación estándar (líneas negras).

**Gráfico 12**  
**Panamá: precipitación acumulada anual y precipitación mensual, 1901-2022**  
 (En milímetros)

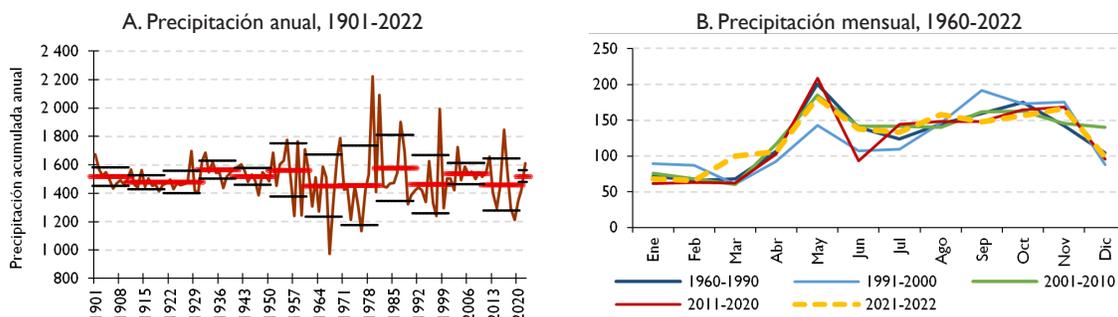


Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Climatic Research Unit (CRU), CRU TS Version 4.07, 2023 [base de datos en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.07/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/).

Nota: En el panel A se muestra la precipitación acumulada anual, la precipitación promedio por década (líneas rojas) y su desviación estándar (líneas negras).

En la República Dominicana, en el período de 2011 a 2020 (línea roja) se recuperó el máximo de mayo del período base (línea azul oscuro), con una marcada caída en junio. Para el resto del año, la variabilidad de la precipitación por mes fue mayor que en los otros países, aunque, en general, se mantuvo un lento aumento hasta noviembre (véase gráfico 13).

**Gráfico 13**  
**República Dominicana: precipitación acumulada anual y precipitación mensual, 1901-2022**  
 (En milímetros)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Climatic Research Unit (CRU), CRU TS Version 4.07, 2023 [base de datos en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.07/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/).

Nota: En el panel A se muestra la precipitación acumulada anual, la precipitación promedio por década (líneas rojas) y su desviación estándar (líneas negras).

En el cuadro 3 es notorio que marzo fue el mes con un mayor incremento de la precipitación en la década de 2011-2020 con respecto del período 1960-1990 en cuatro países, que es un mes de la estación seca en muchas regiones de los países. En tanto, para cinco países la mayor reducción fue en la canícula (julio y agosto), lo que muestra las dificultades de la llamada sequía de medio verano, que fue más larga y pronunciada que en otros períodos. Este es uno de los impactos del cambio climático en la precipitación de la región (CEPAL/CAC-SICA, 2020). En el cuadro 3 también se hace patente que la década 2011-2020 fue más seca que el período base en todos los países. La mayor reducción fue en Costa Rica y Nicaragua, con -5,9% y 6%, respectivamente, menos de precipitación acumulada anual, y la menor reducción fue en Guatemala, con -0,2%. Fue una década en la que hubo declaraciones de sequía en varios años. Sin embargo, en 2020 se registró un aumento de precipitación acumulada en este año, con excepción de El Salvador y la República Dominicana, a lo cual contribuyeron los huracanes Eta e Iota.

**Cuadro 3**  
**Centroamérica y República Dominicana: anomalía de la precipitación, mes con mayor cambio de la década 2011-2020 y de 2021-2022 con respecto de 1960-1990**  
 (En porcentajes)

	Mes con mayor aumento en 2011-2020	Mes con mayor reducción en 2011-2020	Anomalía anual de 2011-2020	Anomalía anual en 2021-2022
Costa Rica	Febrero (+21)	Agosto (-17)	-5,9	+1,9
El Salvador	Marzo (+32)	Julio (-24)	-4,2	-1,4
Guatemala	Mayo (+27)	Julio (-25)	-0,2	+4,0
Honduras	Marzo (+22)	Julio (-22)	-2,8	+0,8
Nicaragua	Marzo (+14)	Julio (-17)	-6,0	-1,2
Panamá	Marzo (+8)	Abril (-11)	-2,0	+0,6
República Dominicana	Noviembre (+18)	Junio (-34)	-2,8	+1,1

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Climatic Research Unit (CRU), CRU TS Version 4.07, 2023 [base de datos en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.07/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/).

En el cuadro 4 se resume la precipitación acumulada para el total del año y para julio (que muestra reducciones) y octubre (mes de máxima precipitación en varios países de la región) como promedio para cada una de las tres décadas. Entre paréntesis se asienta la desviación estándar de

cada década. Para julio, en Costa Rica y la República Dominicana aumentó la cantidad de lluvia; el primero, con disminución de su desviación estándar; el segundo, con un incremento de esta estadística. Asimismo, en Guatemala disminuyó la precipitación de julio, con mayor desviación estándar (variación). En El Salvador, Honduras y Nicaragua también disminuyó el nivel de lluvia en julio, pero con menor variación. En Panamá, el nivel de precipitación se mantuvo con menor desviación estándar.

En octubre se han registrado mayores niveles de precipitación en Costa Rica, Guatemala y Panamá, y con una mayor variación, lo que implica niveles de precipitación excesivos en algunos años. En la República Dominicana, la precipitación de octubre ha disminuido, pero con un aumento en su desviación estándar. En El Salvador, Honduras y Nicaragua la precipitación se mantuvo relativamente constante en las tres últimas décadas, con una mayor desviación estándar en la década de 2001-2010 a causa de la presencia de algunos eventos meteorológicos, y menos variación de 2011 a 2020.

**Cuadro 4**  
**Centroamérica y República Dominicana: precipitación y desviación estándar, anual y para julio y octubre**  
**por década, 1981-2020**  
 (En milímetros)

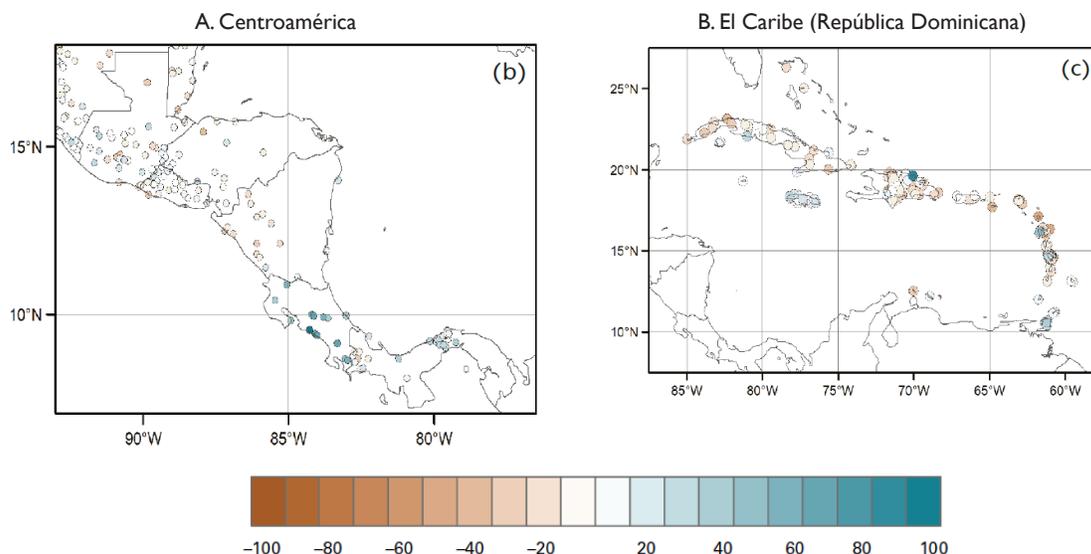
	Acumulado anual			Julio			Octubre		
	1991-2000	2001-2010	2011-2020	1991-2000	2001-2010	2011-2020	1991-2000	2001-2010	2011-2020
Costa Rica	2 834 (276)	3 006 (271)	2 749 (332)	296 (93)	321 (72)	304 (57)	421 (78)	429 (100)	480 (243)
El Salvador	1 744 (233)	1 692 (158)	1 640 (153)	229 (58)	244 (75)	193 (55)	230 (70)	238 (93)	228 (29)
Guatemala	2 174 (185)	2 167 (189)	2 152 (267)	268 (68)	286 (84)	232 (90)	284 (64)	315 (96)	316 (67)
Honduras	1 925 (164)	1 905 (176)	1 882 (135)	220 (52)	231 (59)	192 (45)	265 (71)	267 (90)	264 (30)
Nicaragua	2 256 (200)	2 366 (194)	2 204 (163)	329 (63)	347 (83)	291 (62)	296 (40)	304 (63)	298 (40)
Panamá	2 483 (83)	2 571 (66)	2 477 (121)	230 (23)	226 (18)	232 (11)	340 (16)	350 (30)	365 (74)
República Dominicana	1 461 (206)	1 538 (75)	1 459 (184)	109 (24)	141 (24)	144 (47)	173 (59)	162 (41)	165 (85)

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Climatic Research Unit (CRU), CRU TS Version 4.07, 2023 [base de datos en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.07/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/).

Nota: Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar en milímetros.

En *El estado del clima en América Latina y el Caribe 2021*, de la OMM, se calcula la anomalía de la precipitación de 2021 expresada como porcentaje con respecto de la normal climatológica de 1981 a 2010 (véase el mapa 1). En Guatemala y El Salvador, las anomalías se situaron entre un 50% por debajo de lo normal y un 20% por encima de lo normal. En Nicaragua y Belice se registraron precipitaciones por debajo de lo normal, y en Costa Rica y Panamá, precipitaciones por arriba de lo normal. En la República Dominicana las precipitaciones estuvieron por debajo de lo normal (OMM, 2022a).

**Mapa I**  
**Centroamérica y el Caribe: anomalías de precipitación para 2021**  
 (En porcentajes con respecto del período de referencia de 1981-2010)



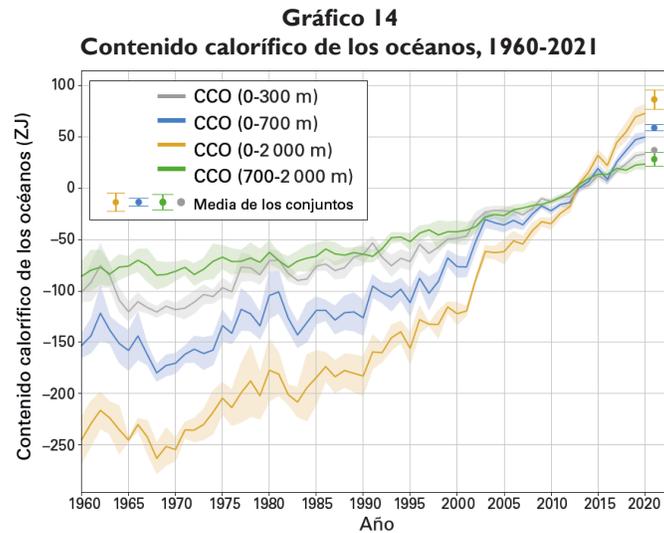
Fuente: Organización Meteorológica Mundial (OMM), *El estado del clima en América Latina y el Caribe 2021* (OMM-N° 1295), 2022a [en línea] [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=22105](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22105).

## D. Océanos y nivel del mar

El contenido calorífico de los océanos (CCO) es uno de los parámetros que permite cuantificar la acumulación de calor en el sistema Tierra, ya que alrededor del 90% de esa acumulación se almacena en los océanos. En el período de 1960 a 2021, el CCO se incrementó en todas las capas de profundidad del océano. En el gráfico 14 se constata que los índices de calentamiento de los océanos aumentaron de manera acelerada en las últimas dos décadas. La capa de 0 a 2.000 metros (m)<sup>22</sup> de profundidad (línea amarilla) del océano mundial alcanzó su máximo calentamiento en 2021, y los índices de calentamiento alcanzaron tasas de  $1,0 (0,6) \pm 0,1 \text{ Wm}^{-2}$  durante el período de 2006 a 2021 (1971-2021) (OMM, 2022b).

De igual manera, el IPCC reportó que el océano global se ha calentado más rápido en el siglo pasado que desde el final de la última transición desglacial (cerca de 11.000 años atrás). Además, en el período de 2011 a 2020, el área promedio anual de hielo marino del ártico alcanzó su nivel más bajo desde al menos 1850 (confianza alta). Los glaciares del mundo se están contrayendo sin precedentes desde el año 1950. Asimismo, es muy probable que la influencia humana sea el principal impulsor del retroceso global de los glaciares desde la década de 1990 y la disminución de hielo marino del Ártico entre 1979-1988 y 2010-2019 (IPCC, 2021a).

<sup>22</sup> Con el despliegue de la red Argo de flotadores perfiladores autónomos, que alcanzó por primera vez una cobertura casi mundial en 2006, actualmente es posible medir de forma sistemática los cambios en el contenido calorífico de los océanos hasta una profundidad de 2.000 m.

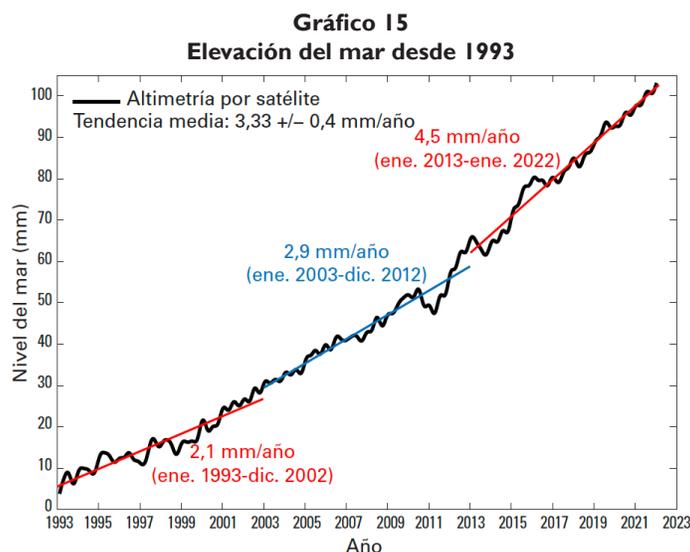


Fuente: Organización Meteorológica Mundial (OMM), *Estado del clima mundial en 2021* (OMM-N° 1290), Ginebra, Suiza, 2022b [en línea] [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=22166#.Y9Ash3bMKbg](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22166#.Y9Ash3bMKbg).

Nota: Los valores se dan para la superficie oceánica entre 60° S y 60° N, y se limitan a la batimetría de 300 m de cada producto.

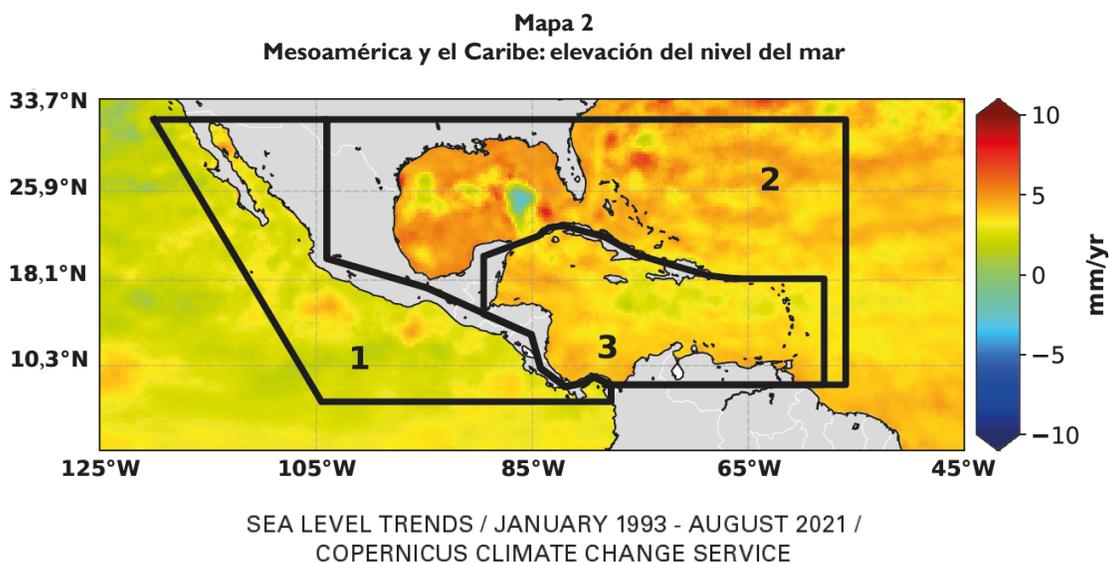
El derretimiento de los polos, junto con el calentamiento del océano, ha provocado un aumento del nivel del mar. El AR6 señala que el nivel medio mundial del mar aumentó en 0,20 [0,15 a 0,25] m entre 1901 y 2018. La tasa promedio del aumento del nivel del mar fue de 1,3 milímetros (mm) por año entre 1901 y 1971; se incrementó a 1,9 [0,8 a 2,9] mm por año entre 1971 y 2006, y hasta 3,7 [3,2 a 4,2] mm anuales entre 2006 y 2018. Es muy probable que la influencia humana sea la impulsora de estos aumentos desde al menos 1971 (IPCC, 2021a).

Por su parte, la OMM estima que la tasa media mundial de elevación del mar desde enero de 1993 ha sido de 3,3 [± 0,3] mm/año, para un total acumulado a enero de 2022 de aproximadamente 102 mm (véase el gráfico 15) (OMM, 2022a). La OMM refiere que se registraron subidas temporales del nivel del mar (>20 cm) durante los episodios de El Niño de 1997 a 1998 y de 2015 a 2016, que pueden influir en la tendencia de la serie, pero no en el resultado al final del período (OMM, 2021b).



Fuente: Organización Meteorológica Mundial (OMM), *Estado del clima mundial en 2021* (OMM-N° 1290), Ginebra, Suiza, 2022b [en línea] [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=22166#.Y9Ash3bMKbg](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22166#.Y9Ash3bMKbg).

En el mapa 2 se muestra la tendencia regional de elevación del nivel del mar de enero de 1993 a agosto de 2021. En la región de los países del SICA, el aumento del nivel del mar de 1993 a 2021 fue de  $(3,48 \pm 0,1 \text{ mm/año})$  en el lado del mar Caribe/Golfo de México, y en el Atlántico norte tropical, alrededor de Centroamérica y el sur del Caribe con  $(3,23 \pm 0,1 \text{ mm/año})$  (OMM, 2022a).



Fuente: Organización Meteorológica Mundial (OMM), *El estado del clima en América Latina y el Caribe 2021* (OMM-N° 1295), 2022a [en línea] [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=22105#.Y9BlanbMKbg](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22105#.Y9BlanbMKbg).

## E. Índices de riesgo climático y vulnerabilidad

El índice de riesgo climático global (IRC<sup>23</sup>)<sup>24</sup> de Germanwatch hace un análisis del impacto en los países y las regiones por eventos climáticos, tormentas, inundaciones y olas de calor que han ocurrido<sup>25</sup> utilizando los siguientes indicadores: número de muertes, número de muertes por cada 100.000 habitantes, suma de pérdidas en dólares en paridad de poder adquisitivo (PPA) y pérdidas por unidad de producto interno bruto (PIB). En el período de 2000 a 2019, seis de los ocho países del SICA estaban entre los 50 más vulnerables ante los eventos climáticos extremos (véase el cuadro 5) (Eckstein, Kunzel y Schafer, 2021). En el período de 1998 a 2017, dos de los ocho países del SICA estuvieron entre los diez más vulnerables, Honduras en segundo lugar y Nicaragua en el sexto (Eckstein, Hutfils y Wings, 2019).

El índice global de adaptación de la Universidad de Notre Dame señala que para 2020, con excepción de Costa Rica y Panamá, los países de la región del SICA se encontraban entre los 81 países, de 182, con mayor vulnerabilidad y menor preparación frente al cambio climático, donde el de clasificación más baja es el de menor vulnerabilidad. El índice posicionó a los países de la región del SICA de la siguiente forma: Honduras (136), Nicaragua (132), Guatemala (119), Belice (114), El Salvador (107), la República Dominicana (101), Panamá (81), Costa Rica (61) (University of Notre Dame, 2022).

<sup>23</sup> *Climate Risk Index (CRI)*.

<sup>24</sup> El IRC indica el nivel de exposición y la vulnerabilidad a los fenómenos climáticos extremos que los países deben entender como una advertencia para estar preparados para eventos climáticos más frecuentes y/o más severos en el futuro.

<sup>25</sup> El IRC se basa en datos pasados, y no toma en cuenta los siguientes aspectos: el aumento del nivel del mar, el derretimiento de los glaciares o mares más ácidos y cálidos.

**Cuadro 5**  
**Índice de riesgo climático para los países del SICA, 2000-2019**

Ranking 2000-2019	País	Valor IRC	Muertes (por año)	Muertes por cada 100.000 habitantes (por año)	Pérdidas en millones de dólares (PPA) (por año)	Pérdidas por unidad PIB en porcentajes (por año)
16	Guatemala	37,50	30	27	45	48
28	El Salvador	43,67	65	41	57	29
33	Belice	48,67	128	26	96	8
35	Nicaragua	53,00	66	40	88	42
44	Honduras	57,00	68	57	78	41
50	República Dominicana	59,50	52	36	69	82
89	Costa Rica	84,50	96	81	89	80
118	Panamá	107,00	101	78	115	135

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de D. Eckstein, V. Kunzel y L. Schafer, *Global Climate Risk Index 2021: Who suffers Most from Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2019 and 2000 to 2019*, Germanwatch, 2021 [en línea] <https://www.germanwatch.org/es/19777>.

Nota: En el *Índice de riesgo climático global 2021* se hace un análisis de 2019 y del período de 2000 a 2019 para 180 países.

## F. Eventos extremos y su agravamiento con el cambio climático

En el sexto informe de evaluación (AR6<sup>26</sup>), el IPCC incluye análisis de eventos extremos como temperaturas extremas, fuertes precipitaciones, inundaciones pluviales, inundaciones de ríos, sequías y tormentas (incluyendo ciclones tropicales), así como eventos compuestos (IPCC, 2021a). Confirma que el cambio climático inducido por la actividad humana ha contribuido a una mayor frecuencia y/o intensidad de algunos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos desde la época preindustrial, en especial a las temperaturas extremas.

Es probable que la influencia humana haya aumentado la posibilidad de eventos extremos compuestos desde la década de 1950. Estos comprenden incrementos en la frecuencia de olas de calor y sequías simultáneas a escala mundial (nivel de confianza alto), clima de incendios en algunas regiones de todos los continentes habitados (nivel de confianza medio) e inundaciones compuestas en algunos lugares (nivel de confianza medio) (IPCC, 2021a).

Un grupo de científicos internacionales ha publicado varios artículos de investigación para determinar la atribución del cambio climático en los cambios sobre los eventos extremos. Esta línea de investigación se ha reportado desde el primer informe del IPCC. En el quinto informe, este grupo de expertos estableció definiciones de detección y atribución. Identificar cómo y cuánto el cambio climático antropogénico está contribuyendo a eventos extremos más devastadores se llama atribución, que se define como el proceso de evaluación de las contribuciones relativas de varios factores causales a un cambio o evento con una evaluación formal de la confianza (IPCC, 2014b). Los investigadores pueden cuantificar la atribución humana y natural de muchos eventos extremos, ya que comparan la probabilidad y la magnitud del mismo tipo de evento entre el clima actual (incluyendo las concentraciones de gases de efecto invernadero) y otras influencias humanas.

Los análisis de atribución contribuyen, con varias líneas de evidencia, a establecer cuánto la actividad humana ha repercutido en los cambios del sistema climático, incluyendo los eventos extremos. Por ejemplo, aunque fenómenos como las sequías y las olas de calor se derivan de variaciones naturales de la circulación atmosférica, se ha observado que sus efectos pueden agravarse cuando hay un cambio del uso de los suelos, como la deforestación, lo que incrementa la pérdida de humedad y las condiciones secas y más cálidas en la región donde está ocurriendo

<sup>26</sup> Sixth Assessment Report.

el fenómeno (Hernández, 2021), por lo que se amplifican de esta manera los efectos del aumento de temperatura por el cambio climático. Esta conclusión tiene su origen en un estudio de Teuling y otros (2010), quienes observaron anomalías en la temperatura en tres diferentes regiones de Europa con un uso del suelo de bosques y pastizales. Encontraron que en julio de 2003 las anomalías eran similares, y con la ola de calor de agosto de 2003 se incrementaron las anomalías en ambos tipos de suelo, pero en una mayor magnitud en la región con pastizales. De acuerdo con el AR6 del IPCC, la frecuencia y la intensidad de las olas de calor han aumentado en muchas regiones del mundo, incluyendo Centroamérica, con alta confianza de atribución al cambio climático, por lo que es muy probable que las olas de calor incrementen su intensidad bajo diferentes escenarios (IPCC, 2021a).

Evaluar los factores que contribuyen a los riesgos de eventos extremos, y su escalada, puede ayudar a las personas en comunidades afectadas a diseñar planes de recuperación mejorada y de adaptación de acuerdo con el riesgo futuro, involucrando a los formuladores de proyectos de inversión pública para la construcción de infraestructura con adaptación al cambio climático. De la misma manera, los estudios de atribución del factor de cambio climático en los impactos de eventos extremos ofrecen a expertos del clima la oportunidad de probar y mejorar sus modelos que simulan diferentes tipos de eventos extremos (Lindsey, 2017).

En cuanto a la evidencia de eventos extremos a nivel global, el AR6 reconoce, con base en tal evidencia, que es virtualmente cierto que los extremos de calor (incluidas las olas de calor), sobre todo en las temperaturas diarias máximas registradas y otros indicadores como duración, frecuencia e intensidad, han sido más frecuentes y más intensos a lo largo de la mayoría de las regiones desde la década de 1950. Mientras que los extremos fríos (incluidas las olas frías) han sido menos frecuentes y severos, con una confianza alta en la atribución principal del forzamiento de gases de efecto invernadero inducido por la actividad humana. Algunos extremos calientes registrados durante la última década habrían sido extremadamente improbables de ocurrir sin el impacto de la actividad humana. Las ondas de calor marinas se han duplicado en frecuencia desde la década de 1980 (alta confianza), y es muy probable que la influencia humana haya contribuido a la mayoría de ellos, desde 2006, al menos.

De igual forma, en particular se destaca la atribución humana en las emisiones de gases de efecto invernadero, en el incremento de la frecuencia e intensidad de los eventos de precipitación alta (basados en los índices de cambio en uno o cinco días de precipitación usando estudios globales o regionales) desde 1950 a lo largo de las áreas donde hay suficientes datos para un análisis de tendencia (confianza alta) (IPCC, 2021a). La disminución mundial de las precipitaciones monzónicas terrestres desde la década de 1950 hasta la de 1980 se atribuye, en parte, a emisiones de aerosoles del hemisferio norte causadas por la actividad humana; pero los aumentos más recientes se atribuyen al incremento de concentraciones de GEI y de la variabilidad interna década a multidécada (confianza media) (IPCC, 2021a). Mientras, los ciclones tropicales (categoría 3-5) se han incrementado a lo largo de las últimas cuatro décadas. Los ciclones tropicales del Pacífico norte occidental, que alcanzaban su pico de intensidad, se han desplazado hacia el norte. Estos cambios no se pueden explicar solo por la variabilidad interna. Aunque, en este caso, la atribución no es clara; sobre este aspecto, los estudios indican que la inducción humana del cambio climático ha incrementado las fuertes precipitaciones asociadas a los ciclones tropicales, pero hay limitaciones para identificar tendencias pasadas a escala global (IPCC, 2021a).

Para la región de Centroamérica, al igual que otras regiones, se destaca que la temperatura promedio se ha incrementado y que este incremento continuará a tasas incluso mayores que el promedio global, con una confianza alta. Asimismo, los extremos de calor se han incrementado, con una confianza media en la atribución a la actividad humana de los cambios observados. Además, con un nivel de confianza medio, el IPCC afirma que la aridez y la sequía agrícola y ecológica se están incrementando en la región, y se proyecta que aumentarán las condiciones meteorológicas propicias para incendios (*fire weather*) (IPCC, 2021a).

Por otro lado, el IPCC califica de muy probable que continúe el aumento relativo del nivel del mar en los océanos de Centroamérica y de Sudamérica, lo que contribuiría al aumento de las inundaciones costeras en áreas bajas y al retroceso de la costa a lo largo de las costas arenosas (IPCC, 2021a). En relación con la atribución a la actividad humana de precipitaciones fuertes, en la región se tienen literatura y datos limitados, por lo que se establece una atribución con baja confianza (IPCC, 2021a). La habilidad para atribuir al factor humano está limitada por la alta variabilidad natural en la precipitación, pero también por la falta de datos, datos de largo plazo y su replicación y los efectos de múltiples eventos (Harris y otros, 2020).

En resumen, las tendencias climáticas más importantes para la región de Centroamérica reportadas por el IPCC son el incremento de la temperatura promedio, los extremos de calor, la disminución de olas de frío, el aumento del nivel del mar, de las inundaciones costeras, de la erosión costera, de las olas de calor marinas y de la acidez del océano, todas con una confianza alta; el decrecimiento de la media de la precipitación, el incremento de la aridez, la sequía agrícola y ecológica y los ambientes propicios para incendios, así como los ciclones tropicales, con una confianza media (IPCC, 2021a).

De acuerdo con el informe *El estado del clima en América Latina y el Caribe 2021*, de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2022a), los principales impactos por eventos extremos relacionados con el clima en los países del SICA en 2021 fueron los siguientes:

- Se registraron 21 tormentas en el Atlántico, incluidos siete huracanes y cuatro de gran intensidad.
- La República Dominicana fue impactada por la tormenta tropical Grace y el huracán Elsa.
- Honduras, Guatemala, El Salvador, Costa Rica y Panamá fueron afectados por precipitaciones intensas sin precedentes.
- Algunas zonas de Centroamérica se vieron afectadas por una sequía entre débil y moderada, y la República Dominicana por una sequía moderada.

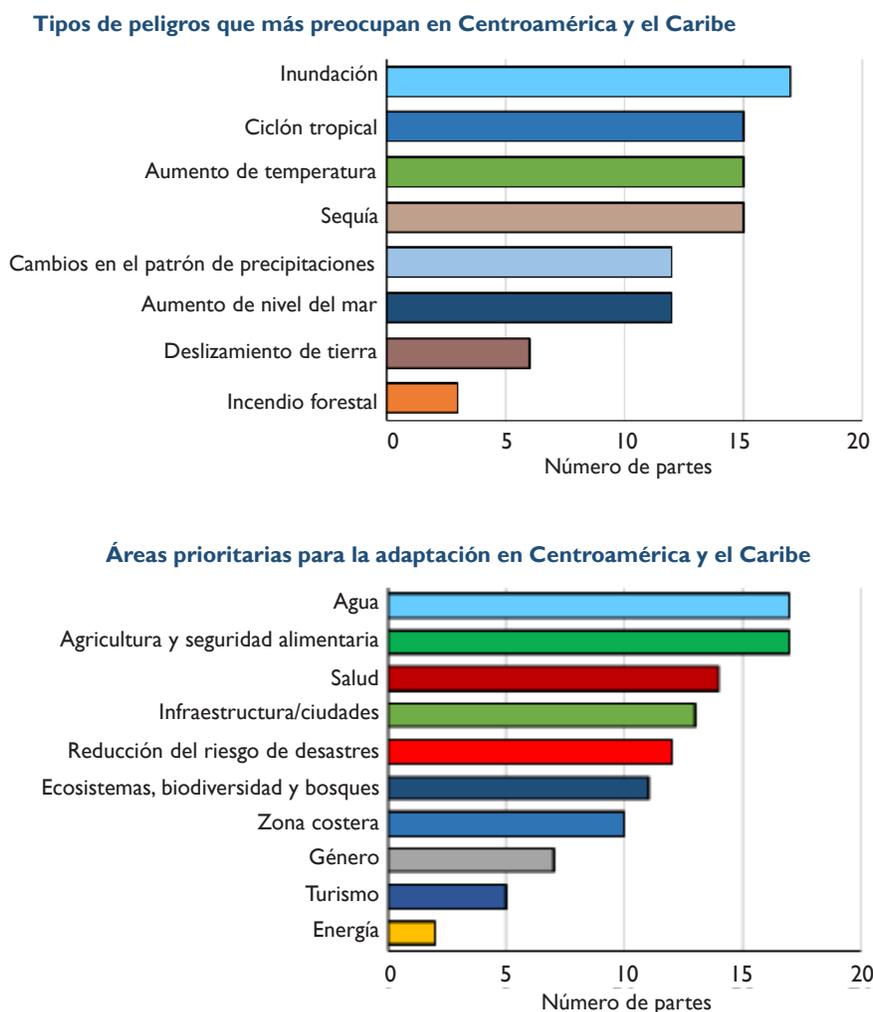
Los principales impactos por eventos extremos en los países del SICA en 2020 (OMM, 2021a) fueron:

- La región del Caribe tuvo condiciones de sequía graves a extremas en la República Dominicana y Panamá. Se registraron condiciones de sequía graves a moderadas en Belice, el norte de Guatemala, el este de Costa Rica, Honduras y Nicaragua. En regiones de Belice, Honduras, Costa Rica y Panamá ocurrieron sequías meteorológicas graves y extremas. En Centroamérica, las zonas que registraron sequías se sitúan principalmente en la costa del Caribe, con los valores más bajos en Panamá (Piedra Candela, Chiriquí) y Honduras (Catacamas, Olancho).
- La región del Atlántico norte tuvo una temporada de 30 ciclones tropicales en 2020 y superó el récord de 28 tormentas de 2005.
- En 2020, los huracanes Laura e Isaías impactaron en la República Dominicana causando inundaciones y daños por vientos y precipitaciones.
- Guatemala, Honduras y El Salvador fueron impactados por las tormentas tropicales Amanda y Cristóbal, que provocaron inundaciones y deslizamientos. Costa Rica fue afectada por Amanda y Marco. La tormenta tropical Nana causó inundaciones y deslizamientos de tierra en Guatemala y Honduras.
- Los huracanes Eta e Iota impactaron las costas de Nicaragua y ocasionaron graves inundaciones en Belice, Guatemala, Honduras, Costa Rica y Panamá.

## I. Riesgos asociados a los fenómenos extremos en Centroamérica

En el gráfico 16 se muestran los tipos de peligro que más preocupan y las áreas prioritarias para la adaptación que los países de Centroamérica y el Caribe reflejaron en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (CDN). El peligro más mencionado para los países de Centroamérica y el Caribe es el de inundaciones, que tienen relación con lluvias extremas en pocos días, que se combinan con otras vulnerabilidades. Y para 15 países se mencionan los ciclones tropicales, el aumento de temperatura y la sequía. Frente a estos peligros, las principales prioridades sectoriales para la adaptación son agua y agricultura y seguridad alimentaria, seguidos de salud e infraestructura.

**Gráfico 16**  
Centroamérica: tipos de peligros que más preocupan y áreas prioritarias para la adaptación reportadas en las contribuciones determinadas a nivel nacional



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Organización Meteorológica Mundial (OMM), *El estado del clima en América Latina y el Caribe 2020* (OMM-N°1272), 2021a [en línea] [https://library.wmo.int/?vl=notice\\_display&id=21927#.YgKaYurMKUk](https://library.wmo.int/?vl=notice_display&id=21927#.YgKaYurMKUk).

La región ha sido históricamente afectada por eventos climáticos extremos. De acuerdo con la Base de datos EMDAT<sup>27</sup>, en los ocho países de la región del SICA se registraron entre 1930 y 2022 alrededor de 476 eventos extremos asociados a fenómenos climáticos, y el 65% de los eventos han ocurrido desde el año 2000 (EMDAT, 2023). Los eventos más recurrentes, desde ese año, han sido las inundaciones (47,6%) y las tormentas (36,4%); le siguen en importancia las sequías (8,2%), los deslizamientos (4,4%), los incendios forestales (1,9%) y las temperaturas extremas (1,6%) (EMDAT, 2023).

Los eventos de sequía también se han incrementado en la región. Los países con mayor número de sequías reportadas entre 2010 y 2022 son Honduras, Guatemala y Panamá, con tres eventos cada uno (EMDAT, 2023). En Centroamérica, las sequías se han presentado especialmente en la región denominada Corredor Seco Centroamericano<sup>28</sup> (CEPAL/CAC-SICA, 2020).

---

<sup>27</sup> EM-DAT proporciona una base objetiva para la evaluación de la vulnerabilidad y la toma de decisiones racionales en situaciones de desastre. EM-DAT es una base de datos global sobre desastres de origen geofísico, meteorológico, hidrológico, climatológico, biológico y tecnológicos, que contiene datos básicos esenciales sobre la ocurrencia y los efectos de más de 21.000 desastres en el mundo, desde 1900 hasta el presente.

<sup>28</sup> El Corredor es afectado por un fenómeno cíclico de sequía y es de alta vulnerabilidad en la vertiente del Pacífico que cruza todos los países. De los 53 millones de hectáreas de superficie en Centroamérica, un 30% está en el Corredor Seco.



## II. Criterios de selección de escenarios, modelos y fuentes de información climática para su uso en el marco de proyecto RIDASICC

El objetivo de este capítulo es proponer y analizar criterios para la selección de los escenarios, los modelos y las fuentes de información para la aplicación de estos en proyectos de inversión pública en los países miembros del COSEFIN/SICA<sup>29</sup>. Esta aplicación incluye su utilidad para la identificación de las amenazas a la infraestructura y sus servicios y a la población y su factibilidad de ser incorporados en las plataformas de sistemas de información geográfica (SIG) y utilizados en los módulos para la inversión pública (MIP). Se describen los criterios propuestos y la importancia de estos para los proyectos de inversión pública y las medidas de adaptación al cambio climático.

En este documento se consideran los siguientes criterios para la información histórica meteorológica y climática: institución responsable de estaciones meteorológicas y de generación de datos históricos interpolados con base en estaciones y observaciones satelitales, densidad y número de estaciones meteorológicas, resolución de información histórica (tamaño de la rejilla), disponibilidad de información, series y períodos históricos (climatologías), frecuencia, cobertura geográfica y variables de clima. Para el caso de escenarios de cambio climático, los criterios son: institución responsable de la generación de los escenarios, disponibilidad de la información, escenarios de cambio climático, modelos climáticos considerados, resolución de la información (tamaño de la rejilla), cortes o períodos futuros, frecuencia mensual, cobertura geográfica y variables de clima.

La oferta de información descrita en los capítulos III y V se identificó en referencia a los criterios propuestos en este capítulo.

### A. Criterios de selección de información climática histórica

**Institución generadora de la información histórica:** El primer criterio es sobre la institución que genera la información climática. En el proyecto RIDASICC se ha priorizado la revisión de las fuentes oficiales que generan la información de temperatura y precipitación. Por temas de veracidad, gobernanza y sostenibilidad, en el proyecto se ha acudido, como primera instancia, a mapear la información disponible en instituciones oficiales como los institutos de meteorología, ministerios de ambiente o de estadísticas nacionales encargados de estaciones meteorológicas. Como una segunda alternativa, se consideran las instituciones regionales socias que también gestionan la información de estaciones meteorológicas, y, como tercera opción, las instituciones globales de investigación que usan la información histórica de las estaciones para interpolar los datos climáticos en diferentes resoluciones, y que han sido una alternativa incluso para las instituciones nacionales.

**Densidad y número de estaciones meteorológicas:** Una pregunta que se toma en cuenta en el proyecto RIDASICC es cuál es el tipo de información que necesita un proyecto de inversión pública de acuerdo con su ubicación. Las características climáticas pueden cambiar en pocos kilómetros, influidas por la vegetación y la topografía. Con frecuencia, en el lugar donde se

<sup>29</sup> COSEFIN (Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana); SICA (Sistema de la Integración Centroamericana).

realiza un proyecto no hay una estación meteorológica para obtener las características históricas y presentes de este, por lo que se tiene que recurrir a la estación meteorológica más cercana, con el riesgo de que las características climáticas sean distintas. Contar con una gran densidad de estaciones meteorológicas es esencial para caracterizar de mejor manera las zonas de influencia de los proyectos de inversión.

**Resolución de información histórica:** el trabajo de las instituciones globales de investigación que interpolan los valores climáticos de una forma continua sobre el terreno, en mapas de formato ráster, es una alternativa a la ausencia de estaciones meteorológicas localizadas en el área de influencia de un proyecto de inversión pública. Estas fuentes de información cuentan con series históricas útiles para el análisis de cambios en la tendencia y extremos. Estas bases de datos utilizan observaciones de estaciones meteorológicas o satelitales para realizar esta interpolación. Por su utilidad para los formuladores de proyectos de inversión pública, se contemplan las bases con las resoluciones más altas para el proyecto RIDASICC. En adición, con estas bases de datos que contienen información interpolada de temperatura y precipitación es posible construir climatologías bases o de referencia para aplicarles las anomalías de los escenarios de cambio climático y, de este modo, eliminar el posible sesgo en los escenarios generados por los modelos climáticos, para así tener valores de clima futuro.

**Disponibilidad:** este criterio es de los más importantes en el proyecto RIDASICC. El proyecto busca información de acceso libre, y los datos y el análisis deben estar disponibles para los formuladores de los proyectos. El tener solo reportes de clima histórico y de escenarios de cambio climático restringidos limitaría los alcances del MIP y el modelo conceptual metodológico (MCM). Este criterio de disponibilidad se enmarca en el recién firmado acuerdo de Escazú, en sus artículos 5, sobre acceso a la información ambiental, y 6, relativo a la generación y divulgación de información ambiental, en el que se indica que la información debe ser reutilizable y estar disponible en formatos accesibles. Con excepción de El Salvador y Honduras, todos los países han firmado el acuerdo (CEPAL, 2022).

**Series y períodos históricos:** los análisis de amenazas que podrían afrontar los proyectos de inversión pública son más robustos si cuentan con información no solo de las condiciones climáticas actuales, sino también de series históricas. Una serie de estas variables permitiría la identificación de la frecuencia y las tendencias de amenazas climáticas en la zona del proyecto como, por ejemplo, cambios en las medias de la temperatura y precipitación, en la variabilidad y en los patrones mensuales de precipitación y frecuencias de extremos en dichas variables que provocarían olas de calor, sequías o inundaciones que podrían dañar la infraestructura o interrumpir el servicio del sector analizado.

**Frecuencia:** una fuente de información con datos mensuales nos ayudaría a precisar el patrón intraanual de variables como temperatura y precipitación para datos históricos, lo cual es importante en una región con marcadas fluctuaciones durante el año y por región. Con los datos diarios históricos se identificarían los eventos extremos con variables como la cantidad de precipitación en uno o varios días. Con la información anual se oculta la distribución de la precipitación y los rangos de temperatura durante el año.

**Cobertura geográfica:** para el caso de las estaciones meteorológicas, se requiere que se cubra gran parte de cada uno de los países. Con respecto a las fuentes interpoladas regionales e internacionales, se requiere que se cubra a todos los países de la región del COSEFIN/SICA.

**Diversidad y relevancia de variables disponibles:** para los proyectos de inversión pública es esencial contar con datos de temperatura y precipitación. Es posible que algunas fuentes solo tengan esta información. Para los proyectos de inversión pública puede ser relevante contar con información de evapotranspiración, humedad relativa y velocidad del viento para temas como agua, vialidades y salud.

## B. Criterios de selección de información de escenarios de cambio climático

Institución generadora de escenarios de cambio climático: en el caso de escenarios de cambio climático, en la búsqueda y la selección de la información, se consideraron con el mismo grado de importancia que la información histórica, es decir, partiendo de los esfuerzos nacionales en el trabajo en las esferas regional e internacional. El proyecto RIDASICC busca aprovechar los esfuerzos en las escalas nacional y regional que han generado y publicado sus escenarios con bases técnicas y metodológicas. Este equipo técnico revisó estas consideraciones, que fueron parte de la recomendación.

Disponibilidad: al igual que los datos históricos, el proyecto requiere de una base de acceso libre que pueda integrarse a la plataforma SIG del proyecto RIDASICC y que pueda ser georreferenciada.

Escenarios de cambio climático: para no complejizar la aplicación en la formulación de proyectos de inversión pública, se debe recomendar uno o dos escenarios que representan el rango actualmente considerado de mayor probabilidad de acuerdo con las tendencias de emisiones y concentración de GEI y el análisis de factibilidad de los compromisos hechos en las contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN) para reducir globalmente las emisiones. Con este criterio se podrían identificar los impactos más probables y las medidas de adaptación más apropiadas.

El primer paso es elegir la generación de escenarios para el proyecto de inversión pública (RCP/AR5 o SSP-RCP/AR6). Esta elección debe estar basada en su disponibilidad. Una vez elegida la generación de escenarios, el siguiente paso es la elección de cuál(es) escenario(s) en particular utilizar. En el capítulo IV se enuncian las definiciones de los escenarios y se muestra un análisis comparativo de cada uno de ellos con las emisiones observadas, las tendencias actuales con los CDN. En el capítulo V se refieren las fuentes con escenarios disponibles. Y, por último, en el capítulo VI se dan las recomendaciones al respecto.

Modelos climáticos: existen una gran cantidad de modelos climáticos. Por practicidad, las fuentes de información que cuentan con escenarios de cambio climático con reducción de escala solo eligen un grupo de estos modelos. El objetivo no es elegir un modelo, sino un conjunto de modelos que sean una buena representación del total de modelos. Las fuentes que tienen escenarios han elegido distintos modelos, por lo que el equipo del proyecto revisó los modelos disponibles.

Uno de los criterios es clasificar los modelos de acuerdo con su capacidad para reproducir las características climáticas observadas de una cierta región y tomar los mejor clasificados. Los modelos climáticos son evaluados comparando sus simulaciones con las observaciones históricas. Si el modelo hace una buena reproducción del clima pasado, aumenta la confianza en las proyecciones (futuro) que puede generar. Las pruebas de calidad de los modelos que involucran la capacidad de reproducir la variabilidad o las tendencias son más relevantes para la confianza en sus proyecciones del clima futuro que aquellas que reproducen bien solo las medias (Min y Hense, 2006; Greene, Goddard y Lall, 2006; Duffy, Malone y Sheffield, 2014; CEPAL/CAC-SICA, 2020).

Otra consideración sobre modelos es el número de ellos a elegir. Este asunto es más relevante para precipitación que para temperatura. Todos los modelos en cada escenario marcan una tendencia de aumento de la temperatura con mayor consenso. Por otro lado, al observar los escenarios de precipitación se tienen diversidad de trayectorias, e incluso para un mismo escenario diversos modelos pueden indicar que se aumenta, disminuye o se mantiene con respecto de una media. Una combinación o “ensamble” de modelos debe capturar un rango amplio de las proyecciones de temperatura y precipitación del total de modelos disponibles, y los formuladores de inversión pública deben tener, para el análisis, el valor medio de la precipitación y el rango de las proyecciones del total de los modelos.

Períodos futuros de escenarios de cambio climático: el cambio climático proyecta cambios en el clima, y no cambios del tiempo meteorológico. Es decir, el cambio climático debe ser analizado como cambios en los promedios del tiempo meteorológico. Esto es muy diferente, y manejable, a proyectar el tiempo meteorológico en las siguientes semanas. Gran parte de las fuentes identificadas utilizan períodos de 20 años; por facilidad, algunas fuentes identifican este período con el año medio y lo llaman corte. Por otro lado, los proyectos de inversión pública diseñan infraestructura con distintos años de vida útil; por ejemplo, para la infraestructura de agua, la vida útil puede ir de 30 años en plantas de tratamiento de agua y pozos a 50 años en tanques de almacenamiento y red de distribución; y para la infraestructura de transporte, puede ir de 50 años en asfalto y grava a 75 años en puentes y túneles (véase el cuadro 6). Por ello, es necesario tener escenarios de cambio climático para diferentes períodos que abarquen mediados y finales del siglo; esta información puede determinar el comportamiento de la infraestructura.

**Cuadro 6**  
**Ejemplos de vida útil típica de las infraestructuras**

Tipo de proyecto	Componente del proyecto	Vida útil típica
Suministro de agua	Planta de tratamiento de agua	30 años
	Tanque de almacenamiento	50 años
	Pozo	30 años
	Red de distribución	50 años
Transporte	Vía de asfalto	50 años
	Vía de grava	50 años
	Puente	75 años
	Túnel	75 años

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de M. Barandiarán y otros, "Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático para proyectos del BID: documento técnico de referencia para equipos a cargo de proyectos del BID", *Nota Técnica*, N° IDB-TN-01771, Nueva York, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), División de Cambio Climático, 2019 [en línea] <https://publications.iadb.org/es/metodologia-de-evaluacion-del-riesgo-de-desastres-y-cambio-climatico-para-proyectos-del-bid>.

Resolución de escenarios de cambio climático: la reducción de escala y la corrección de sesgo<sup>30</sup> del resultado de los modelos climáticos globales producen datos que permiten hacer estimaciones locales del cambio climático que, de este modo, puedan ser de utilidad para estimar los impactos y las medidas de adaptación. Con escenarios en más alta resolución o escala, la planificación, el modelado y el monitoreo pueden realizarse a escala municipal, de cuenca u otras escalas subnacionales (Navarro-Racines y otros, 2020). Esto es relevante para los proyectos de inversión pública que se ubican en entornos locales. Esta reducción de escala aumenta la incertidumbre de los escenarios de cambio climático, por lo que el análisis de la oferta debe tomar en cuenta las metodologías para reducir la escala y la manera en que se ha tratado esta incertidumbre.

Frecuencia: se busca información mensual que ayude a la identificación de potenciales cambios en los patrones interanuales de temperatura y precipitación en los escenarios de cambio climático que pueden impactar la operación y el ciclo de vida de la infraestructura.

Cobertura geográfica: para los escenarios de cambio climático de alta resolución se requiere una fuente que cubra el país o los países del COSEFIN/SICA. En este sentido, una fuente regional tendría la ventaja de que se podrían usar datos cercanos en la frontera de otro país por su zona de influencia o proyectos de inversión regionales, ya que tendrían las mismas características de resolución, períodos y modelos.

Variables: principalmente los escenarios de cambio climático de temperatura y precipitación, sin embargo, serán tomadas en cuenta las fuentes con variables o indicadores climáticos adicionales.

<sup>30</sup> Los modelos climáticos calculan los datos de temperatura y precipitación futura a partir de simulaciones históricas, y no de los datos observados, por lo que la información futura tiene un sesgo con respecto de las observaciones. Para eliminar este sesgo es necesario calcular las anomalías de la temperatura y la precipitación futura respecto a la simulación histórica de estas (usando climatologías), y finalmente dicha anomalía será aplicada a datos observados para el mismo período (véase el capítulo IV para más información sobre modelos).

### III. Oferta de información climática histórica para los países de la región del SICA

El objetivo de este capítulo es analizar la oferta de datos históricos sobre el clima para los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA). Se incluye un resumen de la información disponible de las instituciones nacionales con base en redes de estaciones meteorológicas. Se identifican las instituciones responsables, las variables y los períodos de tiempo disponibles, entre otra información para las estaciones meteorológicas.

La información de las estaciones meteorológicas es una fuente directa de datos climáticos que puede ser utilizada en diversos ejercicios y modelaciones, entre ellos, el análisis de tendencias históricas, similar al presentado en el capítulo I, pero a escala local, lo cual puede ser muy útil para detectar tendencias y variabilidad en los fenómenos climáticos que podrán requerir medidas en la formulación de un proyecto de inversión pública. De igual manera, los datos de estaciones pueden ser utilizados para validar climatologías internacionales de reanálisis o para corregir el sesgo de la simulación de los modelos climáticos que sirven de referencia para la generación de escenarios climáticos.

En la región de los países del SICA, las principales redes de estaciones meteorológicas se encuentran administradas por los servicios meteorológicos nacionales y los ministerios de ambiente. Otras instituciones, tanto públicas como privadas, cuentan con estaciones y/o almacenan este tipo de información. La información reportada corresponde a la que está disponible al público, principalmente en las páginas web de las instituciones nacionales. En algunos casos, esta información pública es limitada. Hay limitaciones en el uso y la disponibilidad de este tipo de datos, derivadas principalmente de i) la insuficiencia de estaciones, ii) el estado de las estaciones, iii) el almacenamiento incompleto o incorrecto de los datos, iv) la calidad de los datos, o v) está restringido el acceso a estos (Ramírez y Challinor, 2012). Esta revisión tomó en cuenta y complementa los diagnósticos situacionales sobre sistemas de información del proyecto RIDASICC acerca de la disponibilidad de información climática<sup>31</sup>.

De igual forma, en este capítulo se revisan las bases de datos de fuentes globales de información climática histórica, llamadas climatologías, que podrán complementar esta oferta nacional y que se basan en las mismas estaciones nacionales y datos satelitales como CRU, HADCRUT5, Worldclim, NOAA GlobalTemp, ERA-5, GISTEMP, JRA-55, Berkeley Earth, CHIRPS. Para estas climatologías, se reportan información adicional, como la resolución geográfica de la información, tipos de accesos y consistencia metodológica para analizar las fortalezas técnicas de estas fuentes generadoras de información climatológica.

#### A. Estaciones meteorológicas por país

##### I. Costa Rica

El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) está adscrito al Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) de Costa Rica y tiene a su cargo la coordinación de todas las actividades meteorológicas del país. El IMN “recopila, estudia y analiza toda la información climatológica que se registra

<sup>31</sup> En el marco del proyecto RIDASICC, se realizaron diagnósticos situacionales de los países del SICA en materia de información geoespacial para la reducción del riesgo de desastres y la adaptación sostenible e incluyente al cambio climático, consultando con las instituciones generadoras de información de la región.

y mide en el país, necesaria para la preparación de estudios e investigaciones en los campos de agrometeorología, climatología, variabilidad climática, contaminación atmosférica, interacción océano-atmósfera, calentamiento global, cambio climático y otros” (IMN, 2022).

En Costa Rica se “cuenta con redes de medición que incluyen estaciones sinópticas, meteorológicas aeronáuticas, climatológicas, agrometeorológicas, hidrometeorológicas, medidoras de la calidad del aire, mareográficas, así como con una red de monitoreo del cambio climático y otra de descargas eléctricas. El IMN es el principal organismo encargado de realizar observaciones meteorológicas y atmosféricas, pero hay otras instituciones que también hacen observaciones” (MINAE, 2021). En la Cuarta Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de Costa Rica se menciona que el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)<sup>32</sup> cuenta adicionalmente con alrededor de 250 estaciones meteorológicas que no son públicas.

En reunión virtual, funcionarios/as del IMN<sup>33</sup> refirieron que la información con que cuenta el Instituto no se puede descargar de su página web y que el intercambio de datos se hace a través de convenios entre el IMN y otras instituciones.

**Cuadro 7**  
**Costa Rica: estaciones meteorológicas del Instituto Meteorológico Nacional**

Características	Descripción
Número de estaciones	Cuenta con 245 estaciones meteorológicas (177 estaciones automáticas y 68 estaciones convencionales –mecánicas–).
Variables	Temperatura, presión atmosférica, precipitación, humedad relativa, velocidad, dirección del viento y radiación solar.
Período	1991-2018.
Temporalidad	Horario, diario, mensual.
Página web	Información en tiempo real, sin control de calidad: <a href="https://www.imn.ac.cr/estaciones-automaticas">https://www.imn.ac.cr/estaciones-automaticas</a> . Promedios mensuales: <a href="https://www.imn.ac.cr/mapa">https://www.imn.ac.cr/mapa</a> . El IMN ofrece resúmenes climáticos <sup>a</sup> de las estaciones meteorológicas que tienen por los menos cinco años de registro continuo, y se pueden solicitar por formulario web y correo electrónico. El IMN ofrece con costo análisis climáticos <sup>b</sup> y caracterizaciones climáticas, siempre y cuando la zona de estudio pueda ser representada por la información proveniente de la cobertura de las estaciones meteorológicas aledañas: <a href="https://www.imn.ac.cr/solicitud-de-servicios">https://www.imn.ac.cr/solicitud-de-servicios</a> .

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN), Sitio oficial, 2022 [sitio web] <https://www.imn.ac.cr>; MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica), *Cuarta Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, 2021 [en línea] <https://unfccc.int/documents/403568>.

<sup>a</sup> Valores medios de los elementos meteorológicos con que cuenta la estación durante su tiempo de servicio. Se tiene para las estaciones activas y las que se han tenido que cerrar a través del tiempo.

<sup>b</sup> Análisis climáticos sobre condiciones del tiempo que se han presentado en un determinado momento sobre alguna región particular en el país, siempre y cuando se cuente con estaciones meteorológicas cercanas o representativas a la zona de estudio o lugar. El análisis puede ser entregado en dos formatos: como constancias, o bien, como certificaciones.

## 2. El Salvador

### a) Red Nacional de Estaciones Meteorológicas de la Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales (DGOA)

La red del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) está conformada por más de 100 estaciones meteorológicas. La información generada por las estaciones es transmitida por observadores en las estaciones al Centro de Pronóstico Meteorológico, donde es ingresada al sistema de transmisión y recepción de información satelital y enviada cada hora al Centro

<sup>32</sup> Las estaciones del ICE tienen como objetivo monitorear la precipitación en las partes altas de las principales cuencas hidrográficas del país, por un interés de producción hidroeléctrica.

<sup>33</sup> La reunión se llevó a cabo el 13 de septiembre de 2022, con la participación de Ana Rita Chacón, Martha Pereira, del IMN; Francisco Tula y Gabriel Corrales, de MIDEPLAN; Julie Lennox, Jaime Olivares, Santa Paola Centeno y José Manuel Iraheta, de la CEPAL.

Mundial de Meteorología en Washington para la alimentación de la base de datos mundial; estos son procesados y distribuidos por canales exclusivos a los usuarios, incluyendo El Salvador. Los productos son emitidos en formatos como mapas numéricos meteorológicos de variables como humedad, viento y precipitación. De igual manera se emiten boletines mensuales climáticos y agrometeorológicos, mapas climáticos nacionales, así como boletines semanales de lluvia (MARN, 2022a). En la actualidad, la Gerencia de Meteorología sustituye al Servicio Meteorológico Nacional; es parte de la Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales (DGOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN). En la página del Observatorio se han publicado las normales climatológicas por estación de 1981 a 2010 de lluvia, temperatura media, máxima y mínima, humedad relativa y radiación mensual y anual (MARN, 2022a).

**Cuadro 8**  
**El Salvador: características de la red nacional de estaciones meteorológicas de la DGOA**

Características	Descripción
Número de estaciones	5 estaciones sinópticas entre automáticas y convencionales. 27 estaciones climatológicas convencionales. 72 pluviométricas.
Período	Desde 1971 las sinópticas convencionales, 2005 las automáticas, 1965 las pluviométricas.
Variables	Humedad relativa, viento instantáneo y viento promedio cada 10 m, precipitación instantánea y acumulada, temperatura máxima y mínima cada 10 m, radiación solar, presión atmosférica.
Temporalidad	Hora, diaria.
Página web	Los datos son parcialmente públicos. <a href="http://www.snet.gob.sv/Geologia/pcbbase2/parametros-mapa.php">http://www.snet.gob.sv/Geologia/pcbbase2/parametros-mapa.php</a> y <a href="http://srt.marn.gob.sv/climatologia.html">http://srt.marn.gob.sv/climatologia.html</a> .

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), "Servicio Meteorológico Nacional," 2022 [en línea] <http://www.snet.gob.sv/ver/snet/areas+de+snet/servicio+meteorologico/>; consulta y revisión por correo con el MARN, 22 de junio de 2022; y "Normales climatológicas," 2022 [en línea] <http://srt.marn.gob.sv/climatologia.html>.

En reunión virtual, personal de la DGOA<sup>34</sup> del MARN detalló que, para la consulta de los datos de las estaciones meteorológicas, el Observatorio tiene una política de acceso libre de los datos de las estaciones automáticas de los últimos siete días al momento de la consulta, para alrededor de 139 estaciones meteorológicas e hidrométricas. El inventario de disponibilidad de datos es de carácter variable, pero, en general, son de buena calidad desde 1971 en adelante. Hubo un período de restricción en la obtención de datos durante el conflicto interno en la década de 1981 a 1990. La información completa tiene una estructura de tarifas, que le da vida al fondo de actividades especiales del Observatorio. Se puede hacer una solicitud formal al director de la DGOA, con copia a la Unidad de Gestión de Datos y Usuarios<sup>35</sup>. Todos los datos que el Observatorio trabaja están georreferenciados y en formatos que pueden ser compartidos a través de servicios de mapas.

### **b) Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC)**

Este Instituto cuenta con seis estaciones meteorológicas en El Salvador, que producen información de precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, humedad de la hoja, velocidad y dirección del viento cada 15 minutos. Esta información es de acceso libre para el público en general. El ICC, en un esfuerzo efectuado con la Compañía Azucarera Salvadoreña (Grupo CASSA), estableció tres estaciones: en Izalco, San Miguel y Chaparrastique.

<sup>34</sup> La reunión se llevó a cabo el 22 de junio de 2022 con la participación de Pablo Ayala, Giovanni Molina de la DGOA, Edwin Castellanos, Róger Vega, Andreas Mende consultores del proyecto RIDASICC y Julie Lennox, Jaime Olivares, Santa Paola Centeno, José Manuel Iraheta, Mariana García de la CEPAL.

<sup>35</sup> En caso de existir convenio de entendimiento entre las instituciones, se hace la valoración económica del dato.

**Cuadro 9**  
**El Salvador: características de las estaciones del ICC**

Características	Descripción
Número de estaciones	6
Variables	Precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento.
Período	Solo se visualizan las tres últimas semanas (día actual de consulta hacia atrás).
Temporalidad	15 minutos
Página web	<a href="https://redmet.icc.org.gt/login">https://redmet.icc.org.gt/login</a> Nota: se requiere registro.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), Sitio oficial, 2022 [sitio web] <https://redmet.icc.org.gt/login>.

### 3. Guatemala

#### a) Red de estaciones meteorológicas del INSIVUMEH

La Unidad de Cambio Climático del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) realizó un análisis de control de calidad de la Base de Datos Climática, en el que se mencionan 48 estaciones distribuidas en las distintas regiones climáticas (Norte, Franja Transversal del Norte, Altiplano Central, Occidente, Petén, Pacífico, Caribe, Bocacosta y Valles de Oriente) que conforman la red meteorológica del INSIVUMEH (Fuentes, 2020). Las estaciones del INSIVUMEH que llenan los requisitos para realizar estudios de variabilidad climática recogen hasta 43 años de registros, aunque esta temporalidad puede variar según estación (Fuentes, 2020).

**Cuadro 10**  
**Guatemala: características de la red de estaciones meteorológicas del INSIVUMEH**

Características	Descripción
Número de estaciones	48 (Altiplano Central, 17; Bocacosta, 4; Caribe, 2; Franja Transversal del Norte, 4; Norte, 2; Occidente, 6; Pacífico, 4; y Valles de Oriente, 9).
Período	40 estaciones con más de 30 años.
Variables	Precipitación, temperatura máxima, mínima y media.
Temporalidad	Diario.
Página web	La información no está disponible en la página web. Cualquier usuario puede solicitar la información histórica sin costo al INSIVUMEH.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de H. O. Fuentes, *Análisis de control de calidad de base de datos climática*, Ciudad de Guatemala, Unidad de Cambio Climático, Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), 2020 [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2022].

En reunión virtual de los equipos de la CEPAL y del INSIVUMEH<sup>36</sup> se detalló que para acceder a los datos de las estaciones meteorológicas se hace una solicitud por correo electrónico. Además, los miembros del equipo del Instituto refirieron que se cuenta con estaciones convencionales y automáticas. Las primeras, las convencionales, reportan a través de observadores en las localidades, y las automáticas requieren un control de calidad. Hay algunas convencionales con datos desde 1971 y otras desde 1981 que se actualizan diariamente. Asimismo, comentaron que otros sectores tienen estaciones meteorológicas como la Asociación Nacional del Café (Anacafé), el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC) y el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), pero que no cuentan con períodos largos de datos.

<sup>36</sup> La reunión se llevó a cabo el 15 de junio de 2022, con la participación de Mariano Cap, Naomy Andrino, Isabel González, Jennifer Rivera, del INSIVUMEH; Edwin Castellanos, Yolanda Castelán, Andreas Mende, consultores del proyecto RIDASICC, y Julie Lennox, Jaime Olivares, Santa Paola Centeno, José Manuel Iraheta y Mariana García, de la CEPAL.

**b) Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC)**

Este Instituto cuenta con una red de 32 estaciones meteorológicas automatizadas en la vertiente del Pacífico de Guatemala. Se transmiten datos cada 15 minutos utilizando tecnología celular GPRS. Los datos cumplen con los estándares requeridos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Todas las estaciones están señalizadas y son de acceso libre.

**Cuadro 11**  
**Guatemala: características de la red de estaciones meteorológicas del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC)**

Características	Descripción
Número de estaciones	32
Variables	Precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento.
Período	Solo se visualizan las tres últimas semanas (día actual de consulta hacia atrás).
Temporalidad	15 minutos
Página web	<a href="https://redmet.icc.org.gt/login">https://redmet.icc.org.gt/login</a> Nota: se requiere registro.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), Sitio oficial, 2022 [sitio web] <https://redmet.icc.org.gt/login>.

**c) Red de estaciones meteorológicas de la Asociación Nacional del Café (REMA)**

Está conformada por más de 100 estaciones meteorológicas voluntarias y propias. El geoportal de la Anacafé provee información meteorológica que es usada por los productores de café de Guatemala y actores vinculados al sector. Esta información es de utilidad para la planificación y la implementación de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, para el desarrollo de investigaciones en el sector y el fortalecimiento de monitoreo de plagas y enfermedades que afectan el cultivo. El geoportal alberga información de climatología para las variables de precipitación, temperatura máxima y mínima, así como de pronósticos (Anacafé, 2022). Este cuenta con apoyo de la Agencia Italiana para la Cooperación y el Desarrollo.

**Cuadro 12**  
**Guatemala: características de la Red de Estaciones Meteorológicas de la Asociación Nacional del Café (REMA)**

Características	Descripción
Número de estaciones	138 reportadas en geoportal.
Variables	Precipitación acumulada (milímetros), temperatura (máxima, promedio mensual, mínima en grados Celsius), humedad relativa (promedio mensual en porcentaje), viento (dirección del viento promedio expresada en azimut en grados, ráfaga de viento máxima expresada en kilómetro por hora, velocidad del viento en kilómetro por hora), radiación solar (máxima, Watts por metro cuadrado).
Período	No disponible.
Temporalidad	Mensual.
Página web	<a href="https://meteorologia.anacafe.org/estaciones.html">https://meteorologia.anacafe.org/estaciones.html</a> Nota: se requiere registro y permiso para acceder a información.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Asociación Nacional del Café (Anacafé), Geoportal de Anacafé. Estaciones Anacafé [en línea] <https://meteorologia.anacafe.org/estaciones.html>.

## 4. Honduras

### a) *Red Nacional de Estaciones Meteorológicas Convencionales y Estaciones Meteorológicas de Sensores Remotos de la SERNA (MiAmbiente+)-Dirección General de Recursos Hídricos (DGRH)*

La DGRH genera información diaria de la red de estaciones meteorológicas, con fondos asignados del presupuesto de MiAmbiente+, con lo cual se alimenta la Base de Datos de Información Meteorológica almacenada en el portal hídrico nacional. La plataforma fue creada con el apoyo de la Cooperación Internacional, el Fondo de Adaptación y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). La sistematización de esta información ha hecho posible que el Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sismológicos de la Comisión Permanente de Contingencias (CENAOS-COPECO) elabore pronósticos del comportamiento de las lluvias (MiAmbiente+, 2018).

La plataforma Agua de Honduras recoge información sobre el recurso agua. En la carpeta de información sobre escenarios de cambio climático de esta se halla un repositorio de estaciones meteorológicas, que direcciona al portal de CCAFS-Climate sobre estaciones meteorológicas. Dentro de estas estaciones se encuentran datos de 52 estaciones de la red de la DGRH, todas ellas con información de precipitación, y de 16 que incluyen, además de precipitación, variables de temperatura máxima y mínima (CIAT, 2022).

### b) *Redes de estaciones utilizadas en la Tercera Comunicación*

Otras redes de estaciones meteorológicas en Honduras que fueron utilizadas en la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático son la red del Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA), que aportó información de ocho estaciones; la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), con información de 39 estaciones; la Dirección General de Recursos Hídricos (DGRH) de MiAmbiente, con 121 estaciones; además de las 33 estaciones de la COPECO<sup>37</sup> (Navarro-Racines y otros, 2018). Sin embargo, no hay información pública acerca de las características de estas estaciones y los datos que generan, salvo lo encontrado en la Tercera Comunicación. Al igual que en el caso de la DGRH, el portal de CCAFS-Climate incluye las estaciones de la ENEE y la COPECO, pero no se publican las de SANAA (CIAT, 2022).

En reunión virtual<sup>38</sup>, personal de MiAmbiente de Honduras refirió que, con base en la Ley de Aguas, le corresponde a la DGRH el manejo de las estaciones meteorológicas. La DGRH cuenta con una red de 121 estaciones meteorológicas, de las cuales 55 son convencionales (información de campo que se verifica), 48 son satelitales y 19 estaciones GPRS. Contiene información de las convencionales desde 1970; las satelitales se instalaron a partir de 1999 para control de inundaciones (lluvia y nivel), y en la actualidad hay 29 estaciones que transmiten a la página de la NOAA. Se descarga información de siete días, y el histórico lo tiene la DGRH en Excel, con información desde 2012, que es verificada. La información de las estaciones GPRS antes se transmitía a un servidor, y ahora hay que visitar las estaciones, descargar la información y procesarla.

### c) *Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos de la Comisión Permanente de Contingencias (CENAOS-COPECO)*

El CENAOS de la COPECO cuenta con un inventario de estaciones meteorológicas. No obstante, en su portal, al realizar la consulta, no fue posible acceder al dato sobre cuántas estaciones opera. De acuerdo con la búsqueda en el sitio del CENAOS y en un estudio reciente para la elaboración de escenarios climáticos en la Tercera Comunicación en Honduras, realizado

<sup>37</sup> Después de realizar el control de calidad, el CIAT utilizó ocho estaciones del SANAA, 39 estaciones de la ENEE, 59 estaciones de la DGRH y 29 estaciones de la COPECO.

<sup>38</sup> La reunión se llevó a cabo el 28 de septiembre de 2022, con la participación de Paulette Herrera, Wendy Rodríguez, Eleazar Salinas, de Miambiente; Carla Rodríguez, de SEFIN; Julie Lennox, Jaime Olivares, Santa Paola Centeno, José Manuel Iraheta y Mariana García, de la CEPAL.

con apoyo del CIAT, el CENAOS brindó información de alrededor de 33 estaciones con datos acerca de temperatura (14) y precipitación (33) (Navarro-Racines y otros, 2018).

**Cuadro 13**  
**Honduras: características de las estaciones meteorológicas del CENAOS-COPECO**

Características	Descripción
Número de estaciones	33
VARIABLES	Temperatura, radiación solar, precipitación acumulada.
Período	No disponible.
Temporalidad	Hora, día.
Página web	<a href="http://cenaos.copeco.gob.hn/MapaClima.html">http://cenaos.copeco.gob.hn/MapaClima.html</a> Para tener acceso a los pronósticos históricos del CENAOS se tiene que realizar una solicitud a COPECO. No se tuvo acceso al mapa de inventario de estaciones [en línea] <a href="http://cenaos.copeco.gob.hn/inventario.html">http://cenaos.copeco.gob.hn/inventario.html</a> . En el CENAOS se publica información de precipitación acumulada del año (en milímetros), temperatura y por departamento.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sismológicos-Comisión Permanente de Contingencias (CENAOS-COPECO), Servicios climáticos, Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sismológicos, 2022 [en línea] <http://cenaos.copeco.gob.hn/sclimatico.html>.

#### d) **CCAFS-Climate. GCM Downscaled Data Portal**

Esta base es parte del CIAT y el Programa de Investigación en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS<sup>39</sup>). Los datos de las estaciones meteorológicas en Honduras están en formato de texto. El CCAFS desarrolló la interfaz para la descarga a fin de proveer de datos observacionales a los proyectos relacionados con socios del CCAFS/CIAT. El portal contiene información de alrededor de 108 estaciones meteorológicas del COPECO, la DGRH y la ENEE. Se tiene una restricción para la divulgación comercial o redistribución sin un permiso escrito por parte del CCAFS-Climate o las instituciones de los datos socios. El uso de la información debe notificarse al CCAFS. El portal despliega opciones para acceder a datos por estación desde 1981 hasta 2019 (CIAT, 2022).

**Cuadro 14**  
**Honduras: características de los datos de las estaciones del CCAFS-Climate**

Características	Descripción
Número de estaciones	~108 estaciones pluviométricas.
VARIABLES	Temperatura máxima, mínima, precipitación.
Período	Desde 1981 hasta 2019.
Temporalidad	Hora, día.
Página web	<a href="http://ccafs-climate.org/weather_stations/">http://ccafs-climate.org/weather_stations/</a> La descarga está restringida.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Programa de Investigación en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS), "Weather Stations", GCM Downscaled Data Portal, 2014 [en línea] [http://ccafs-climate.org/weather\\_stations/](http://ccafs-climate.org/weather_stations/).

## 5. Nicaragua

La Dirección General de Meteorología del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) es responsable de operar la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas; realizar la vigilancia meteorológica nacional; elaborar y difundir de manera oficial el pronóstico del tiempo, notas informativas, avisos y alertas; contribuir a la reducción del impacto de los fenómenos

<sup>39</sup> Climate Change, Agriculture and Food Security.

meteorológicos peligrosos que producen desastres; garantizar el servicio de información a la navegación aérea y marítima nacional e internacional, y generar información meteorológica básica y elaborada para diferentes usuarios de la vida nacional (INETER, 2022a).

La Red Nacional de Estaciones Meteorológicas recolecta datos horarios y diarios de forma automatizada. El Banco de Datos Meteorológico está constituido por una red de topología de estrella, conformada por 14 estaciones de trabajo, conectadas a un servidor central.

**Cuadro 15**  
**Nicaragua: Red Nacional de Estaciones Meteorológicas**

Características	Descripción
Número de estaciones	Aproximadamente 16 estaciones meteorológicas principales (convencionales) <sup>a</sup> . Aproximadamente 93 estaciones telemétricas (automáticas).
Variables	Precipitación, temperatura de aire y suelo, brillo solar, dirección y velocidad del viento.
Período	Desde 1965 <sup>b</sup> .
Temporalidad	Estaciones principales: operan 12 horas al día, de 06:00 a 18:00 horas. Estaciones automáticas cada 15 minutos.
Página web	Los datos están restringidos y se manejan por intranet <sup>c</sup> . En la página del INETER se ofrece a la venta un documento con sesenta mapas en versión impresa o digital del Banco de Datos Meteorológicos: <a href="https://www.ineter.gob.ni/Catalogo.html">https://www.ineter.gob.ni/Catalogo.html</a> .

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Dirección General de Meteorología/ Productos y Servicios, 2022 [en línea] <https://www.ineter.gob.ni/met.html>, consulta y revisión en reunión virtual con Luis Herrera del INETER [fecha de consulta: 9 de diciembre de 2022].

<sup>a</sup> Son oficinas del INETER que tienen equipos análogos, y el observador toma de cada instrumento el valor y, después, lo registra en un sistema de información. Operan 12 horas al día, de 06:00 a 18:00 horas.

<sup>b</sup> Casi todas las estaciones tienen información climatológica desde 1965 a la fecha.

<sup>c</sup> El sistema de base de datos es Cliente Servidor, bajo plataforma Oracle ver. 8.05; la información se maneja como una red local (intranet).

En reunión virtual<sup>40</sup>, personal del INETER comentó que este Instituto reúne varias disciplinas como hidrología, vulcanología, sismología, ordenamiento territorial, catastro físico, geodesia, cartografía oficial del país y meteorología. Cuenta con un visor interno en el que se visualizan las estaciones meteorológicas principales (convencionales)<sup>41</sup>, estaciones telemétricas (automáticas)<sup>42</sup>, estaciones hidrológicas<sup>43</sup>, estaciones geodésicas, delegaciones catastrales, sismógrafos/acelerógrafos, cámaras web en volcanes y límites nacionales. Las estaciones están georreferenciadas y tienen los datos en bases de datos geoespaciales para su procesamiento.

#### a) CCAFS-Climate. GCM Downscaled Data Portal

Los datos de las estaciones meteorológicas en Nicaragua están en formato de texto. El portal contiene información de 13 estaciones meteorológicas de la Cruz Roja-Asociación de Desarrollo Social de Nicaragua (ASDENIC), la Asociación de Cooperativas de Pequeños Productores de Café de Nicaragua (CAFENICA) y la DGRH. Establece restricción para la divulgación comercial o la redistribución sin un permiso escrito, y el uso de la información se debe notificar al CCAFS. El portal despliega opciones para acceder a datos por estación desde 1980 hasta 2016 (CIAT, 2022).

<sup>40</sup> La reunión se llevó a cabo el 9 de diciembre de 2022, con la participación de Luis Herrera, del INETER, y Jaime Olivares y Santa Paola Centeno, de la CEPAL.

<sup>41</sup> Son oficinas del INETER que tienen equipos análogos y el observador toma de cada instrumento el valor y, después, lo registra en un sistema de información.

<sup>42</sup> Emiten información cada quince minutos y la información se encuentra en los servidores del INETER.

<sup>43</sup> Miden nivel y caudal.

**Cuadro 16**  
**Nicaragua: características de datos de las estaciones CCAFS-Climate**

Características	Descripción
Número de estaciones	~13 estaciones pluviométricas.
Variables	Temperatura máxima, mínima, precipitación.
Período	1980-2016.
Temporalidad	Horario, diario.
Página web	<a href="http://ccafs-climate.org/weather_stations/">http://ccafs-climate.org/weather_stations/</a> La descarga está restringida.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Programa de Investigación en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS), "Weather stations", GCM Downscaled Data Portal, 2014 [en línea] [http://ccafs-climate.org/weather\\_stations/](http://ccafs-climate.org/weather_stations/).

## 6. Panamá

La Ley Núm. 6, publicada el 3 de febrero de 1997, le asignó las funciones hidrometeorológicas y la Red Hidrometeorológica Nacional a la Empresa de Transmisión Eléctrica S. A. (ETESA), y con la Ley 209, del 22 de abril de 2021, se creó el Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá (IMHPA), al que, desde entonces, se le transfirieron las funciones hidrometeorológicas y la Red Hidrometeorológica Nacional que tenía la ETESA. Entre las principales tareas de la Dirección de Hidrometeorología está la gestión del Banco Nacional de Datos Meteorológicos e Hidrológicos (IMHPA, 2023a).

**Cuadro 17**  
**Panamá: características de las estaciones meteorológicas de la Red Hidrometeorológica Nacional**

Características	Descripción			
Número de estaciones	317 estaciones (227 estaciones meteorológicas y 90 estaciones hidrológicas)			
	Meteorológicas		Hidrológicas	
	Tipo A automáticas en tiempo real	81	Automáticas	27
	Tipo A mixtas	3	Automáticas en tiempo real	61
	Tipo B automáticas	8	Mixtas (Automáticas y Convencional)	2
	Tipo B automáticas en tiempo real	2		
	Tipo B mixtas	4		
	Tipo B convencionales	8		
	Tipo C automáticas	26		
	Tipo C automáticas en tiempo real	32		
	Tipo C mixtas	17		
	Tipo C convencionales	46		
	Total	227	Total	90
	Automáticas en tiempo real	115 (50,66%)	Automáticas en tiempo real	61 (67,78%)
	Automáticas	34 (14,98%)	Automáticas	27 (30%)
Mixtas	24 (10,57%)	Mixtas	2 (2,2%)	
Convencionales	54 (23,79%)			

Variables Estación meteorológica:  
 Tipo A: precipitación, temperatura, humedad relativa, presión barométrica, viento a 10 m, radiación y horas de sol, evaporación y temperatura del suelo.  
 Tipo B: precipitación, temperaturas extremas, humedad relativa, radiación solar, presión barométrica y viento a 2 m.  
 Tipo C: precipitación.  
 Estación hidrológica: precipitación.

Características	Descripción
Período	Estaciones meteorológicas: algunas estaciones con datos desde 1970. Estaciones hidrológicas: algunas estaciones con datos desde 1970. Datos históricos: promedio mensual de estaciones inactivas. Estaciones satelitales: se pueden visualizar los datos del último mes.
Temporalidad	Datos históricos del clima: mensual. Estaciones satelitales: cada quince minutos.
Página web	La información no se puede descargar. Datos climáticos históricos: <a href="https://www.hidromet.com.pa/es/clima-historicos">https://www.hidromet.com.pa/es/clima-historicos</a> Lista de estaciones meteorológicas: <a href="https://www.hidromet.com.pa/es/estaciones-meteorologicas">https://www.hidromet.com.pa/es/estaciones-meteorologicas</a> Lista de estaciones hidrológicas: <a href="https://www.hidromet.com.pa/es/estaciones-hidrologicas">https://www.hidromet.com.pa/es/estaciones-hidrologicas</a> Estaciones meteorológicas satelitales: <a href="https://www.hidromet.com.pa/es/estaciones-satelitales">https://www.hidromet.com.pa/es/estaciones-satelitales</a> Estaciones hidrológicas satelitales: <a href="https://www.hidromet.com.pa/es/niveles-estaciones">https://www.hidromet.com.pa/es/niveles-estaciones</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá (IMHPA), Red de Estaciones Hidrometeorológicas, 2023 [en línea] <https://www.hidromet.com.pa/es/red-estaciones>.

El Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) de Panamá tiene entre sus publicaciones la serie “Situación Física: Meteorología”, en la que brinda la siguiente información: precipitación pluvial mensual y de la última década por año; temperatura del aire y del suelo, humedad relativa, evaporación, presión atmosférica, vientos, insolación, horas de sol y radiación solar. Además, incluye la lista de las cuencas hidrográficas y la localización de estas, así como gráficas de la información antes mencionada. El período de los datos de la publicación es de 2001 a 2015, y son presentados en cuadros, gráficas y mapas, que pueden ser descargados en PDF y, en algunos casos, en Excel (INEC, 2022).

En reunión virtual<sup>44</sup>, personal de ETESA explicó que la información de las estaciones meteorológicas se tiene documentada y referenciada, pero que no es de acceso libre, ya que los datos que llegan de las estaciones requieren control de calidad en lo relativo a las diferentes variables meteorológicas e hidrológicas. La información es gratuita para estudiantes, academia e instituciones públicas, quienes la tienen que solicitar especificando las características requeridas. Para las empresas privadas, los datos tienen costo. Para su financiamiento, ETESA realiza el pronóstico meteorológico e hidrológico para el sector eléctrico. En 2022 entró en funciones el Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá (IMHPA), que tendrá un Banco Nacional de Datos con información filtrada y analizada. Está en proceso la automatización de la mayoría de las estaciones convencionales.

## 7. República Dominicana

La Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET) es el organismo técnico-científico y ente regulador de la información meteorológica (ONAMET, 2022a). Ofrece valores diarios, mensuales y promedios de las distintas variables meteorológicas (temperatura, precipitación, viento, humedad relativa, presión atmosférica, entre otras) que se registran en los diferentes observatorios que componen la red nacional de estaciones (ONAMET, 2022b).

<sup>44</sup> La reunión se llevó a cabo el 23 de junio de 2022, con la participación de Luz Graciela de Calzadilla, de la ETESA; Ligia Castro de Doens, Brillitt Manzané, Nathalye Camano, Yahaira Cárdenas, Rene López Arguelles, Israel Torres, de MiAmbiente; Fabio Bedoya, del MEF de Panamá; Edwin Castellanos, consultor del proyecto RIDASICC; Julie Lennox, Jaime Olivares, Santa Paola Centeno, José Manuel Iraheta y Mariana García, de la CEPAL.

**Cuadro 18**  
**República Dominicana: estaciones meteorológicas de la ONAMET**

Características	Descripción
Número de estaciones	99
Variables	Temperatura, precipitación, viento, humedad relativa, presión atmosférica.
Período	No disponible.
Temporalidad	Valores diarios, mensuales y promedios.
Página web	<p>La información tiene costo y debe ser solicitada por correo (asunto, variable, período, localidad o estación de interés) a la Dirección Nacional:</p> <p><a href="https://onamet.gob.do/index.php/servicios-m/item/262-datos-climatologicos">https://onamet.gob.do/index.php/servicios-m/item/262-datos-climatologicos</a></p> <p>Mapa de las Estaciones Meteorológicas Automáticas de la ONAMET:</p> <p><a href="https://www.google.com/maps/d/u/0/view?mid=159_JSKw3USCxlBfZUAUfioLEzA&amp;ll=19.79100780618447%2C-71.78372506562502&amp;z=8">https://www.google.com/maps/d/u/0/view?mid=159_JSKw3USCxlBfZUAUfioLEzA&amp;ll=19.79100780618447%2C-71.78372506562502&amp;z=8</a></p> <p>Informe de lluvia diaria:</p> <p><a href="https://datastudio.google.com/u/0/reporting/a1710d6c-8a66-4c5f-8765-6379b07b2e77/page/ziOOB?hl=en">https://datastudio.google.com/u/0/reporting/a1710d6c-8a66-4c5f-8765-6379b07b2e77/page/ziOOB?hl=en</a></p> <p>Informe de lluvia diaria regional:</p> <p><a href="https://datastudio.google.com/u/0/reporting/7cf7b039-a1e1-448d-a869-94a066057769/page/ziOOB?hl=en">https://datastudio.google.com/u/0/reporting/7cf7b039-a1e1-448d-a869-94a066057769/page/ziOOB?hl=en</a></p> <p>Hidrometeorología: <a href="https://onamet.gob.do/index.php/publicaciones/hidrometeorologia">https://onamet.gob.do/index.php/publicaciones/hidrometeorologia</a></p> <p>Agrometeorología: <a href="https://onamet.gob.do/index.php/publicaciones/agrometeorologia">https://onamet.gob.do/index.php/publicaciones/agrometeorologia</a></p>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET), Sitio oficial, 2022 [sitio web] <https://onamet.gob.do/>.

## 8. Base de Datos Climáticos de Centroamérica (BDCAC). Centro Clima

Centro Clima es un portal regional que contiene información climática unificada. Es administrado y gestionado por el Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH) y los servicios meteorológicos de los países de Centroamérica y de la República Dominicana. En este portal se encuentra la Base de Datos Climáticos de Centroamérica (BDCAC), que fue generada entre 2009 y 2011 con el apoyo del Programa de Bienes Públicos Regionales del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), con el objetivo de almacenar información climática para la región centroamericana. Incluye datos climáticos de la región desde 1970, y ha sido utilizado por los servicios meteorológicos de siete países de la región. Cuenta con menos del 5% de datos faltantes. Esta base también apoya el trabajo realizado por el Foro del Clima (CRRH, 2022).

La BDCAC está compuesta por una red de 164 estaciones climáticas regionales suministradas por los servicios meteorológicos nacionales. El sistema de esta consiste en una plataforma de servidores de mapas y reportes de clima en los que es posible analizar datos diarios o agrupados de las estaciones. Entre sus ventajas se encuentra la gestión centralizada, productos como mapas, gráficas y datos agregados, la capacidad para rescatar más variables o ubicaciones, la posibilidad de convenios con los Servicios Hidrometeorológicos y Meteorológicos Nacionales o con el CRRH para la generación de productos más específicos. Es gestionada en el INSIVUMEH de Guatemala, pero tiene servidores replicados en la región. Para acceder a las bases se requiere autorización de las instituciones meteorológicas a través del CRRH (CRRH, 2022).

### B. Bases de datos climáticos internacionales

Con las bases de datos de climatologías de fuentes internacionales se podría complementar los registros de estaciones meteorológicas que indican los niveles de temperatura y precipitación en un punto. Con objeto de investigar la evolución de la temperatura y precipitación, algunas

instituciones e investigadores han construido progresivamente bases de datos históricas globales georreferenciadas, con distintas resoluciones espaciales, métodos de interpolación y extrapolación, y fuentes de información. Estas fuentes de información varían en cantidad de estaciones meteorológicas, uso de información satelital y el punto de partida de sus registros históricos (CEPAL/CAC-SICA, 2020).

A continuación, se reportan las bases de datos identificadas de instituciones que han construido bases georreferenciadas de indicadores climáticos y que son referencia para la OMM y para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). En 2021, el IPCC publicó su Atlas Interactivo de Cambio Climático<sup>45</sup>, en cuyo visor se puede visualizar, en mapas, la información histórica para el período de 1960 a 2015, y a nivel regional es posible obtener gráficos del aumento de temperatura de 1960 a 2020 para algunas de las fuentes que se presentan en esta sección.

## I. Unidad de Investigación del Clima (CRU)

La Unidad de Investigación del Clima (CRU<sup>46</sup>) es una base de datos climática de la Universidad de East Anglia, del Reino Unido. Es referente en la comunidad internacional por su seguimiento de anomalías de temperatura con respecto del período preindustrial (1850-1900), pues cuenta con una serie histórica de temperatura global desde 1850. En sus últimas versiones, en esta base se ha mejorado el método de interpolación<sup>47</sup>, se ha incrementado la densidad de estaciones meteorológicas y sus fuentes. Desde su versión CRU TS 4 de 2017, la información se ha ido actualizando año con año.

**Cuadro 19**  
**Características de la base de datos de CRU**

Características	Descripción
Instituciones a cargo	Universidad de East Anglia, del Reino Unido, con apoyo del Consejo de Investigación del Medio Ambiente Natural del Reino Unido (NERC <sup>a</sup> ), el Departamento de Energía de los Estados Unidos (USDOE <sup>b</sup> ) y el Centro Nacional de Ciencias Atmosféricas del Reino Unido (NCAS <sup>c</sup> ).
Fuentes	2.400 estaciones de los datos mensuales de CLIMAT <sup>d</sup> . Datos Climáticos Mensuales del Mundo (MCDW <sup>e</sup> ), producidos por el Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC <sup>f</sup> ) para la OMM <sup>g</sup> , que utiliza alrededor de 2.000 estaciones y hasta 2.600 estaciones para precipitación. Datos por décadas de los Registros Meteorológicos Mundiales (WWR <sup>h</sup> ), que son alimentados con base en los Servicios Meteorológicos Nacionales (SMN) y del NCDC utilizando hasta 1.700 estaciones. Otras fuentes son las colaboraciones con científicos e instituciones climáticas y la publicación de series climáticas por parte de los SMN <sup>i</sup> .
Resolución o nivel geográfico	0,5 x 0,5 grados (aproximadamente 55,66 km x 55,66 km).
Período	1901-2021.
Temporalidad	Mensual.
Área de cobertura	Superficie terrestre global.
Accesibilidad	Archivos ráster para descarga. Esta fuente es de datos abiertos.

<sup>45</sup> El Atlas interactivo del IPCC se puede consultar [en línea] <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>.

<sup>46</sup> Climate Research Unit.

<sup>47</sup> El proceso de interpolación implementa la ponderación de distancia angular (ADW) que asigna hasta ocho anomalías de estación más cercanas y relevantes a una matriz de celdas de cuadrícula. Una vez asignadas las anomalías observadas, se asignan anomalías sintéticas de la misma forma, sin reemplazar las anomalías observadas. Estas anomalías son estimadas usando relaciones empíricas de las variables primarias. Una vez hechas estas asignaciones, se calculan las ponderaciones de distancia angular y se utilizan para obtener un valor de anomalía interpolado para cada celda de cuadrícula. La elevación no se incluye en este proceso de interpolación, sino que se introduce a través del uso de las climatologías para pasar de anomalías a valores absolutos. Las mejoras han sido en la estimación de las anomalías sintéticas y en la función de ponderación de distancia angular (Harris y otros, 2020).

Características	Descripción		
Consistencia	Los datos se basan en observaciones y dependen de la calidad de los servicios meteorológicos. Esta base ha sido utilizada para comparación con otras fuentes de reanálisis de series de temperatura y precipitación; en las últimas décadas ha sido utilizada para la evaluación de datos derivados de satélites. En el documento de CEPAL/CAC-SICA (2013) se detectó un sesgo en la versión CRU TS3.1 al asignar valor en divisiones administrativas de áreas pequeñas en Centroamérica. Este sesgo no se observa en la versión CRU TS4.1 al compararlos con la fuente de muy alta escala del Worldclim.		
Indicadores	Variable	Código	Unidades
	Temperatura media	TMP	Grados Celsius (°C)
	Temperatura mínima	TMN	Grados Celsius (°C)
	Temperatura máxima	TMX	Grados Celsius (°C)
	Precipitación	PRE	Milímetros por mes (mm por mes)
	Cobertura de nubes	CLD	Porcentaje (%)
	Rango de temperatura diurna	DTR	Grados Celsius (°C)
	Evapotranspiración potencial	PET	Milímetros por día (mm/día)
	Presión de vapor	VAP	Hectopascales (hPa)
	Días húmedos	WET	Número de días
	Días de helada	FRS	Días por mes
Página web	<a href="https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/">https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/</a>		

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de I. Harris y otros, "Version 4 of the CRUTS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset", *Scientific Data*, vol. 7, N° 109, 2020 [en línea] <https://www.nature.com/articles/s41597-020-0453-3.pdf>; Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Consejo Agropecuario Centroamericano del Sistema de la Integración Centroamericana (CAC-SICA), *Análisis espacial de datos históricos y escenarios de cambio climático en México, Centroamérica, Cuba, Haití y la República Dominicana* (LC/MEX/TS.2020/43), Ciudad de México, 2020 [en línea] [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46499/2/S2000938\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46499/2/S2000938_es.pdf); e *Impactos potenciales del cambio climático sobre los granos básicos en Centroamérica* (LC/MEX/L.1123), Distrito Federal, México, 2013 [en línea] <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/27171>.

<sup>a</sup> Natural Environment Research Council.

<sup>b</sup> United States Department of the Energy.

<sup>c</sup> National Centre for Atmospheric Science.

<sup>d</sup> CLIMAT es un código de intercambio internacional de datos a través del Sistema de Telecomunicación Global (GTS) de la OMM. Las estaciones no permanecen constantes en el tiempo.

<sup>e</sup> Monthly Climatic Data for the World.

<sup>f</sup> National Climatic Data Center.

<sup>g</sup> Al igual que con CLIMAT, las estaciones cambian con el tiempo.

<sup>h</sup> World Weather Records.

<sup>i</sup> Estos datos adicionales se incorporaron después de las verificaciones de control de calidad, incluida la ubicación y la verificación de valores atípicos.

## 2. HADCRUT5

HADCRUT es un conjunto de datos cuadrículados en rejillas de anomalías históricas globales de la temperatura del aire cerca de la superficie terrestre y del mar desde el año 1850. Esta base ha sido desarrollada y mantenida por el Met Office Hadley Center y el CRU de la Universidad de East Anglia, ambos del Reino Unido.

**Cuadro 20**  
**Características de la base de datos de HADCRUT5**

Características	Descripción				
Instituciones a cargo	Met Office Hadley Centre y Universidad de East Anglia, del Reino Unido.				
Fuentes	Es una combinación del conjunto de datos de temperatura del aire de la superficie terrestre CRUTEM5 y el conjunto de datos de temperatura de la superficie del mar (SST) HadSST4. El CRUTEM es un conjunto de datos cuadrículados de anomalías de la temperatura del aire cerca de la superficie observada sobre la tierra. Se basan en una compilación de registros de temperatura media mensual de 10.639 estaciones meteorológicas, de los que 7.983 se utilizan para producir el conjunto de datos cuadrículado. El HadSST.4.0.1.0 es el conjunto de datos de temperatura de la superficie del mar. Los datos se tomaron del Conjunto de Datos Internacional Integrado sobre los Océanos y la Atmósfera (ICOADS). <sup>a,b</sup> A partir de 2016, los datos son complementados con observaciones de boyas a la deriva del proyecto Copernicus, de la Unión Europea, de su Servicio de Monitoreo del Medio Ambiente Marino (CMEMS).				
Resolución o nivel geográfico	0,5 x 0,5 grados (aproximadamente 55,66 km x 55,66 km).				
Período	1850-2021 en la versión HadCRUT.5.0.1.0.				
Temporalidad	Mensual.				
Área cubierta	Superficie terrestre y del mar a nivel global.				
Accesibilidad	Archivos ráster para descarga. Esta fuente es de datos abiertos.				
Consistencia	Los datos se basan en observaciones y dependen de la calidad de los servicios meteorológicos para el caso del CRUTEM. Los datos del HadSST tienen como base una heterogeneidad de sistemas de información a una escala superior del CRUTEM, por lo que fueron reducidos a su misma escala. Se aplicaron ajustes de sesgo para reducir los efectos de los cambios en las prácticas de medición de SST.				
Indicadores	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Unidades</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Anomalía de la temperatura media</td> <td>Grados Celsius (°C), con respecto del período 1961-1990.</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	Unidades	Anomalía de la temperatura media	Grados Celsius (°C), con respecto del período 1961-1990.
Variable	Unidades				
Anomalía de la temperatura media	Grados Celsius (°C), con respecto del período 1961-1990.				
Página web	HADCRUT5: <a href="https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5/data/current/download.html">https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5/data/current/download.html</a> CRUTEM5: <a href="https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/crutem5/">https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/crutem5/</a> HadSST.4.0.1.0: <a href="https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadsst4/">https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadsst4/</a>				

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de C. P. Morice y otros, "An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 data set", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126, e2019JD032361, 2021 [en línea] <https://doi.org/10.1029/2019JD032361>.

<sup>a</sup> International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set.

<sup>b</sup> El ICOADS ofrece datos marinos de superficie que abarcan desde 1662 hasta el presente, los productos son resúmenes mensuales cuadrículados con resolución de 2° x 2° (aproximadamente 222 km x 222 km) hasta 1800 y de 1° x 1° (aproximadamente 111 km x 111 km) desde 1960. El proyecto ICOADS es el resultado de la cooperación entre la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y el National Center for Atmospheric Research (NCAR). Contiene observaciones de muchos sistemas de observación diferentes que abarcan la evolución de la tecnología de medición durante cientos de años (<https://icoads.noaa.gov/status.html>).

En el caso del HadCRUT5, las incertidumbres derivadas del submuestreo y el error de medición se calcularon para los datos mensuales en rejillas o sus cuadrículas, y están disponibles en formato ráster en la página de descarga de información del *metoffice*. Las incertidumbres evaluadas incluyen las que surgen de la precisión del termómetro, la homogeneización, el muestreo de las rejillas con un número finito de mediciones, sesgos a gran escala como la urbanización y la estimación de promedios regionales con una cobertura de medición global no completa (Morice y otros, 2021).

### 3. Worldclim

Worldclim es un conjunto de capas del clima global colocadas en un portal web de acceso libre, que ofrece la descarga de mapas globales en archivos ráster. Su autor es Robert Hijmans, de la Universidad de California en Davis, quien, junto con otros investigadores, construyó una metodología de interpolación a muy alta resolución de datos climáticos con base en estaciones meteorológicas para generar climatologías históricas (Hijmans y otros, 2005). En una actualización reciente, Fick y Hijmans (2017) revisaron la metodología y la base de datos, y ofrecen una nueva versión de la climatología.

Esta fuente de información es un referente para algunos países o fuentes de datos internacionales que bajan la escala de la información de los modelos con escenarios de cambio climático y que, además, la utilizan como una climatología base para calcular las anomalías de temperatura y precipitación de los escenarios. Ejemplos del uso de esta fuente de información son los escenarios de cambio climático publicados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) de México, cuya referencia es la climatología de 1950-2000 de Worldclim y la base de datos de CCAFS-Climate, que baja la escala de los escenarios con la metodología de Worldclim (Navarro-Racines y otros, 2020).

**Cuadro 21**  
**Características de la base de datos de Worldclim**

Características	Descripción																				
Instituciones a cargo	La versión de WorldClim 2.1 fue desarrollada por los investigadores Robert J. Hijmans y Stephen E. Ficks, con la subvención del Consorcio de Sistemas Geoespaciales y Agrícolas de Feed The Future-Sustainable Intensification Innovation Lab.																				
Fuentes	Para la versión WorldClim 2.1 las fuentes son: Worldclim versión 1 CRU TS versión 3.22 The Berkeley Earth Project Red Mundial de Datos Climatológicos Históricos (GHCN) Normales climatológicas de la OMM (CLINO) La base de clima global de FAOCLIM 2.0 El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) La European Climate Assessment y su conjunto de datos mensuales (ECAM) Global Summary of Day (GSOD)																				
Resolución o nivel geográfico	10 minutos de arco (aproximadamente 18,5 km x 18,5 km). 5 minutos de arco (aproximadamente 9,3 km x 9,3 km). 2,5 minutos de arco (aproximadamente 4,6 km x 4,6 km). 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km x 1 km).																				
Período	Dos climatologías: 1960-1990 y 1970-2000.																				
Temporalidad	Mensual.																				
Área cubierta	Superficie terrestre a nivel global.																				
Accesibilidad	Archivos ráster para descarga. Esta fuente es de datos abiertos.																				
Consistencia	La metodología de reducción de escala es utilizada por otras fuentes de datos que presentan escenarios de cambio climático, y utiliza una gran cantidad de estaciones meteorológicas. Las climatologías construidas por el Worldclim han sido utilizadas para observar las anomalías de cambio climático en distintos países y fuentes. El método de interpolación toma en cuenta elevación, latitud y longitud, por lo que se pueden observar microclimas en detalle.																				
Indicadores	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Unidades</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Temperatura mínima</td> <td>Grados Celsius (°C).</td> </tr> <tr> <td>Temperatura máxima</td> <td>Grados Celsius (°C).</td> </tr> <tr> <td>Temperatura media</td> <td>Grados Celsius (°C).</td> </tr> <tr> <td>Precipitación</td> <td>Milímetro (mm)</td> </tr> <tr> <td>Radiación solar</td> <td>Kilojoule por metro cuadrado por día (kJ m-2 por día)</td> </tr> <tr> <td>Velocidad del viento</td> <td>Metros por segundo (m s-1)</td> </tr> <tr> <td>Presión de vapor de agua</td> <td>Kilopascal (kPa)</td> </tr> <tr> <td>Elevación</td> <td>Metros</td> </tr> <tr> <td>19 variables bioclimáticas derivadas de la temperatura y precipitación.</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Variable	Unidades	Temperatura mínima	Grados Celsius (°C).	Temperatura máxima	Grados Celsius (°C).	Temperatura media	Grados Celsius (°C).	Precipitación	Milímetro (mm)	Radiación solar	Kilojoule por metro cuadrado por día (kJ m-2 por día)	Velocidad del viento	Metros por segundo (m s-1)	Presión de vapor de agua	Kilopascal (kPa)	Elevación	Metros	19 variables bioclimáticas derivadas de la temperatura y precipitación.	
Variable	Unidades																				
Temperatura mínima	Grados Celsius (°C).																				
Temperatura máxima	Grados Celsius (°C).																				
Temperatura media	Grados Celsius (°C).																				
Precipitación	Milímetro (mm)																				
Radiación solar	Kilojoule por metro cuadrado por día (kJ m-2 por día)																				
Velocidad del viento	Metros por segundo (m s-1)																				
Presión de vapor de agua	Kilopascal (kPa)																				
Elevación	Metros																				
19 variables bioclimáticas derivadas de la temperatura y precipitación.																					
Página web	<a href="https://www.worldclim.com/">https://www.worldclim.com/</a>																				

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de S. E. Fick y R. J. Hijmans, "WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas", *International Journal of Climatology*, vol. 37, 2017, págs. 4302-4315 [en línea] <https://doi.org/10.1002/joc.5086>; R. J. Hijmans y otros, "Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas", *International Journal of Climatology*, vol. 25, 2005 [en línea] [https://bio.research.ucsc.edu/~barrylab/classes/climate\\_change/HijmansIJC2005.pdf](https://bio.research.ucsc.edu/~barrylab/classes/climate_change/HijmansIJC2005.pdf); Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Consejo Agropecuario Centroamericano del Sistema de Integración Centroamericana (CAC-SICA), *Análisis espacial de datos históricos y escenarios de cambio climático en México, Centroamérica, Cuba, Haití y la República Dominicana (LC/MEX/TS.2020/43)*, Ciudad de México, 2020 [en línea] [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46499/2/S2000938\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46499/2/S2000938_es.pdf).

## 4. NOAA GlobalTemp

La NOAA GlobalTemp es una base de datos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA<sup>48</sup>) de los Estados Unidos. Esta agencia construyó una base con anomalías mensuales de la temperatura de la superficie terrestre-oceánica de 1880 al presente. Se conocía anteriormente como el Análisis de la Temperatura de la Superficie Global del Océano Terrestre Fusionado (MLOST<sup>49</sup>) de la NOAA.

Los datos base de la Red Mundial de Climatología Histórica mensual (GHCNm<sup>50</sup>) versión 4 incluyen más estaciones que la versión anterior. La base Extendida y Reconstruida de la Temperatura de la Superficie del Mar (ERSST<sup>51</sup>) versión 5 tiene una mejora de métodos y datos de la superficie del mar reconstruida y extendida. Los métodos mejorados incluyen un mejor control de calidad, interpolación y ajuste de sesgo utilizando una nueva referencia de observaciones de boyas más precisas. También la versión 5 del ERSST ha mejorado la representación de la variabilidad espacial sobre los océanos, la magnitud de los eventos de El Niño y La Niña y la precisión de la temperatura superficial del mar (Zhang y otros, 2019a).

**Cuadro 22**  
**Características de la base de datos de NOAA GlobalTemp**

Características	Descripción
Instituciones a cargo	Los Centros Nacionales de Información Ambiental (NCEI <sup>a</sup> ) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA <sup>b</sup> ) de los Estados Unidos.
Fuentes	Combina las temperaturas de: GHCNm versión 4 de la NOAA para las temperaturas del aire de la superficie terrestre (aproximadamente 26.000 estaciones). ERSST versión 5 de la NOAA para las temperaturas de la superficie del mar.
Resolución o nivel geográfico	Reanálisis: 5° x 5° (aproximadamente 556 km x 556 km).
Período	De 1880 al presente.
Temporalidad	Serie de tiempo. Mensuales y anuales.
Área cubierta	Global. Terrestre-oceánica.
Accesibilidad	Datos de acceso libre para descarga en formato ráster. Para referir la base de datos se solicita citar a los autores.
Consistencia	Los datos se utilizan para evaluar mensualmente el clima mundial. Proporciona datos de entrada para modelos climáticos.
Indicadores	Anomalía de la temperatura respecto al período 1971-2000. En grados centígrados.
Página web	<a href="https://www.ncei.noaa.gov/products/land-based-station/noaa-global-temp">https://www.ncei.noaa.gov/products/land-based-station/noaa-global-temp</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de H. M. Zhang y otros, "Updated temperature data give a sharper view of climate trends", *Eos*, 2019 [en línea] <https://doi.org/10.1029/2019EO128229>; H. M. Zhang y otros, "NOAA Global Surface Temperature Dataset (NOAAGlobalTemp), Version 4.0 [Global Gridded 5° Data]", NOAA National Centers for Environmental Information, 2019 [en línea] <https://www.ncei.noaa.gov/access/metadata/landing-page/bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00934>.

<sup>a</sup> National Centers for Environmental Information.

<sup>b</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration.

## 5. ERA-5

El Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF<sup>52</sup>) produce predicciones meteorológicas numéricas globales y otros datos para sus Estados miembros, Estados cooperantes y la comunidad en general. Brinda capacitación avanzada y ayuda a la OMM a implementar sus programas. Opera dos servicios del programa de observación de la Tierra Copernicus, de la Unión Europea: el Servicio de Monitoreo de la Atmósfera Copernicus (CAMS<sup>53</sup>) y el Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S), y contribuye al Servicio de Gestión de Emergencias de

<sup>48</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration.

<sup>49</sup> Merged Land Ocean Global Surface Temperature Analysis.

<sup>50</sup> Global Historical Climatology Network monthly.

<sup>51</sup> Extended Reconstructed Sea Surface Temperature.

<sup>52</sup> European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.

<sup>53</sup> Copernicus Atmosphere Monitoring Service.

Copernicus (CEMS<sup>54</sup>). El ECMWF utiliza sus modelos de pronóstico y sistemas de asimilación de datos<sup>55</sup> para reanalizar las observaciones archivadas, con lo que crea conjuntos de datos globales que describen la historia reciente de la atmósfera, la superficie terrestre y los océanos (Hersbach y otros, 2019).

Un reanálisis del clima proporciona una descripción numérica del clima reciente, y se produce al combinar modelos meteorológicos con observaciones de satélites y sensores terrestres de todo el mundo. Consta de estimaciones de parámetros atmosféricos como la temperatura del aire, la presión y el viento a diferentes altitudes, parámetros de la superficie como las precipitaciones, el contenido de humedad del suelo, la altura de las olas oceánicas y la temperatura de la superficie del mar. Las estimaciones se hacen para todos los lugares del mundo; estas abarcan un largo período de tiempo, que puede ser de décadas (ECMWF, 2022). Esta técnica ayuda a llenar vacíos en las series históricas de la información, así como a corregir datos con grandes anomalías. De esta forma se crean los conjuntos de datos climáticos históricos.

El reanálisis del ECMWF (ERA<sup>56</sup>) ha sido usado, junto con otras bases de datos, para las evaluaciones anuales de la OMM del estado del clima y las evaluaciones del IPCC. El ERA-5 es la quinta generación del reanálisis atmosférico, producido por el C3S, y cubre el período de 1950 al presente. Proporciona datos por hora de muchos parámetros atmosféricos, de la superficie terrestre y del estado del mar. Además, realiza estimaciones de incertidumbre calculando los errores en el componente de alta resolución de ERA5 con respecto de las observaciones (Hersbach y otros, 2019).

**Cuadro 23**  
**Características de la base de datos de ERA-5**

Características	Descripción
Instituciones a cargo	El C3S, de la Unión Europea, operado por el ECMWF.
Fuentes	Combina modelo meteorológico con datos de observaciones de satélites y sensores terrestres de todo el mundo.
Resolución o nivel geográfico	Reanálisis: 0,25° x 0,25° (aproximadamente 27,8 km x 27,8 km).
Período	De 1979 al presente (1950-1978, para una versión preliminar).
Temporalidad	Series de tiempo. Por horas y mensuales.
Área cubierta	Global. En niveles de presión: campos de aire superiores. En niveles individuales: atmósfera, olas oceánicas y superficie terrestre.
Accesibilidad	Los datos pueden ser descargados o usados desde la interfaz de programación de aplicaciones (API) de la Climate Data Store (CDS) del C3S. La licencia de uso es gratuita, mundial, no exclusiva, libre de regalías y perpetua. El acceso a los productos de Copernicus se otorga en la medida que sea legal, mientras el uso incluya: reproducción, distribución, comunicación al público, adaptación, modificación y combinación con otros datos e información, o cualquier combinación de los anteriores. Los usuarios deben proporcionar una atribución clara y visible al programa Copernicus y deben manifestar que ni la Comisión Europea ni el ECMWF son responsables del uso que pueda hacerse de la información.
Consistencia	El reanálisis no tiene la restricción de emitir pronósticos oportunos, por lo que hay más tiempo para recopilar observaciones, y cuando se retrocede en el tiempo, para permitir la ingesta de versiones mejoradas de las observaciones originales, que beneficia la calidad del reanálisis.

<sup>54</sup> Copernicus Emergency Management Service.

<sup>55</sup> El propósito de la asimilación de datos es determinar el mejor estado atmosférico posible utilizando observaciones y pronósticos de corto plazo. La asimilación de datos es un procedimiento secuencial de intervalos de tiempo, en el que se compara un pronóstico del modelo anterior con las observaciones recién recibidas; luego se actualiza el modelo para reflejar las observaciones, se inicia un nuevo pronóstico, etcétera. Generalmente, el paso de actualización en este proceso se denomina análisis. El ECMWF también usa la asimilación de datos para monitorear el cambio climático con base en observaciones pasadas, lo que se conoce como reanálisis (ECMWF [en línea] <https://www.ecmwf.int/en/research/data-assimilation>).

<sup>56</sup> E por ECMWF y RA por ReAnalysis.

Características	Descripción
Indicadores	Algunas variables Diferentes indicadores para: Temperatura (en unidades kelvin [k]), viento (en metros por segundo [m/s]), precipitación (mm por segundo [mm/s]), evaporación y escorrentía (mm/s), radiación y calor (vatios por metro cuadrado), nieve (kilogramos por metros cúbicos), agua del suelo (porcentaje), vegetación (porcentaje).
Página web	<a href="https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=overview">https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=overview</a> <a href="https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview">https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de H. Hersbach y otros, "ERA5 monthly averaged data on single levels from 1979 to present", Copernicus Climate Change Service (C3S), Climate Data Store (CDS), 2019 [en línea] <https://doi.org/10.24381/cds.fl7050d7>.

## 6. GISTEMP

GISTEMP es el análisis de temperatura de la superficie creado por el Instituto Goddard de Estudios Espaciales (GISS) de la Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio (NASA). Proporciona una medida de la temperatura de la superficie global por mes desde 1880.

**Cuadro 24**  
**Características de la base de datos GISTEMP**

Características	Descripción
Instituciones a cargo	El GISS de la NASA.
Fuentes	Combina las temperaturas de: GHCNm v4 de la NOAA para las temperaturas del aire de la superficie terrestre. ERSST v5 de la NOAA para las temperaturas de la superficie del mar.
Resolución o nivel geográfico	Reanálisis: 2° x 2° (aproximadamente 222 km x 222 km).
Período	De 1880 al presente.
Temporalidad	Series de tiempo. Mensuales.
Área cubierta	Global. Cobertura terrestre global desde 1960.
Accesibilidad	Datos de acceso libre para descarga en formato ráster. Para referir la base de datos, se solicita citar el sitio web y la publicación académica más reciente sobre el análisis de GISTEMP.
Consistencia	Es uno de los principales conjuntos de datos utilizados para monitorear la variabilidad y las tendencias de la temperatura global y regional. Su metodología de interpolación es única, lo que le permite tener mayor cobertura. La incertidumbre de GISTEMP fue medida y comparada con la de las fuentes de HadCRUT4 y Berkeley Earth.
Indicadores	Anomalía de la temperatura con respecto del período de 1951 a 1980, en grados centígrados.
Página web	<a href="https://data.giss.nasa.gov/gistemp/">https://data.giss.nasa.gov/gistemp/</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de "GISTEMP Team, GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4, NASA Goddard Institute for Space Studies", Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), 2022 [en línea] <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>; N. Lenssen y otros, "Improvements in the GISTEMP uncertainty model", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 124, N° 12, 2019 [en línea] <https://doi.org/10.1029/2018JD029522>.

GISTEMP cuantifica la incertidumbre total sobre la temperatura superficial media anual mundial, y no cuantifica la incertidumbre en cuadrícula o mensual. Su metodología elimina el calentamiento urbano con la identificación de áreas urbanas mediante la radiación nocturna detectada remotamente (GISTEMP Team, 2022).

## 7. JRA-55

JRA-55 es el proyecto de reanálisis del Servicio Meteorológico del Japón (JMA), que es conocido como el reanálisis japonés de 55 años. Tiene información de temperatura y precipitación desde 1958 hasta el presente. Los objetivos de JRA-55 son abordar los problemas encontrados en reanálisis anteriores y producir un conjunto completo de datos atmosféricos adecuado para el estudio de la variabilidad multidecenal y el cambio climático (Kobayashi y otros, 2015). Esta base de datos no incluye información de incertidumbre.

**Cuadro 25**  
**Características de la base de datos JRA-55**

Características	Descripción																
Instituciones a cargo	Servicio Meteorológico del Japón (JMA).																
Fuentes	JRA-55 tiene como fuente directa el proyecto JRA-25, que fue analizado por el JMA y el Instituto de Investigación Central de la Industria de Energía Eléctrica (CRIEPI) <sup>a</sup> del Japón.																
Resolución o nivel geográfico	1,25° x 1,25° (aproximadamente 139,1 km x 139,1 km) (JMA, 2013). Resolución espectral T319 L60.																
Período	De diciembre de 1957 a enero de 2022.																
Temporalidad	Mensual, diario y subdiario.																
Área cubierta	Superficie terrestre y oceánica a nivel global.																
Accesibilidad	Los datos están codificados en formato binario cuadrículado (GRIB <sup>b</sup> ) edición 1. También se encuentran imágenes de mapas en formato PNG, EPS y PDF de variables específicas. Esta información es de acceso libre.																
Consistencia	JRA-55 es el conjunto de datos climáticos resultado del reanálisis del conjunto de datos JRA-25. Este nuevo modelo de análisis proporciona una mayor resolución, un aumento en la consistencia temporal del análisis de la temperatura y la corrección del sesgo variacional para datos obtenidos de satélites y de otras fuentes de observación adicionales. La familia JRA-55 se compone de dos proyectos: el reanálisis JRA-55C, que asimila únicamente las observaciones convencionales de variables climáticas, y el reanálisis JRA-55AMIP, que representa la simulación que se produjo en el Proyecto de Intercomparación de Modelos Atmosféricos (AMIP).																
Indicadores	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Principales Variables</th> <th>Unidades</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Precipitación</td> <td>kg m<sup>-2</sup></td> </tr> <tr> <td>Temperatura de la tierra</td> <td>K</td> </tr> <tr> <td>Temperatura del aire</td> <td>K</td> </tr> <tr> <td>Presión</td> <td>Pa</td> </tr> <tr> <td>Altura geopotencial</td> <td>Gpm</td> </tr> <tr> <td>Humedad específica</td> <td>kg kg<sup>-1</sup></td> </tr> <tr> <td>Nubosidad</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>	Principales Variables	Unidades	Precipitación	kg m <sup>-2</sup>	Temperatura de la tierra	K	Temperatura del aire	K	Presión	Pa	Altura geopotencial	Gpm	Humedad específica	kg kg <sup>-1</sup>	Nubosidad	%
Principales Variables	Unidades																
Precipitación	kg m <sup>-2</sup>																
Temperatura de la tierra	K																
Temperatura del aire	K																
Presión	Pa																
Altura geopotencial	Gpm																
Humedad específica	kg kg <sup>-1</sup>																
Nubosidad	%																
Página web	<a href="https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_en.html">https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_en.html</a>																

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Servicio Meteorológico del Japón (JMA), JRA-55- the Japanese 55-year Reanalysis, Tokyo, Numerical Prediction División, Information Infrastructure Department, 2013.

<sup>a</sup> Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI).

<sup>b</sup> Gridded Binary.

## 8. Berkeley Earth

Berkeley Earth produce un análisis de la temperatura del aire sobre la tierra de 1750 a la fecha por mes, así como un análisis de la temperatura de la tierra y océano desde 1850, con base en temperaturas diarias de la superficie terrestre desde 1880, utilizando una versión modificada del modelo HadSST de la temperatura del océano. Esta base de datos no ofrece evaluación de incertidumbre.

**Cuadro 26**  
**Características de la base de datos Berkeley Earth**

Características	Descripción								
Instituciones a cargo	Berkeley Earth es una organización independiente sin fines de lucro de los Estados Unidos, que se apoya en donaciones provenientes de fundaciones públicas y privadas, el Departamento de Energía de los Estados Unidos y donaciones personales.								
Fuentes	Las fuentes de Berkeley Earth son: Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC). Servicio Meteorológico Alemán (DWD). Servicio de Información y Satélites de la NOAA. Met Office. British Antarctic Survey (BAS). Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (NCAR).								
Resolución o nivel geográfico	1 arco grado (aproximadamente 111,3 km x 111,3 km). 0,25 arco grado (aproximadamente 27,8 km x 27,8 km).								
Período	De 1750 a la actualidad.								
Temporalidad	Mensual.								
Área cubierta	Superficie terrestre y oceánica a nivel global.								
Accesibilidad	Archivos TXT para visualización. Esta fuente es de datos abiertos.								
Consistencia	Berkeley Earth produce mapas y promedios a gran escala de cambios de temperatura a través de un modelo que se alimenta de datos de estaciones meteorológicas. El modelo permite la inclusión de registros de temperatura cortos y discontinuos, de modo que se pueden introducir casi todos los datos de temperatura. El modelo se sustenta en un proceso de ponderación que evalúa la calidad y la consistencia de una red espacial de estaciones de temperatura como parte del proceso de obtención de promedios, lo que permite utilizar datos de diferente calidad sin comprometer la precisión de las reconstrucciones resultantes.								
Indicadores	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Unidades</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Temperatura mínima (TMIN)</td> <td>Grados Celsius (°C)</td> </tr> <tr> <td>Temperatura máxima (TMAX)</td> <td>Grados Celsius (°C)</td> </tr> <tr> <td>Temperatura media (TAVG)</td> <td>Grados Celsius (°C)</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	Unidades	Temperatura mínima (TMIN)	Grados Celsius (°C)	Temperatura máxima (TMAX)	Grados Celsius (°C)	Temperatura media (TAVG)	Grados Celsius (°C)
Variable	Unidades								
Temperatura mínima (TMIN)	Grados Celsius (°C)								
Temperatura máxima (TMAX)	Grados Celsius (°C)								
Temperatura media (TAVG)	Grados Celsius (°C)								
Página web	<a href="https://berkeleyearth.org/data/">https://berkeleyearth.org/data/</a>								

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Berkeley Earth, Data Overview, 2022 [base de datos en línea] <http://berkeleyearth.org/data>.

## 9. CHIRPS

El Grupo de Riesgos Climáticos y Precipitación Infrarroja con Datos de la Estación (CHIRPS<sup>57</sup>) fue desarrollado para apoyar a la Red de Sistemas de Alerta Temprana de Hambruna (FEWS NET<sup>58</sup>). Los datos se encuentran en el Centro de Riesgos Climáticos (CHC<sup>59</sup>), que es una alianza de científicos/as multidisciplinarios/as y analistas de seguridad alimentaria del Departamento de Geografía de la Universidad de California de Santa Barbara (UCSB<sup>60</sup>), de los Estados Unidos, de África y de América Latina, que trabajan con otros socios como el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS<sup>61</sup>), la NASA, la FEWS NET, la NOAA y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA<sup>62</sup>). CHIRPS es un conjunto de datos pluviométricos obtenidos por satélite, gestionados por los socios de la red; para lo cual, científicos/as del USGS y del CHC han desarrollado técnicas para producir mapas de lluvia, en especial en áreas en las que los datos de superficie están esparcidos.

Funk y otros (2015) validaron la base de datos de precipitación de CHIRPS con las climatologías del Worldclim y el CRU para Colombia, Afganistán, Etiopía, Sahel y México. Para la interpolación de los datos, en lugar del enfoque de *splines* del Worldclim y del CRU, CHIRPS utiliza una regresión de ventana móvil; para cada celda de la cuadrícula se aplica una regresión

<sup>57</sup> Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations.

<sup>58</sup> Famine Early Warning Systems Network.

<sup>59</sup> Climate Hazards Center.

<sup>60</sup> University of California, Santa Barbara.

<sup>61</sup> United States Geological Survey.

<sup>62</sup> United States Department of Agriculture.

local utilizando latitud, longitud y de uno a tres predictores extraídos de los campos de satélite, la elevación y la pendiente. Los datos de CHIRPS son utilizados para monitorear la sequía agrícola y el cambio del ambiente natural sobre la tierra. Ha permitido situar los recientes extremos climáticos en contextos históricos.

**Cuadro 27**  
**Características de la base de datos CHIRPS**

Características	Descripción
Instituciones a cargo	CHIRPS es gestionado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), la Universidad de California en Santa Barbara (UCSB) y el Centro de Predicción Climática (CPC) de la NOAA.
Fuentes	Datos satelitales de la NASA y la NOAA y del Sistema Mundial de Telecomunicaciones. Datos de estaciones meteorológicas: 27.453 estaciones mensuales obtenidas de la FAO y 20.591 estaciones de la versión 2 de la Red mundial de datos climatológicos históricos (GHCN).
Resolución o nivel geográfico	0.05° x 0.05° (aproximadamente 5,6 km x 5,6 km).
Período	De 1981 al presente.
Temporalidad	Series de tiempo. Diarios, mensuales, anual, decadal, pentadal.
Área cubierta	Superficie terrestre a nivel global; mapas para África, Centroamérica y el Caribe.
Accesibilidad	Archivos ráster para descarga. Esta fuente es de datos abiertos.
Consistencia	Las estimaciones derivadas de datos satelitales proporcionan promedios de áreas que sufren de sesgos debido a la complejidad del terreno, que a menudo subestiman la intensidad de los eventos de precipitación extrema. CHIRPS brinda conjuntos de datos completos, confiables y actualizados, útiles para el análisis de tendencias y el monitoreo de sequías estacionales, eliminando el sesgo y proporcionando datos en zonas rurales donde hay menos estaciones pluviométricas.
Indicadores	Variable Precipitación
	Unidades Milímetro (mm)
Página web	<a href="https://www.chc.ucsb.edu/data">https://www.chc.ucsb.edu/data</a> <a href="https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/">https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET), "Elaboración de hipótesis sobre la lluvia para el desarrollo de escenarios", *Documento de orientación*, N° 2, Washington, D. C., 2018 [en línea] [https://fews.net/sites/default/files/documents/reports/Guidance\\_Document\\_Rainfall\\_2018\\_es.pdf](https://fews.net/sites/default/files/documents/reports/Guidance_Document_Rainfall_2018_es.pdf); C. Funk y otros (2015), "The climate hazards infrared precipitation with stations – a new environmental record for monitoring extremes", *Scientific Data*, vol. 2, art. 150066, 2015 [en línea] <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.

## C. Resumen y conclusiones de la oferta meteorológica y climatológica histórica

En la región de los países del SICA, las principales redes de estaciones meteorológicas se encuentran administradas por los servicios meteorológicos nacionales o los ministerios de ambiente. Otras instituciones, tanto públicas como privadas, cuentan con estaciones y/o almacenan este tipo de información.

En Costa Rica, el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) coordina todas las actividades meteorológicas y recopila y analiza toda la información climatológica que se registra y mide en el país, que es necesaria para preparar estudios climatológicos. El IMN cuenta con estaciones meteorológicas que monitorean temperatura, presión atmosférica, precipitación, humedad relativa, velocidad, dirección del viento y radiación solar.

En El Salvador, la Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales, del Ministerio de Ambiente, aloja la información de las estaciones sinópticas, climatológicas convencionales y pluviométricas de la red del SNET. Además, tiene registros históricos de hasta cuatro décadas.

En Guatemala, el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) es la principal institución que aloja la información de las estaciones meteorológicas del país. Una ventaja de este es que cuenta con información histórica relevante de más de 30 años en 40 estaciones. Hay otros sectores que cuentan con estaciones como la Anacafé y el ICC.

En Honduras, la Dirección General de Recursos Hídricos (DGRH), del Ministerio de Ambiente (MiAmbiente), cuenta con una red de estaciones. A esta le corresponde el manejo de las estaciones meteorológicas. Otras instituciones que cuentan con estaciones son el Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA), la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) y el Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos de la Comisión Permanente de Contingencias (CENAOS-COPECO).

En Nicaragua, la Dirección General de Meteorología, del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), es responsable de la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas. Cuenta con información histórica de estaciones meteorológicas convencionales y automáticas que monitorean precipitación, temperatura de aire y suelo, brillo solar, dirección y velocidad del viento.

Anteriormente, la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA) de Panamá tenía asignadas las funciones hidrometeorológicas y la Red Hidrometeorológica Nacional. En 2022, Panamá estableció el Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá (IMHPA), y entre sus tareas están la gestión del Banco Nacional de Datos Meteorológicos. Cuenta con estaciones meteorológicas y estaciones hidrológicas. Las estaciones meteorológicas monitorean precipitación, temperatura, humedad relativa, presión, viento, radiación y horas de sol, evaporación y temperatura del suelo. Las estaciones hidrológicas monitorean precipitación.

En la República Dominicana, la Oficina Nacional de Meteorología es la institución responsable de la información meteorológica del país. Cuenta con estaciones meteorológicas que monitorean temperatura, precipitación, viento, humedad relativa y presión atmosférica.

Hay limitaciones en la disponibilidad de este tipo de datos en todos los países, que, con diferentes matices nacionales, incluyen: i) la insuficiencia de estaciones; ii) el estado de mantenimiento de las estaciones; iii) el almacenamiento incompleto o incorrecto de los datos; iv) la calidad de los datos; v) la limitada georreferenciación de los datos, y vi) el acceso restringido a los datos. En ese sentido, las bases de datos de climatologías de fuentes internacionales podrían complementar los registros de estaciones meteorológicas, ya que tienen la ventaja de que indican los niveles de temperatura y precipitación en un punto.

Con objeto de investigar la evolución de la temperatura y precipitación, algunas instituciones e investigadores han construido progresivamente bases de datos históricas globales georreferenciadas, con distintas resoluciones espaciales; métodos de interpolación y extrapolación, y fuentes de información. Estas fuentes de información varían en cantidad de estaciones meteorológicas, uso de información satelital y el punto de partida de los registros históricos. Las bases identificadas y evaluadas son las siguientes:

CRU. Procesa la información de los datos compartidos (estaciones meteorológicas) de sus socios nacionales e internacionales para obtener información climática en una buena resolución de 55 km. Ha construido una serie larga desde 1901, que es de utilidad para los análisis de riesgo climático y los cambios de este en los últimos 120 años. La cobertura de estaciones para la construcción de esta base de datos incluye Centroamérica. Otra ventaja es que es una fuente que se actualiza constantemente y es de acceso libre, por lo que los mapas pueden ser descargados año por año y mes por mes. Para el proyecto RIDASICC implica tener información del clima en cualquier punto y poder generar una climatología de referencia para dar seguimiento al cambio climático.

HADCRUT5. Tiene las mismas características que el CRU, con excepción de que solo tiene información de temperatura. No obstante, incluye temperatura del océano y tiene información desde 1850. Es una referencia para el período base en el seguimiento del cambio climático.

Worldclim. Es el proyecto que ha generado datos climáticos a una escala muy alta de hasta 1 km, validada con información de estaciones meteorológicas. Su método de interpolación ha sido usado por otras iniciativas. Aunque no cuenta con información en series climáticas, sus climatologías,

de 1960-1990 y de 1970-2000, pueden ser un referente para el cálculo de anomalías de temperatura y precipitación en localidades y para obtener información climática de localidades con mayor precisión.

NOAA GlobalTemp. Destaca por tener una serie larga de la anomalía de temperatura media a nivel global. Es una fuente ampliamente usada en la literatura del cambio climático. Sin embargo, tiene una resolución baja de aproximadamente 556 km x 556 km. Este tipo de resolución no es útil para proyectos locales.

ERA-5. Es una base de muy buena escala de resolución, de 27,8 km x 27,8 km. La información que presenta tiene datos de 1979 al presente en una segunda versión con datos por mes y por hora. Además de temperatura y precipitación, muestra información de evapotranspiración, que es importante para proyectos como los de agua. Es una información basada en estaciones meteorológicas y en información satelital. La ventaja sobre otras bases de datos analizadas es que cuenta con API para la interconexión con otras plataformas, como la que plantea el proyecto RIDASICC.

GISTEMP. Esta base solo cuenta con la anomalía de temperatura con una resolución baja de 222 km x 222 km aproximadamente. La ventaja es que es información de una serie larga por mes de una fuente confiable como la NASA y disponible para descarga.

JRA-55. Los datos de reanálisis del Instituto Meteorológico del Japón tienen información de series desde 1957 para temperatura, precipitación y otros indicadores climáticos para una resolución media de aproximadamente 139 km x 139 km. Los datos pueden ser encontrados por mes y diarios, que son de utilidad para identificar extremos en pocos días. Sin embargo, se tendría que evaluar cuán bien representa el clima en la región.

Berkeley Earth. Esta fuente tiene disponibles los datos de temperatura terrestre y del océano media, máxima y mínima para un reanálisis que va desde 1750 con datos mensuales. La resolución es alta, pues para algunos datos se alcanza un tamaño de píxel de 27,8 km x 27,8 km, que es un elemento importante para el proyecto y las medidas de adaptación locales. Es una base de referencia para la reducción de escala de los escenarios de cambio climático de temperatura en el visor de escenarios climáticos de Centroamérica alojado en Centro Clima (véase el capítulo V).

CHIRPS. Esta fuente de información ha sido ampliamente utilizada por los institutos de meteorología de los países del SICA para las proyecciones de precipitación a corto plazo, ya que el objetivo de CHIRPS es apoyar los pronósticos tempranos de precipitaciones en regiones como Centroamérica y África. Cuenta con una resolución muy alta, de 5,6 km x 5,6 km. La frecuencia es de datos diarios, mensuales, anuales, decadales y pentadales, lo que da varias opciones dependiendo de los objetivos del análisis. En el proyecto RIDASICC, la base CHIRPS fue utilizada para el análisis probabilístico de riesgo de ausencia y exceso de lluvias. Es una base de referencia para la reducción de escala de los escenarios de cambio climático de precipitación en el visor de escenarios climáticos de Centroamérica alojado en Centro Clima (véase el capítulo V).

Se recomienda considerar algunas de estas bases internacionales para ser incluidas en la plataforma SIG. Fuentes interpoladas de información climática pueden ser un complemento de las estaciones meteorológicas y para aquellos países que no han hecho el ejercicio de interpolación. Así, las localidades donde se planea efectuar un proyecto de inversión que no tenga una estación meteorológica cercana podrán tener información. Cabe recordar que en los proyectos de inversión pública son de mayor importancia los escenarios de cambio climático en infraestructuras con más de 30 años de vida útil. En este sentido, la información histórica ofrece el contexto actual para el funcionamiento de las infraestructuras y su relación con los ecosistemas y otros sistemas naturales.

Fuentes como ERA5 y CHIRPS pueden servir para la obtención de valores absolutos de los escenarios de cambio climático y la eliminación del sesgo de las proyecciones de estos en fuentes como el visor de escenarios de cambio climático en Centroamérica, que utiliza esas dos fuentes para la reducción de escala.

**Cuadro 28**  
**Centroamérica y República Dominicana: fuentes con datos meteorológicos históricos**

País/ características	Costa Rica		El Salvador		Guatemala		
	IMN	ICE	DGOA	ICC	INSIVUMEH	ICC	Anacafé
Institución	IMN	ICE	DGOA	ICC	INSIVUMEH	ICC	Anacafé
Tipo de datos o resolución	Estaciones meteorológicas		Estaciones meteorológicas		Estaciones meteorológicas		
Disponibilidad: internet, por solicitud o no públicos	Solo se visualizan los promedios mensuales, sin posibilidad de descarga.		Por solicitud.	N°	Por solicitud.	Sí.	Sí.
VARIABLES	Temperatura, presión atmosférica, precipitación, humedad relativa, velocidad, dirección del viento y radiación solar.	Precipitación.	Humedad relativa, viento instantáneo y viento promedio cada 10 m, precipitación instantánea y acumulada, temperatura máxima y mínima cada 10 m, radiación solar, presión atmosférica.	Precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, humedad de la hoja, velocidad y dirección del viento.	Precipitación, temperatura máxima, mínima y media.	Precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, humedad relativa, velocidad y dirección del viento.	Precipitación, temperatura, humedad relativa, viento, radiación solar.
SERIES O PERÍODOS	Algunas de 1991-2018.	Información no disponible.	1971 a la fecha, las sinópticas convencionales; 2005, las automáticas; 1965, las pluviométricas.	Información no disponible.	Información no disponible.	Información no disponible.	Información no disponible.
TEMPORALIDAD/ FRECUENCIA DE LOS DATOS REGISTRADOS	Horario, diario, mensual.	Información no disponible.	Hora, diaria.	15 minutos, día, 5 días, mes, año, mes y año, día y año, semana y año.	Diario.	15 minutos, diaria, 5 días, mensual, anual, mes y año, día y año, semana y año.	Mensual.
NÚMERO DE ESTACIONES	245 estaciones.	250 estaciones.	5 sinópticas, 27 convencionales, 72 pluviométricas.	6 estaciones.	48 estaciones.	32 estaciones.	138 estaciones.

**Cuadro 28 (conclusión)**

País/ base de datos	Honduras		Nicaragua		Panamá	República Dominicana
Institución	COPECO- CENAOS	GCM-CCAFS	INETER	GCM-CCAFS	IMHPA	ONAMET
Tipo de datos o resolución	Estaciones meteorológicas		Estaciones meteorológicas		Estaciones meteorológicas	Estaciones meteorológicas
Disponibilidad: internet, por solicitud o no públicos	Por solicitud.	Descarga restringida.	Restringida. Se maneja por intranet.	Descarga restringida.	Por solicitud.	Por solicitud.
Variables	Temperatura, radiación solar, precipitación acumulada.	Temperatura máxima, mínima, precipitación.	Precipitación, temperatura, viento, humedad.	Temperatura máxima, mínima, precipitación.	Precipitación, temperatura, humedad relativa, presión, viento, radiación y horas de sol, evaporación y temperatura del suelo.	Temperatura, precipitación, viento, humedad relativa, presión atmosférica.
Series o períodos	No disponible.	De 1981-2019.	Desde 1965.	1980-2016.	Desde 1970.	Información no disponible.
Temporalidad/ frecuencia de los datos registrados	Hora, diario.	Hora, diario.	Horario y diario.	Horario, diario.	Mensual.	Diario, mensual, promedio.
Número de estaciones	+40.	108.	16 convencionales, 93 automáticas.	13 estaciones.	298 estaciones (207 estaciones meteorológicas y 91 estaciones hidrológicas).	99 estaciones.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de las fuentes consultadas para este capítulo.

**Cuadro 29**  
**Fuentes internacionales con datos meteorológicos y climatológicos históricos**

País/ Base de datos	CRU	HADCRUT5	Worldclim	NOAA GlobalTemp	ERA-5	GISTEMP	JRA-55	Berkeley Earth	CHIRPS
Institución	Universidad de East Anglia.	Universidad de East Anglia y Hadley Centre.	Autores: Hijmans y Ficks.	NOAA.	ECMWF y el C3S de Copernicus.	GISS-NASA.	JMA.	Organización independiente.	UCGS, UCSB y la NOAA.
Tipo de datos o resolución	55 km	55 km	De 18,5 km a 1 km	556 km	27,8 km	222 km	139 km	De 27,8 km a 111,3 km	5,6 km
Disponibilidad	Datos abiertos.	Datos abiertos.	Datos abiertos.	Datos abiertos.	Datos abiertos (con API).	Datos abiertos.	Datos abiertos.	Datos abiertos.	Datos abiertos.
VARIABLES	Temperatura media, mínima y máxima, precipitación, otras.	Anomalía de la temperatura media.	Temperatura media, mínima y máxima, precipitación, otras.	Anomalía de la temperatura media.	Temperatura, precipitación, evaporación, otras.	Anomalía de la temperatura.	Precipitación, temperatura, otras.	Temperatura media, máxima y mínima.	Precipitación.
Serie o períodos	1901-2020.	1850-2020.	Períodos: 1960-1990 y 1970-2000.	1880 al presente.	Dos versiones: 1950-1978 y 1979 al presente.	1880 al presente.	1957 al presente.	1750 al presente.	1981 al presente.
Temporalidad/ frecuencia	Anual y mensual.	Mensual.	Promedio de períodos mensual.	Anuales y mensuales.	Serie por mes y por hora.	Serie de tiempo por mes.	Serie de tiempo por mes y diario.	Serie de tiempo por mes.	Serie de tiempo, diario, mensual, anual, decadal, pentadal.
Cobertura	Global.	Global (superficie terrestre y océano).	Global.	Global.	Global.	Cobertura terrestre por mes.	Global (superficie terrestre y océano).	Global (superficie terrestre y océano).	Global.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de las fuentes consultadas para este capítulo.

## IV. Modelos y escenarios de cambio climático

Los gases de efecto invernadero (GEI) de origen natural permiten que la temperatura de la Tierra sea lo suficientemente cálida para que las especies se reproduzcan e interactúen dentro de los ecosistemas. Por el efecto invernadero natural, una parte de la energía solar es absorbida por la superficie del planeta, incluyendo los mares, y la otra parte es reflejada por la superficie, de la cual una porción es retenida en la atmósfera por los GEI y el resto vuelve al espacio (CEPAL, 2012).

En los últimos 170 años aproximadamente, diversas actividades humanas han producido cantidades crecientes de GEI, lo que ha desestabilizado este balance natural. El aumento de los GEI ha sido principalmente resultado de la deforestación y la quema de combustibles fósiles como carbón mineral, gas natural y petróleo. Estas actividades emiten principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), cada uno con efectividad diferentes para atrapar calor<sup>63</sup> y diferente tiempo de permanencia en la atmósfera<sup>64</sup> (CEPAL, 2012). El aumento de la concentración de estos gases en la atmósfera ha hecho que se eleve la temperatura en la Tierra, aumente el nivel del mar y cambien los patrones intraanuales y espaciales de la precipitación, con incidencia en los fenómenos climáticos como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), monzones, ciclones tropicales y sequías (véase el capítulo I).

El cambio climático tiene incidencia en la vida de todas las especies del planeta, así como en las actividades humanas, ya que, aunque la Tierra ha pasado por diferentes y largas etapas de frío y calor, los ecosistemas actuales están adaptados a determinados rangos de temperatura, patrones y niveles de precipitación que no habían cambiado de modo significativo en los últimos 5.000 años, previos a los últimos 170 años. Las tendencias en las actividades humanas y en las políticas económicas, energéticas y ambientales, así como el crecimiento de la población, sugieren que las sociedades seguirán incrementando las emisiones antropogénicas de GEI en los próximos años o décadas, por lo que el aumento de la temperatura continuará y, con ello, sus múltiples efectos adversos sobre los mismos seres humanos y el resto de las formas de vida. Por lo anterior, es importante desarrollar y utilizar escenarios (futuros) de emisiones de GEI y de sus efectos en las variables climáticas que nos ayuden a estimar posibles rangos de temperatura y la variación de la precipitación.

El objetivo de este capítulo es familiarizar al lector con la definición y el uso de los modelos climáticos y de los escenarios de cambio climático, para comprender los posibles cambios futuros en las variables climáticas en dichos escenarios que serán requeridos en los diseños de infraestructura para la provisión de servicios públicos.

### A. Modelos climáticos

Un modelo climático es una representación numérica del sistema climático basado en propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, sus interacciones y procesos de retroalimentación (IPCC, 2013a). La comprensión de los factores que inciden en el clima y su representación en modelos son fundamentales, ya que estos requieren una serie de supuestos, datos y escenarios

<sup>63</sup> El CH<sub>4</sub> absorbe 21 veces más calor con respecto del CO<sub>2</sub>, y el N<sub>2</sub>O, 310 veces más. Al multiplicar la cantidad de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O emitidos por las veces que absorben calor respecto al CO<sub>2</sub> se obtienen emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub>. La suma de estas equivalencias permite tener un valor de CO<sub>2</sub> equivalente o emisiones en términos de GEI (CEPAL, 2012).

<sup>64</sup> Se estima que el CO<sub>2</sub> puede permanecer en la atmósfera de 50 a 200 años; el CH<sub>4</sub>, entre 10 y 15 años, y el N<sub>2</sub>O, de 120 a 150 años (CEPAL, 2012).

que los alimenten (IPCC, 1997). Los modelos climáticos son capaces de simular el clima, y con la combinación de escenarios sobre las trayectorias de emisiones de GEI en el futuro es posible estimar climas asociados a estas diferentes trayectorias de emisiones, incluso a un largo plazo. En la comunidad científica internacional, una diversidad de instituciones y científicos han desarrollado modelos climáticos que pueden generar resultados distintos. Por consiguiente, es necesario entender qué son los modelos climáticos y cuáles son sus características generales. En esta sección se busca que el lector tenga un conocimiento básico de este tema a fin de que pueda hacer un uso fundamentado de la información del clima futuro.

## I. Tipos de modelos

En la modelización del clima es importante el concepto de jerarquía de modelos en diferentes niveles de complejidad, dimensionalidad y resolución espacial; cada uno de estos niveles puede ser el óptimo para resolver las diversas cuestiones del objetivo de estudio. No es válido afirmar que un nivel es mejor que otro sin tener en cuenta el uso propuesto. El “arte” de las personas que se dedican a la modelización del clima consiste en conseguir un equilibrio en el que cada componente del clima esté representado con el nivel de detalle apropiado (IPCC, 1997). A continuación, se describen algunos de los modelos climáticos más usados para simular y proyectar el clima.

Los Modelos de Circulación General (MCG) son modelos informáticos que resuelven las ecuaciones que representan la atmósfera y los océanos, divididos geográficamente en rejillas o píxeles. A cada una de ellas se le asigna un valor promedio para propiedades como temperatura, humedad (de la atmósfera) y salinidad (de los océanos). Estos modelos cubren todo el planeta, por lo que también se les conoce como modelos de circulación global. Los MCG tienen, por lo general, una resolución que viene dada por un tamaño de rejilla de 100 a 200 km. Algunos MCG pueden proporcionar información de proyección confiable con una escala de alrededor de 1.000 km. Estas resoluciones abarcan una variedad de paisajes, que podrían ir desde montañas hasta llanuras costeras planas, con potencial muy variable de inundación, sequía u otros eventos extremos (WCRP CORDEX, 2022a).

De igual manera, existen Modelos de Circulación General Atmosféricos (MCGA) y Oceánicos (MCGO). En tales modelos, la atmósfera y el océano se divide en rejillas; en estos se simulan directamente los vientos, las corrientes oceánicas y muchas otras variables y procesos que caracterizan la atmósfera y los océanos (IPCC, 1997). Los Modelos de Circulación General Atmósfera-Océano (MCGAO) consisten en un MCGA acoplado a un MCGO. Los MCGAO calculan la transferencia de radiación a través de la atmósfera (modelan el vapor de agua, las nubes y otros componentes atmosféricos), la nieve, el hielo marino, los flujos de superficie, el transporte de calor y agua por la atmósfera y el océano, y la captación de calor por los océanos; así como los procesos de retroalimentación rápida, cuyos efectos interactivos determinan la sensibilidad climática. Los MCGAO acoplados han mostrado buena habilidad para simular la evolución del clima a escala global y es relevante para la biodiversidad y ecosistemas (Amador y Alfaro, 2009). Esta bondad no es muy útil para el estudio de impactos locales porque la resolución de los MCGAO es mayor que la escala de los impactos locales que aquí se pretenden analizar.

Los Modelos de Evaluación Integrada (MEI) se basan en la integración de los modelos que simulan los procesos más críticos del sistema climático (emisiones antropógenas, biosfera, océanos y atmósfera), como los MCGAO, y se emplean para estudiar los impactos de varios escenarios de emisiones producidas por otras fuentes de energía posibles, ya sea por diferentes cambios de uso del suelo, el control de la contaminación y las políticas de población (IPCC, 1997). Estos modelos fueron planteados en el Proyecto de Intercomparación de los Modelos Acoplados (CMIP<sup>65</sup>), y son utilizados en el sexto informe de evaluación (AR6<sup>67</sup>) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC<sup>68</sup>).

<sup>65</sup> Coupled Model Intercomparison Project.

<sup>66</sup> Véase la subsección 2 de la sección A.

<sup>67</sup> Sixth Assessment Report.

<sup>68</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change.

Desde el punto de vista de las políticas, el interés por los MEI radica en el alcance de las simulaciones de muchos componentes del sistema climático. El único componente del sistema climático que es muy difícil o imposible de modelar es el comportamiento humano que causa modificaciones atmosféricas que afectan el clima. La modelación de emisiones antropogénicas futuras de GEI y aerosoles no es posible; por lo tanto, es necesario recurrir a escenarios con diferentes trayectorias.

Los modelos climáticos regionales (MCR) son modelos climáticos de mayor resolución generados a partir de los MCG con métodos de reducción de escala sobre una zona limitada (IPCC, 2013a). Por ejemplo, el grupo de Experimento coordinado sobre reducción de escala de modelos climáticos regionales (CORDEX<sup>69</sup>)<sup>70</sup> divide el planeta en 14 regiones, entre las que está Centroamérica. Los MCR pueden proporcionar información a escalas menores o de mayor resolución que respaldan una evaluación más localizada del impacto del cambio climático y la identificación de medidas más apropiadas de adaptación (WCRP CORDEX, 2022a).

### Recuadro 3 Modelos climáticos regionales para el proyecto RIDASICC

Los diseños de infraestructura requieren las descripciones geográficas, climáticas, orográficas, hidrográficas, ambientales y socioeconómicas del área en que se elaborará el proyecto de inversión pública para, de esta forma, determinar los riesgos a los que se puede enfrentar, a fin de determinar la viabilidad y, en todo caso, las medidas RRD y ASICC que podrán ser adoptadas. La región de Centroamérica y la República Dominicana tiene una topografía compleja y diversa, que incluye territorios continentales, cadenas de islas y cadenas montañosas de diferentes orientaciones y elevaciones (CEPAL/CAC-SICA, 2020).

La topografía interactúa con las circulaciones atmosféricas a gran escala para producir variaciones locales en el clima, incluidas variaciones significativas en la precipitación acumulada anual, duración de la temporada de lluvias y ocurrencia de máximos y mínimos. Por ejemplo, las estaciones que caracterizan las zonas costeras caribeñas de Honduras, Costa Rica y Panamá poseen un régimen de lluvia más homogéneo intraanual, que contrasta con el régimen seco de invierno de la costa del Pacífico, lo que se explica por las fuertes interacciones de los vientos de bajo nivel con la topografía (Taylor y Alfaro, 2005). Las variaciones subregionales dificultan las generalizaciones sobre el clima de la región, un hecho que debe tenerse en cuenta en el proyecto RIDASICC.

Otra característica de la región es el llamado Corredor Seco Centroamericano (CSC), que se extiende por la costa Pacífica de Centroamérica, desde Chiapas (México), en una franja que abarca las zonas bajas de la vertiente del Pacífico y gran parte de la región central premontana (0 a 800 msnm) de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, hasta Guanacaste (Costa Rica); Honduras incluye fragmentos que se aproximan a la costa del Caribe (Van der Zee y otros, 2012). Algunas delimitaciones incluyen el Arco Seco de Panamá, área con condiciones climatológicas y ecosistémicas que la distinguen del resto de la región centroamericana por presentar una marcada aridez climatológica y caracterizarse por áreas de potencial bosque tropical seco (Calvo-Solano y otros, 2018).

El CSC cuenta con una gran variedad de condiciones climáticas, que pueden cambiar en pocos kilómetros y con cambios de altitud. Su climatología se caracteriza por dos puntos máximos de precipitación que corresponden a junio y septiembre, una estación seca que abarca los meses de noviembre a mayo y una canícula entre julio y agosto, que suele ser marcada y prolongada (Taylor y Alfaro, 2005; Calvo-Solano y otros, 2018). El CSC tiene una base climática y ecológica, pues define condiciones de un grupo de ecosistemas que se combinan en la ecorregión del bosque tropical seco de Centroamérica. Durante la estación lluviosa hay un latente riesgo de sequía, que ocurre por una tardía entrada del invierno, una prolongación de la canícula o una suspensión prematura del invierno (FAO, 2012).

Por lo anterior, es recomendable el uso de escenarios de cambio climático con modelos regionales para el proyecto RIDASICC, que caractericen el clima a nivel local con rejillas menores a los 50 km aproximadamente, lo cual puede dar mejores resultados en cuanto a la medición de impactos locales y las opciones de medidas de adaptación apropiadas para los proyectos de inversión pública.

Fuente: Elaboración propia.

Las técnicas de *downscaling* o reducción de escala se pueden dividir en dos categorías: dinámica y estadística. La primera, la dinámica, se refiere al uso de simulaciones regionales de

<sup>69</sup> Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment.

<sup>70</sup> Véase la subsección 3 de la sección A.

alta resolución para extrapolar de modo dinámico los efectos de los procesos climáticos de gran escala a escalas de interés regional o local (GFDL, 2020). La segunda, la estadística, abarca el uso de varias técnicas basadas en estadísticas para determinar las relaciones entre los patrones climáticos a gran escala resueltos por los modelos climáticos globales y las respuestas climáticas locales observadas. Estas relaciones se aplican a los resultados de MCG para transformar los resultados del modelo climático en productos estadísticamente refinados, que a menudo se consideran más apropiados para ser utilizados como entrada en estudios de impactos climáticos regionales o locales (GFDL, 2020).

## 2. Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP)

El Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP) tiene sus antecedentes en el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC), creado en 1980 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Consejo Internacional de Ciencias (ISC), al que se unió la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Organización de la Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Los objetivos científicos del PMIC son determinar en qué medida se puede predecir el clima y determinar el alcance de la influencia humana en el sistema climático, y facilitar e integrar la investigación climática (Slingo, 2019).

En 1995, el Grupo de Trabajo sobre Modelos Acoplados (WGCM<sup>71</sup>), del PMIC, comenzó el CMIP, que tiene como objetivo principal comprender mejor los cambios climáticos pasados, presentes y futuros. Busca diferenciar entre los cambios que surgen de la variabilidad natural “no forzada” y los que resultan del forzamiento radiativo o cambios no naturales en la capacidad de la atmósfera de absorber radiación o calor debidos a la actividad humana. Su objetivo secundario es contar con resultados multimodelos del clima pasado y futuro disponibles públicamente en un formato estandarizado, para fomentar la investigación y la aplicación de esta información. Incluye la evaluación del desempeño de los modelos durante el período histórico y la cuantificación de las causas de la diferencia en el cálculo del clima futuro de cada modelo, entre otras actividades (PMIC, 2022a).

El CMIP ha tenido diferentes fases desde su creación. En la fase 3 (CMIP3), efectuada entre 2004 y 2010, se recolectaron todas las simulaciones de los 24 modelos climáticos globales acoplados de 19 grupos de investigación en 11 países realizadas para el cuarto informe de evaluación (AR4<sup>72</sup>) del IPCC, y se organizó el acceso a ellas. Este esfuerzo representó una nueva era en la investigación del cambio climático, ya que proporcionó la base para cientos de documentos revisados por pares que desempeñaron un papel destacado en la evaluación del AR4 del IPCC sobre la variabilidad y el cambio climático. Después, durante la fase 4 del CMIP (CMIP4) se hicieron simulaciones adicionales que podrían usarse para separar las influencias antropogénicas y naturales en el clima para el siglo XX (Taylor y otros, 2012). En la fase 5 (CMIP5), entre 2008 y 2013, se buscó fortalecer la capacidad de los equipos y de los modelos climáticos para tomar en cuenta los mecanismos responsables de las diferencias en retroalimentaciones poco entendidas asociadas con el ciclo del carbono y las nubes; para predecir el clima en escalas de tiempo decenales, y determinar por qué los modelos igualmente forzados producen una variedad de respuestas. El CMIP5 utilizó 35 modelos climáticos, y las simulaciones y proyecciones fueron usadas para el quinto informe de evaluación (AR5<sup>73</sup>) del IPCC en 2013 (Taylor, Stouffer y Meehl, 2012).

En la fase 6 del CMIP (CMIP6) se planteó abordar una gama cada vez mayor de preguntas científicas de una creciente comunidad de investigación, lo que requirió establecer una estructura nueva y más federada, que propone tres metas principales (Eyring y otros, 2016):

<sup>71</sup> Working Group on Coupled Modeling.

<sup>72</sup> Fourth Assessment Report.

<sup>73</sup> Fifth Assessment Report.

- Facilitar la investigación integrada con un grupo de experimentos comunes, que incluye una descripción detallada de diagnóstico, evaluación y caracterización del clima (DECK), y simulaciones históricas del CMIP (1.850 al presente) que mantendrán la continuidad y ayudarán a documentar las características básicas de los modelos en las fases posteriores del CMIP.
- Proporcionar una base de investigación con métodos mejorados para cuantificar las incertidumbres de proyecciones basadas en conjuntos de modelos múltiples.
- Contar con un conjunto de Proyectos de Intercomparación de Modelos (MIPs<sup>74</sup>) respaldados por el CMIP, que serán específicos para una de sus fases particulares, con el objetivo de abordar una gama de preguntas específicas y llenar las lagunas científicas de las fases anteriores.

El CMIP6 comprende 70 modelos en 23 MIPs aprobados. Los resultados de las simulaciones y proyecciones fueron publicados en el AR6 en 2021 (Eyring y otros, 2016).

### 3. Experimento coordinado sobre reducción de escala de modelos climáticos regionales (CORDEX)

El PMIC considera que la reducción de escala regional es un tema importante. Por esta razón, creó la iniciativa Experimento coordinado sobre reducción de escala de modelos climáticos regionales (CORDEX<sup>75</sup>), que tiene el objetivo de avanzar y coordinar la ciencia y la aplicación de la reducción de escala climática regional a través de socios globales. Las metas del CORDEX son (WCRP CORDEX, 2022a):

- Comprender mejor los fenómenos climáticos regionales/locales relevantes, la variabilidad y los cambios de estos a través de la reducción de escala.
- Evaluar y mejorar los modelos y las técnicas regionales de reducción de escala del clima.
- Producir conjuntos coordinados de proyecciones regionales reducidas en todo el mundo.
- Fomentar la comunicación y el intercambio de conocimiento con los usuarios de la información climática regional.

En su primera fase, el CORDEX proporcionó el marco de evaluación del modelo con la base de ERA<sup>76</sup> del período de 1989 a 2007, para, de este modo, comparar el rendimiento de los modelos; y diseñó un conjunto de experimentos para producir proyecciones climáticas para el uso de estas en estudios de impacto y adaptación (marco de proyección climática para los MCGAO en el período 1951-2100). Un requisito para desarrollar este marco de evaluación de modelos fue determinar dominios comunes. El CORDEX determinó un conjunto de dominios que abarcan la mayoría de las áreas terrestres del mundo, pues es un requisito para el marco común en la comunidad científica. La selección de dominios se basa en consideraciones físicas, por los procesos climáticos que ocurren en diferentes regiones, y en consideraciones de recursos necesarios para las simulaciones. De acuerdo con una última revisión el proyecto CORDEX, tiene 14 dominios; en estos, Centroamérica es la región 2 (WCRP CORDEX, 2022a).

En una primera fase, la comunidad científica decidió hacer que la resolución para las simulaciones CORDEX fuera de aproximadamente 50 km (0,5 grados). En la actualidad, algunos grupos ejecutan sus MCR con una resolución de hasta 10 km. Al respecto, se anima a los diferentes grupos a explorar los beneficios de una mayor resolución en el marco del CORDEX. Aunque una

<sup>74</sup> Model Intercomparison Projects.

<sup>75</sup> Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment.

<sup>76</sup> Modelo de reanálisis del clima histórico del proyecto Copernicus.

consideración es que una resolución estándar permite la contribución de muchos grupos, aumenta la propiedad comunitaria del proyecto CORDEX y aumentaría el número de MCR resultantes para análisis y comparaciones (WCRP CORDEX, 2022a).

## B. Conceptos y evolución de escenarios de cambio climático del IPCC

Un escenario es una descripción internamente coherente, plausible e integrada de un posible futuro del sistema humano-ambiental, que incluye una narración con tendencias cualitativas y proyecciones cuantitativas. Las interacciones del sistema climático, los ecosistemas y las actividades humanas que emiten GEI se analizan a través de escenarios con diferentes niveles de emisiones de GEI. Los escenarios de emisiones son, por lo tanto, una representación plausible de la evolución futura de las emisiones de GEI y aerosoles, basada en un conjunto coherente de supuestos sobre los factores que las impulsan, tales como el desarrollo demográfico y socioeconómico, el cambio tecnológico, la energía, el uso del suelo y las principales relaciones entre ellos (IPCC/OMM/PNUMA, 2000; CEPAL/CAC-SICA, 2020).

Estos escenarios de emisiones se usan para obtener escenarios de concentraciones futuras de GEI y aerosoles a los que el sistema climático responde. De este modo, se obtienen escenarios climáticos elaborados con los modelos climáticos para cada escenario de emisiones. El resultado es una representación coherente, plausible e integrada del clima futuro que ha sido construido para uso explícito de investigar los impactos del cambio climático antropogénico.

Los escenarios no son predicciones, sino que ofrecen un panorama de las consecuencias climáticas de la evolución de las posibles trayectorias de emisiones de GEI consecuencia de las medidas de reducción realmente tomadas o no, y de las mencionadas interacciones (IPCC, 2001 y 2013a). A diferencia de las predicciones climáticas, las proyecciones climáticas calculadas con los modelos climáticos tienen dependencia del escenario de emisiones/concentraciones/forzamiento radiativo<sup>77</sup> utilizado (IPCC, 2018 y 2001a). Para que se cumplan las proyecciones climáticas, deben darse las condiciones descritas en los supuestos del modelo y en los escenarios de GEI, mientras que en una predicción climática hay una alta probabilidad de que los supuestos se cumplan, por lo que el concepto de predicción es usado para pronósticos del tiempo a corto plazo.

### 1. Escenarios IS92

El IPCC ha desarrollado diferentes escenarios a lo largo de sus informes a fin de obtener proyecciones climáticas (véase el cuadro 31). Entre 1990 y 1992, el IPCC desarrolló los primeros escenarios de emisiones a largo plazo que proporcionaron estimaciones de todos los GEI, que sirvieron de base para que los modelos de circulación general desarrollaran escenarios sobre el cambio climático (IPCC/OMM/PNUMA, 2000). A estos escenarios se les denominó “escenarios IS92”, cuyas proyecciones climáticas fueron publicadas en el segundo informe de evaluación del IPCC (SAR<sup>78</sup>).

### 2. Escenarios SRES

El IPCC desarrolló un nuevo conjunto de escenarios que fueron presentados en 2000 en el *Informe especial sobre escenarios de emisiones* (SRES<sup>79</sup>). Los escenarios de la generación SRES integran las principales fuerzas demográficas, económicas y tecnológicas que determinan las emisiones de GEI. Para ellos, se desarrollaron cuatro líneas evolutivas que representan un cambio o tendencia demográfica, social, económica, tecnológica y ambiental. Al conjunto de escenarios basados en una

<sup>77</sup> El forzamiento radiativo es el cambio en el flujo de energía causado por un elemento impulsor, y se calcula en la tropopausa o en la parte superior de la atmósfera.

<sup>78</sup> Second Assessment Report.

<sup>79</sup> Special Report on Emissions Scenarios.

misma línea evolutiva se le denominó “familia” de escenarios (IPCC/OMM/PNUMA, 2000). De las cuatro familias de escenarios, se desarrollaron seis grupos de escenarios denominados A1F1, A1T, A1B, A2, B1 y B2 (véase el cuadro 31), que fueron utilizados en el tercer y cuarto informe de evaluación del IPCC (TAR y AR4<sup>80 81</sup>).

### 3. Escenarios RCP del CMIP5

En el CMIP5 se identificaron cuatro diferentes escenarios de forzamiento radiativo, denominados Trayectorias de Concentración Representativas (RCP<sup>82</sup>). Los RCP abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de GEI, aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo y la cubierta terrestre hasta 2100, e identifican su forzamiento radiativo total para 2100, que oscila entre 2,6 y 8,5 W/m<sup>2</sup> (vatios por metro cuadrado) (Burkett y otros, 2014; CEPAL/CAC-SICA, 2020). Los RCP incluyen un escenario de mitigación muy ambicioso (RCP2.6) que representa una trayectoria de concentraciones que mantienen el calentamiento global menor de 2 °C en comparación con las temperaturas preindustriales. Se cuenta con dos escenarios intermedios (RCP4.5 y RCP6.0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de GEI (RCP8.5). Los escenarios sin esfuerzos adicionales para limitar las emisiones (escenarios de referencia) dan lugar a trayectorias que se sitúan entre RCP6.0 y RCP8.5 (Burkett y otros, 2014).

Las RCP no están asociadas de modo directo a escenarios socioeconómicos o de emisión únicos. Cada RCP puede ser el resultado de la combinación de diferentes futuros económicos, tecnológicos, demográficos, políticos e institucionales (Moss y otros, 2010; CEPAL/CAC-SICA, 2020). La palabra "representativa" significa que cada RCP ofrece uno de muchos posibles escenarios que conducirían a las características específicas de forzamiento radiativo. La palabra "trayectoria" no solo hace hincapié en que son de interés los niveles de concentración a largo plazo, sino también indica el camino seguido a lo largo del tiempo para llegar al resultado en cuestión (Moss y otros, 2010).

Las proyecciones de las variables climáticas — como temperatura y precipitación — se derivan de los MCGAO en un proceso que utiliza las trayectorias de los escenarios de emisiones de los RCP (del CMIP5), y pueden generarse en diferentes escalas temporales y espaciales (mundial y regional). Estas proyecciones se basan en el trabajo de la comunidad científica y los centros de modelización del clima de todo el mundo. Dicha labor permite que los grupos de trabajo del IPCC cuenten con información científica sobre posibles futuros del clima. Gracias a la mayor información y a la mejora de los modelos climáticos utilizados en el AR5 es posible atribuir con mayor certidumbre a la manera en que la actividad humana impactaría en más componentes del sistema climático que en el AR4 (IPCC, 2013c; CEPAL/CAC-SICA, 2020).

### 4. Escenarios MIP (SSP-RCP) del CMIP6

El CMIP6 trabajó en proyecciones climáticas en el Proyecto de Intercomparación del Modelo de Escenarios (escenarios MIP). Los escenarios MIP consisten en un conjunto de ocho trayectorias de emisiones futuras, concentraciones y uso de la tierra, con elementos adicionales de ensamble y extensiones a largo plazo. A las trayectorias de forzamiento de los RCP 2,6 W/m<sup>2</sup>, 4,5 W/m<sup>2</sup>, 6,0 W/m<sup>2</sup> y 8,5 W/m<sup>2</sup>, se agregan 7,0 W/m<sup>2</sup> (escenario de referencia no mitigado, al igual que el 8,5), 3,4 W/m<sup>2</sup> y una trayectoria por debajo de 2,6 W/m<sup>2</sup> (ambos son nuevos escenarios de mitigación) en 2100, para explícitamente informar sobre el objetivo de 1,5 °C en el Acuerdo de París (O'Neill y otros, 2016).

Para cada una de estas trayectorias de forzamiento se seleccionó una de cinco trayectorias de referencia sobre futuros alternativos de desarrollo socioeconómico que lleven al nivel de forzamiento de cada RCP en 2100 (para la trayectoria 3,4 W/m<sup>2</sup> se eligieron

<sup>80</sup> Third Assessment Report.

<sup>81</sup> Fourth Assessment Report.

<sup>82</sup> Representative Concentration Pathways.

dos trayectorias socioeconómicas). Estos escenarios son las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP<sup>83</sup>) definidas en el CMIP6. Este enfoque fue introducido por Moss y otros (2010), quienes plantearon una fase de integración que reúne las simulaciones climáticas RCP y los SSP. Esta generación de escenarios es la base del análisis del cambio climático del AR6 (Riahi y otros, 2017; O'Neill y otros, 2016; CEPAL/CAC-SICA, 2020).

Los SSP describen tendencias alternativas plausibles en la evolución de la sociedad y los sistemas naturales durante el siglo XXI. Se componen de una historia narrativa y un conjunto de medidas cuantitativas de desarrollo. Los SSP son trayectorias de referencia, en el sentido de que asumen que no hay cambio o impactos climáticos ni nuevas políticas climáticas (Kriegler y otros, 2012). La intención, al no incorporar tales efectos, es que los investigadores puedan utilizar los SSP para evaluar cómo el cambio climático y los diferentes tipos de políticas pueden afectar estas condiciones socioeconómicas y ambientales de referencia (O'Neill y otros, 2014). Por lo tanto, los SSP incluyen cuantificaciones de factores que se consideran impulsores de los resultados en las emisiones y el uso de la tierra como el crecimiento de la población y el crecimiento económico (Van Vuuren y otros, 2014; O'Neill y otros 2014).

El objetivo de los SSP es caracterizar la incertidumbre de la mitigación y de la adaptación a un nivel dado. Para ello, se describen los desafíos que las condiciones socioeconómicas representarían para la adaptación y los retos que representarían para la mitigación. Con objeto de garantizar que el conjunto de SSP abarque una gama de resultados que permitirán caracterizar la incertidumbre en la mitigación, la adaptación y los impactos, se define un espacio de resultados en el que los desafíos socioeconómicos y ambientales están representados en dos ejes: el eje horizontal representa los desafíos relacionados con la adaptación, y el vertical, los de la mitigación (véase el cuadro 30) (CEPAL/CAC-SICA, 2020).

**Cuadro 30**  
**Desafíos socioeconómicos para la adaptación y mitigación**

		Desafíos socioeconómicos para la adaptación		
		Bajo	Medio	Alto
Desafíos socioeconómicos para la mitigación	Alto	<p><b>SSP5: Desarrollo con combustibles fósiles</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• baja población</li> <li>• muy alto crecimiento económico per cápita</li> <li>• alto desarrollo humano</li> <li>• alto progreso tecnológico</li> <li>• amplios recursos de combustibles fósiles</li> <li>• estilos de vida muy intensivos en recursos</li> <li>• alta demanda de energía y alimentos per cápita</li> <li>• convergencia económica y cooperación global</li> </ul>		<p><b>SSP3: Rivalidad regional</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• alta población</li> <li>• bajo crecimiento económico per cápita</li> <li>• bajo desarrollo humano</li> <li>• bajo progreso tecnológico</li> <li>• estilos de vida intensivos en recursos</li> <li>• demanda de energía y alimentos con recursos limitados per cápita</li> <li>• concentración en seguridad alimentaria y energética regional</li> <li>• regionalización y falta de cooperación global</li> </ul>
	Bajo			

<sup>83</sup> Shared Socioeconomic Pathways.

		Desafíos socioeconómicos para la adaptación		
		Bajo	Medio	Alto
Desafíos socioeconómicos para la mitigación	Medio		<p><b>SSP2: Desarrollo de término medio</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• población media</li> <li>• crecimiento económico medio y desigual</li> <li>• desarrollo humano medio y desigual</li> <li>• progreso tecnológico medio y desigual</li> <li>• estilos de vida intensivos en recursos</li> <li>• demanda media y desigual de energía y alimentos per cápita</li> <li>• cooperación global limitada y convergencia económica</li> </ul>	
	Bajo	<p><b>SSP1: Desarrollo sostenible</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• baja población</li> <li>• alto crecimiento económico per cápita</li> <li>• alto desarrollo humano</li> <li>• alto progreso tecnológico</li> <li>• cambio tecnológico y comportamiento orientado al ambiente</li> <li>• estilos de vida eficientes en recursos</li> <li>• baja demanda de energía y alimentos per cápita</li> <li>• convergencia económica y cooperación global</li> </ul>		<p><b>SSP4: Desigualdad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• población media a alta</li> <li>• crecimiento económico per cápita desigual de bajo a medio</li> <li>• desarrollo humano desigual de bajo a medio</li> <li>• progreso tecnológico desigual: alto en sectores de alta tecnología globalizada, lentos en los sectores domésticos</li> <li>• estilos de vida y consumo de energía y alimentos desiguales: intensidad de recursos dependiendo del ingreso</li> <li>• élite conectada globalmente, fuerza de trabajo doméstica desconectada</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, V. Masson-Delmotte y otros (eds.), 2018 [en línea] [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf).

La SSP1 combina niveles bajos de desafíos de mitigación y adaptación, y podría considerarse como una narrativa de desarrollo sostenible con una sociedad globalizada y con conciencia ambiental. La SSP3 se describe como de rivalidad regional; representa un nivel alto de desafíos para la adaptación y con una sociedad regionalizada con poca conciencia ambiental. La SSP4 podría considerarse como una narrativa de desigualdad —la tecnología avanza en los países desarrollados, pero no toda la población global logra beneficiarse de ello—, lo que representa un nivel de desafío alto para la adaptación. La SSP5 se considera desarrollo con combustibles fósiles donde la dependencia de los combustibles fósiles es todavía muy alta, por lo que representa un elevado nivel de desafío para la mitigación. Por último, la SSP2 se establece de manera intermedia entre la SSP1 y la SSP3, y se le considera de desarrollo de término medio (Escoto, Sánchez y Gachuz, 2017; O’Neill y otros, 2014). Las trayectorias relativamente más optimistas son la SSP1 y la SSP2, y las relativamente más pesimistas son la SSP3, la SSP4 y la SSP5. En el cuadro 30 se resumen los supuestos de cada escenario.

Los modelos de evaluación integrados (MEI) proporcionan nuevos escenarios climáticos integrando los SSP y RCP con escenarios alternativos de emisiones futuras y cambios en el uso del suelo (Riahi y otros, 2017; O'Neill y otros, 2016). Los ocho escenarios están agrupados en dos niveles de prioridad. Los escenarios del primer nivel abarcan una gama amplia de incertidumbres en los RCP; estos son de utilidad para la investigación, la evaluación de impactos, las estrategias de adaptación y el análisis de vulnerabilidad. Los escenarios del nivel 2 son de interés para las discusiones de políticas de mitigación y para informar acerca de las discusiones de políticas que limitan la temperatura a diferentes niveles de temperatura. Los escenarios del nivel 1 y sus características son (O'Neill y otros, 2016):

- SSP5-8.5 Representa el extremo superior del rango de trayectorias de los nuevos escenarios y de los RCP. El escenario SSP5 es el único que implicaría emisiones lo suficientemente altas para producir un forzamiento radiativo de 8,5 W/m<sup>2</sup> en 2100. Representa un escenario con disminución de la cobertura de bosques.
- SSP3-7.0 Representa el extremo medio a alto del rango de trayectorias de forzamiento futuras. Se eligió SSP3 porque SSP3-7.0 es un escenario con alta disminución de la cubierta forestal mundial y altas emisiones de forzadores del clima a corto plazo. Hasta 2025 se encuentra por arriba de SSP5-8.5 y a partir de 2030 se mantiene por debajo del RCP8.5.
- SSP2-4.5 Representa la parte media del rango de trayectorias de forzamiento futuras. Se eligió SSP2 porque sus consecuencias en el cambio de uso del suelo y las trayectorias de aerosol no son extremas en relación con otros SSP; también porque es un escenario que combina la vulnerabilidad intermedia de la sociedad con un nivel de forzamiento intermedio. Se mantiene por encima de las emisiones necesarias para mantener la temperatura en 1,5 °C. Este escenario arroja ligera pérdida de bosques hasta medio siglo donde comienza un proceso de reforestación.
- SSP1-2.6 Representa el extremo inferior del rango de trayectorias futuras de forzamiento. Produciría un calentamiento significativamente menor a 2 °C para 2100 con respecto del período preindustrial; por lo tanto, puede respaldar los análisis de este objetivo de política. Se eligió SSP1 porque plantea una mayor cobertura forestal mundial y combina una baja vulnerabilidad con bajos desafíos para la mitigación.

Los escenarios del nivel 2 son: SSP4-6.0 de forzamiento medio y de posible uso para investigar las diferencias en los impactos a lo largo de las trayectorias de forzamiento en un mundo desigual; SSP4-3.4 es un escenario con interés sustancial en los requerimientos de políticas de mitigación para forzamientos que alcancen 3,4 W/m<sup>2</sup> para 2100; SSP5-3.4 es un escenario que sigue al SSP5-8.5 hasta 2040, momento en el que se lleva una mitigación intensiva para reducir las emisiones a cero en 2070, y SSP1-1.9, escenario en el que las emisiones descienden con rapidez a cero con un largo período de emisiones negativas de CO<sub>2</sub>, lo que limita el aumento de temperatura por debajo de 1,5 °C (O'Neill y otros, 2016).

## 5. Resumen de la evolución de los escenarios de GEI del IPCC

En el cuadro 31 se resume la evolución de los escenarios de GEI descritos en las secciones anteriores y que han sido utilizados en los modelos climáticos para generar escenarios de cambio climático, que han resultado de utilidad para los informes del IPCC y como herramienta de información, estimación de impactos y para uso de políticas de mitigación y adaptación.

**Cuadro 31**  
**Evolución de los escenarios de GEI y climáticos del IPCC**

Año(s)	Informes del IPCC	Proyecto	Características principales	Escenarios
1990	Primer informe de evaluación del IPCC (FAR, First Assessment Report)	SA90	Escenarios IS92: <ul style="list-style-type: none"> <li>Seis escenarios de emisiones de GEI publicados en el informe complementario del FAR en 1992.</li> <li>Proyectados para ser presentados en el SAR del IPCC con "Modelos climáticos simples".</li> <li>Mantienen constante las tasas de deforestación a partir de 1990.</li> <li>Con el escenario de emisiones se calcularon:</li> <li>Las concentraciones de GEI.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>El forzamiento radiativo resultado de las concentraciones.</li> <li>La respuesta de la temperatura media mundial al forzamiento radiativo.</li> <li>La subida del nivel del mar ocasionadas por la expansión térmica del agua marina y la respuesta de glaciares y capas de hielo.</li> </ul> </li> </ul>	A (business as usual) IS92c e IS92d, escenarios con emisiones bajas. IS92b, escenario con emisiones medias. IS92a, escenario con emisiones medias-altas IS92f e IS92e, escenarios con emisiones altas.
1995	Segundo informe de evaluación del IPCC (SAR, Second Assessment Report)	IS92		
2001	Tercer informe de evaluación del IPCC (TAR, Third Assessment Report)	SRES	Escenarios SRES: <ul style="list-style-type: none"> <li>Llamados así porque se publicaron en el SRES del IPCC en el año 2000.</li> <li>Consideran las condiciones probables del desarrollo global y crecimiento de la población y la economía para el año 2100.</li> <li>Las proyecciones climáticas fueron calculadas con MCG.</li> <li>No incluyen escenarios con mitigación climática.</li> <li>Se calcularon dentro del CMIP3.</li> <li>Cuatro líneas evolutivas: A1, A2, B1 y B2, en seis grupos de escenarios: A1F1, A1T, A1B, B1, A2 y B2.</li> <li>Los escenarios tipo A describen un mundo futuro con alto crecimiento económico. En los escenarios tipo B el crecimiento es moderado.</li> </ul>	Se desarrollaron 40 escenarios en seis grupos de escenarios: <ul style="list-style-type: none"> <li>Los A1, con tres grupos: A1F1, con uso intensivo de combustibles fósiles; A1T, con uso predominante de combustibles no fósiles, y A1B, con uso equilibrado de estos combustibles.</li> <li>B1 suponen un mismo nivel de desarrollo que A1, pero con menor consumo, uso eficiente de recursos y tecnologías limpias.</li> <li>Los A2 y B2 suponen un desarrollo desigual entre regiones; en A2, con un cambio tecnológico más lento y mayor crecimiento de la población.</li> </ul>
2007	Cuarto informe de evaluación del IPCC (AR4, Fourth Assessment Report)	SRES		
2013-2014	Quinto informe de evaluación del IPCC (AR5, Fifth Assessment Report)	CMIP5	Escenarios RCPs: <ul style="list-style-type: none"> <li>Escenarios de GEI de forzamiento radiativo en la atmosfera denominados RCP.</li> <li>Son escenarios físicos, y no toman en cuenta posibles escenarios sociales ni económicos.</li> <li>Son proyecciones de emisiones y concentraciones de GEI, aerosoles y gases químicamente activos, uso de suelo y cubierta terrestre hasta 2100.</li> <li>Las proyecciones climáticas fueron elaboradas con MCGAO.</li> </ul>	RCP2.6 (escenario de mitigación estricta); RCP4.5- 6.0 (escenarios intermedios), RCP8.5 (muy alto de emisiones).

Año(s)	Informes del IPCC	Proyecto	Características principales	Escenarios
2021-2022	Sexto informe de evaluación del IPCC (AR6, Sixth Assessment Report)	CMIP6	<p>Escenarios MIPs (SSPs-RCPs):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Integran los escenarios RCP con SSP para describir posibles futuros que nos llevarían al nivel de los RCPs.</li> <li>Se elaboraron SSP para complementar los RCPs con desafíos en adaptación y mitigación.</li> <li>El diseño experimental consistió en un conjunto de ocho trayectorias de emisiones futuras, concentraciones y uso de la tierra.</li> <li>Para cada RCP se seleccionó un SSP para basar las emisiones y un escenario de uso de tierra que lleva al nivel de forzamiento deseado a 2100.</li> </ul>	<p>SSP5-8.5 (escenario alto); SSP3-7.0 (escenario medio a alto); SSP4-6.0 (escenario medio), SSP2-4.5 (escenario medio). SSP1-2.6 (escenario bajo, menor a 2 °C); SSP1-1.9 (escenario bajo, menor a 1.5 °C); SSP4-3.4 (escenario bajo), SSP5-3.4-OS (escenario con fuerte mitigación a partir de 2040).</p>

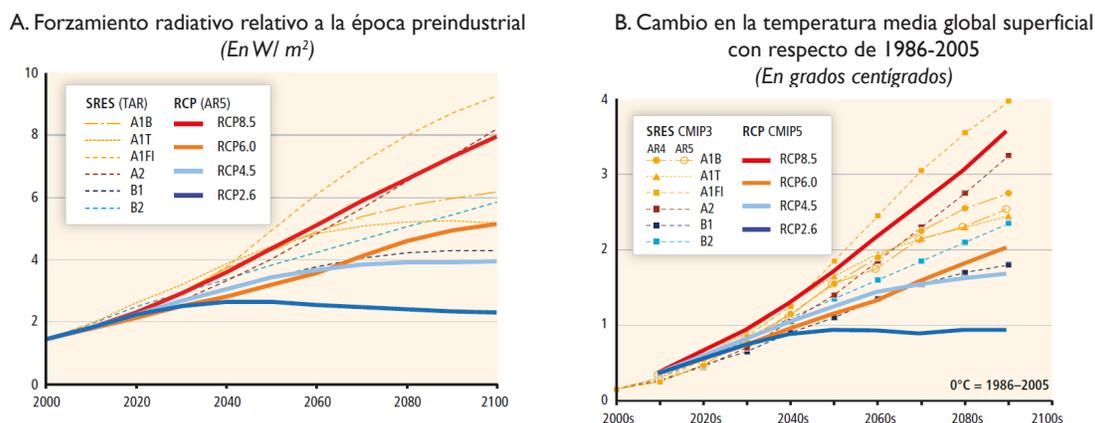
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Reports [en línea] <https://www.ipcc.ch/reports/>.

## 6. Comparación de las familias de escenarios

### a) Cambio de generaciones: SRES (AR4) a RCP (AR5)

Cada vez que la comunidad científica avanza en la elaboración de nuevas generaciones de escenarios, es útil entender si hay relación entre ciertos escenarios de cada generación. Algunas investigaciones tratan de hacer comparaciones entre los escenarios SRES y los RCP para validar la continuidad de los impactos. Burkett y otros (2014) hicieron un análisis de la comparación del forzamiento radiativo y su cambio de temperatura media global con respecto del período de 1986 a 2005 en cada escenario, que se muestra en el gráfico 17. En este gráfico es notorio que las trayectorias en los forzamientos radiativos del escenario RCP8.5 y del A2 son muy cercanas, principalmente a fines de siglo. No obstante, los incrementos de temperatura del escenario A2 se encuentran por debajo del RCP8.5 en todo el siglo XXI. En cuanto al escenario RCP4.5, se observa una estabilidad en el forzamiento radiativo a partir de 2060, muy cercana a la trayectoria del escenario B1. Mientras que en el escenario B2 el forzamiento radiativo es mayor que en RCP4.5, e incluso es superior que la trayectoria del escenario RCP6.0. En lo relativo al aumento de temperatura, el escenario RCP4.5 se encuentra entre los escenarios B2 y B1 hasta 2060, año en el que aumenta más la temperatura en los escenarios B2 y B1, lo que refleja que su forzamiento radiativo se estabiliza a partir de este corte en RCP4.5 (Burkett y otros, 2014).

**Gráfico 17**  
Comparación de los escenarios SRES y RCP



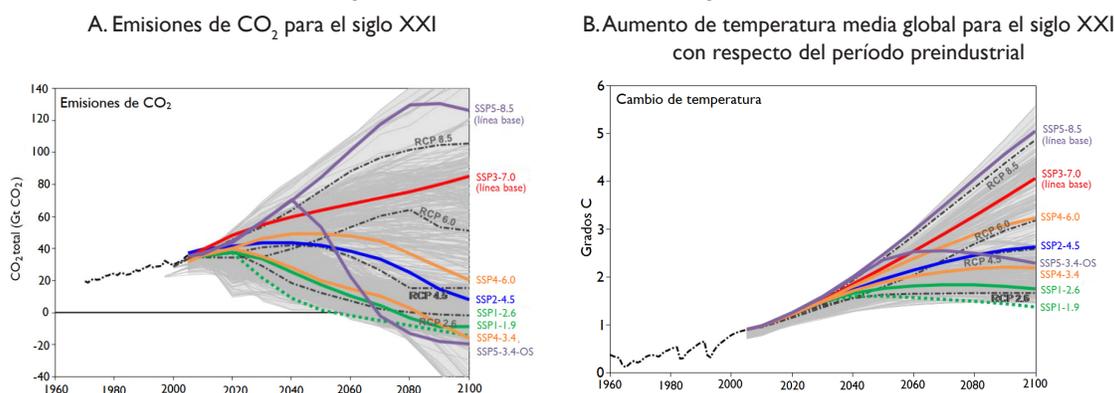
Fuente: V. R. Burkett y otros, "Point of departure", *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects*, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, C. B. Field y otros (eds.), Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press, 2014.

Es importante tomar con precaución la comparación entre las trayectorias de emisiones y los incrementos de temperatura de los escenarios SRES y RCP, ya que parten de distintos supuestos. El IPCC indica que los SRES incluyeron historias socioeconómicas, y no incluyeron opciones de mitigación. Por otro lado, los RCP (con excepción del RCP8.5) supusieron políticas de mitigación de las emisiones de GEI, y no incluyeron supuestos socioeconómicos (Burkett y otros, 2014; May y otros, 2016; CEPAL/CAC-SICA, 2020). Además, los modelos climáticos han mejorado en cada generación en su capacidad de simular la variabilidad y el clima regional (CEPAL/CAC-SICA, 2020). Es por ello que no se debe suponer que un escenario particular de los RCP sustituye un escenario de los SRES. En los análisis para Centroamérica fue común utilizar los escenarios B2 como el menos pesimista y el A2 como el más pesimista de los SRES, y el RCP4.5 como el menos pesimista y el RCP8.5 como el más pesimista de los RCP.

**b) Cambio de generaciones: RCP a SSP-RCP**

El CMIP6 pretende brindar un panorama general sobre los nuevos escenarios SSP-RCP del AR6, e identificó las diferencias o los cambios con respecto de los RCP. Las diferencias principales es que se definieron nuevas trayectorias de los RCP y fueron actualizadas las ya existentes, además de que los nuevos escenarios ahora cuentan con una descripción socioeconómica denominada SSP. En el gráfico 18 se representan las trayectorias de emisiones de CO<sub>2</sub><sup>84</sup> de los cuatro escenarios RCP (líneas punteadas negras) y de las ocho trayectorias SSP-RCP (líneas de color).

**Gráfico 18**  
**Comparación de los escenarios RCP y SSP-RCP**



Fuente: B. C. O'Neill y otros, "The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6", *Geoscientific Model Development*, vol. 9, N° 9, 2016 [en línea] <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>.

Nota: Las trayectorias de emisiones solo consideran el CO<sub>2</sub>, y no el total de los GEI. Las proyecciones suponen un forzamiento volcánico cero y mantienen ciclos de forzamiento solar de 11 años, de acuerdo con el enfoque CMIP5 (Meinshausen y otros, 2011). Las áreas grises representan el rango de escenarios para el AR5 del IPCC (Clarke y otros, 2014).

El gráfico de emisiones muestra diferencias en los escenarios altos de emisiones con algunos resultados cercanos en el aumento de temperatura. El escenario de emisiones RCP2.6 se encuentra entre las trayectorias del SSP4-3.4, SSP1-2.6 y SSP1-1.9; todos estos escenarios alcanzan emisiones anuales cero en la segunda mitad del siglo. Los escenarios RCP4.5 y SSP2-4.5 tienen trayectorias muy cercanas de emisiones de CO<sub>2</sub> y de los aumentos de temperatura. Las emisiones de CO<sub>2</sub> del escenario RCP6.0 son mayores a las del SSP4-6.0 a partir de la segunda mitad del siglo, pues el nuevo escenario comienza un período de mitigación; sin embargo, el aumento de temperatura en 2100 es muy cercano. Finalmente, el escenario de muy altas emisiones RCP8.5 se encuentra entre los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5, pero con resultados más cercanos al SSP5-8.5 en cuanto al aumento de temperatura en el siglo XXI. En conclusión, al estar basados en los RCP, los escenarios RCP

<sup>84</sup> Las emisiones de CO<sub>2</sub> representan aproximadamente el 75% del total de los GEI.

y SSP-RCP arrojan un resultado muy cercano de forzamiento radiativo o forzamiento climático en 2100, por lo que en ese momento el aumento de temperatura es similar entre los escenarios que tienen los mismos escenarios. Los SSP-RCP son una evolución de los RCP en cuanto a la narrativa a lo largo del siglo, para llegar al mismo cambio de energía en la atmósfera que resulta en aumentos de temperatura similares en 2100. Por lo tanto, la comparación entre RCP2.6 y SSP1-2.6, RCP4.5 y SSP2-4.5, RCP6.0 y SSP4-6.0 y RCP8.5 y SSP5-8.5 debe hacerse tomando en cuenta los supuestos de los SSP y la evolución de las emisiones.

## 7. Consideraciones prácticas para el proyecto RIDASICC: emisiones históricas, NDC y escenarios de cambio climático

Como se explicó previamente, los escenarios de cambio climático no son una predicción de lo que sucederá en el futuro. Los escenarios de cambio climático dependen de la acción global de esta y las siguientes generaciones, incluyendo los cambios tecnológicos y las políticas públicas. Las decisiones que tomará la humanidad son inciertas; es por eso que la ciencia ofrece un abanico de opciones futuras para la toma de decisiones.

Los escenarios se han desarrollado a partir de diversas necesidades (Van Vuuren y otros, 2014; Escoto, Sánchez y Gachuz, 2017) como:

- i) Tener una visión más compleja y flexible de las trayectorias de desarrollo futuras;
- ii) avanzar en la investigación sobre los múltiples impactos esperados del cambio climático, y
- iii) una metodología que permita integrar escenarios con la investigación sobre mitigación y sobre adaptación del cambio climático.

El proyecto RIDASICC se encuentra en el marco de los puntos 2 y 3, ya que los escenarios son necesarios para cuantificar los impactos potenciales del cambio climático en la infraestructura y como insumo para determinar medidas de adaptación. Para su uso práctico y fácil interpretación, el primer paso debe ser reducir las opciones en cuanto al número de escenarios. Mostrar todos los resultados de posibles aumentos en temperatura y precipitación puede complicar el uso de los escenarios, incluso desalentarlo. Para acotar el abanico de opciones es necesario considerar algunos aspectos de los escenarios. Hemos visto que se han desarrollado escenarios con distintos objetivos: aquellos que son de utilidad para políticas de mitigación para distintos niveles de emisiones y los que suponen nulas políticas de reducción de emisiones. Se requiere seleccionar los escenarios más cercanos a las trayectorias observadas y con los objetivos de políticas globales porque estos darían resultados más realistas.

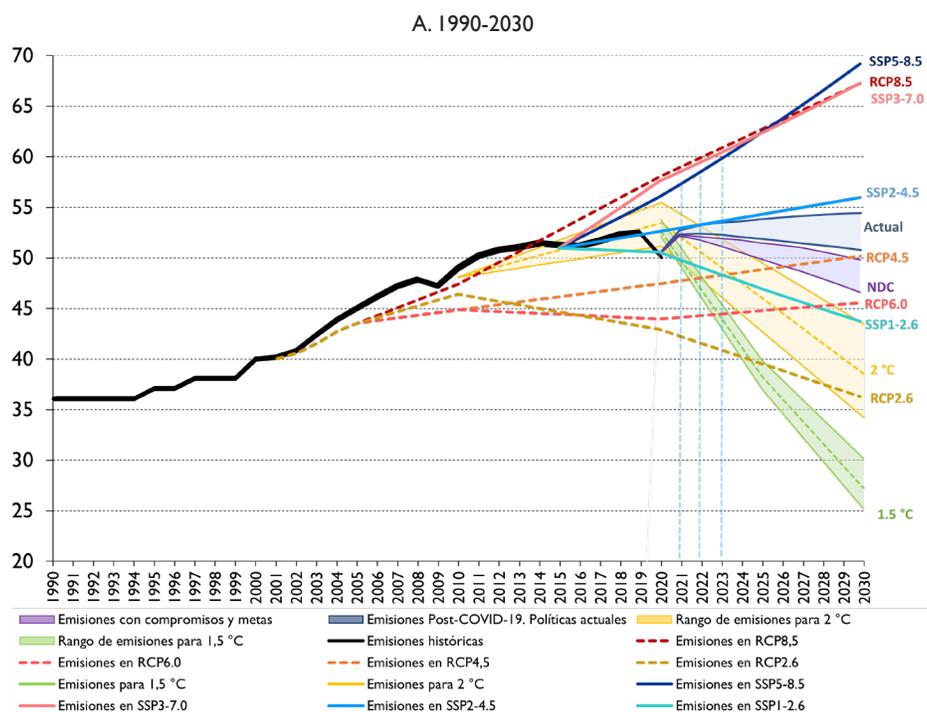
En el gráfico 19 se comparan las trayectorias de emisiones de GEI de cada escenario con las emisiones históricas y las estimaciones de las emisiones con políticas actuales, con los compromisos de reducción de emisiones plasmados en las contribuciones determinadas en la esfera nacional (NDC<sup>85</sup>) y con las emisiones necesarias para limitar la temperatura en 1,5 °C y 2 °C. Para los escenarios SSP-RCP solo se tomaron en cuenta los cuatro recomendados para evaluar impactos, adaptación y vulnerabilidad (O'Neill y otros, 2016). Los resultados se representan en dos paneles: en el A) la trayectoria de 1990 a 2030 y en el B) hasta 2100. Se puede llegar a las siguientes conclusiones:

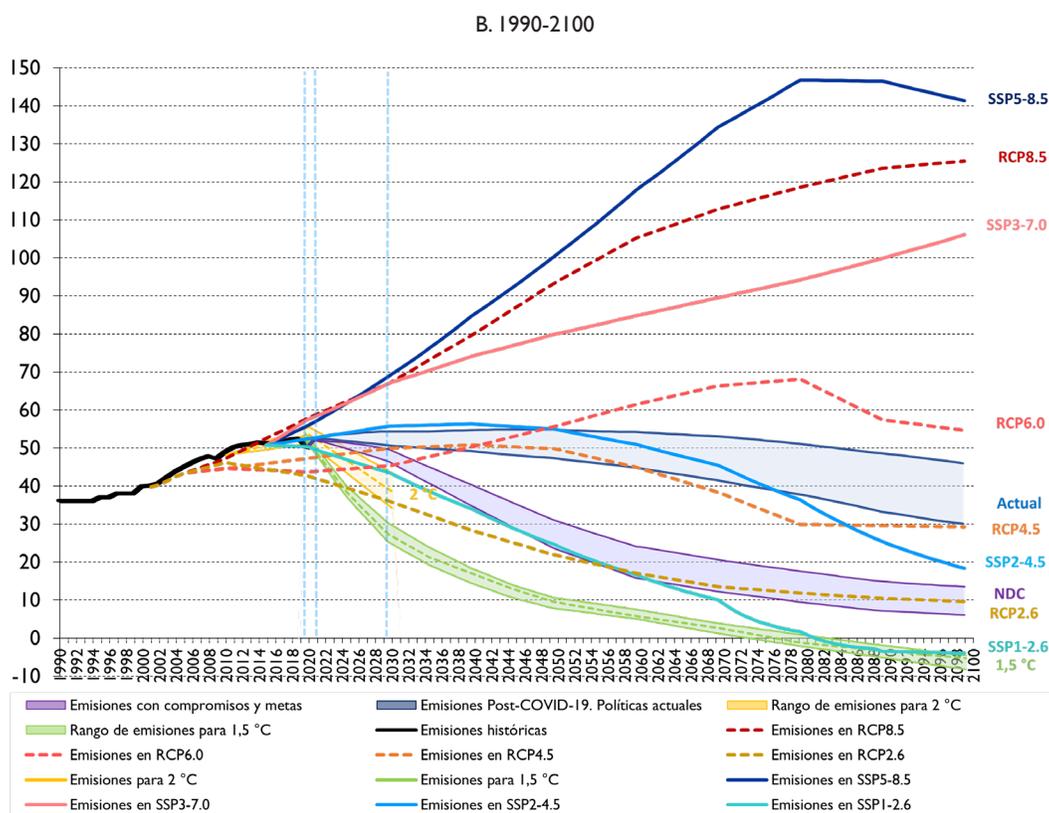
- Descartar los escenarios RCP2.6 y SSP1-2.6 para su uso en el proyecto RIDASICC por las siguientes razones:
  - Muestran una reducción de emisiones desde el comienzo de las trayectorias, lo cual no ha ocurrido.
  - El escenario RCP2.6 tiene una trayectoria por debajo de la que tendrían las emisiones si se sigue solo con las políticas actuales de mitigación. El escenario SSP1-2.6 alcanzaría emisiones cero al final del siglo, que es una meta difícil de alcanzar.

<sup>85</sup> Nationally Determined Contribution.

- Con respecto a las emisiones en caso de que se cumplieran las contribuciones ofrecidas en los NDC a nivel global (con y sin apoyo externo), estas siguen de cerca el RCP2.6 y el SSP1-2.6; sin embargo, hay más incertidumbre del cumplimiento de las NDC.
- Ambos escenarios podrían limitar el aumento de temperatura por debajo de los 2 °C en 2100 con respecto del período preindustrial. Esta limitación implicaría que los países cumplieran sus metas de reducción de emisiones.
- Tomar los escenarios RCP4.5 y SSP2-4.5 como el límite inferior de la posible trayectoria de emisiones por los siguientes motivos:
  - El escenario SSP2-4.5 ha seguido la misma trayectoria de las emisiones observadas. Y seguiría el rango de posibilidades de las emisiones de continuar con las políticas actuales hasta 2080.
  - A pesar de que el escenario RCP4.5 está por debajo de las emisiones observadas, este va en la misma trayectoria de las emisiones si se siguiera solo con las políticas implementadas actualmente.
- No descartar los escenarios con altas emisiones, y considerar los escenarios RCP8.5 y SSP5-8.5 como el rango superior de posibilidades de los escenarios, debido a:
  - De los cuatro escenarios RCP, el RCP8.5 es el que más cerca ha estado de los valores observados de emisiones. Mientras que el escenario SSP5-8.5 también tiene emisiones cercanas a las observadas.
  - Es conveniente tener escenarios que informen del incumplimiento de las políticas de mitigación. Los escenarios RCP8.5 y SSP5-8.5 son el límite de lo que podría suceder en cuanto a la trayectoria de emisiones y el aumento de la temperatura.

**Gráfico 19**  
**Mundo: emisiones de CO<sub>2</sub>e con CUS histórico y de acuerdo con diversos escenarios, 1990-2030 y 1990-2100**  
 (En GtCO<sub>2</sub>e)



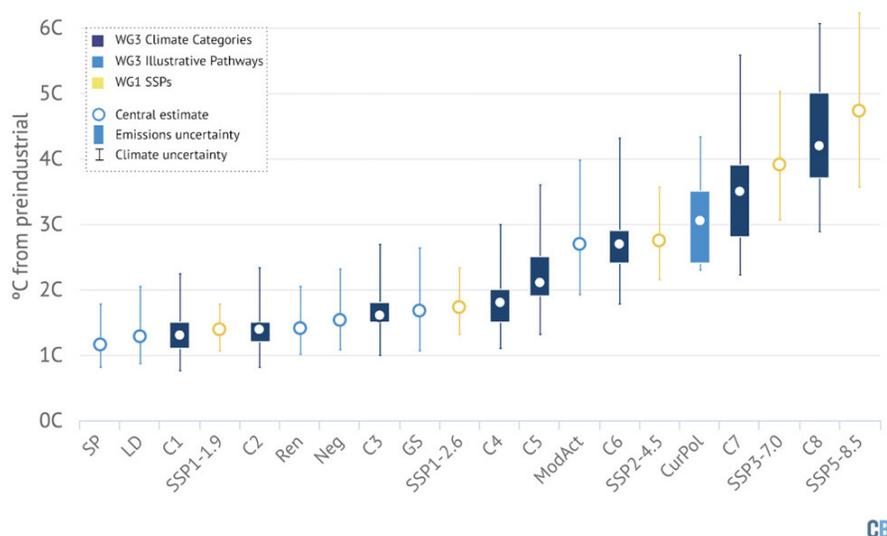


Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Climate Action Tracker, “2030 emissions Gap: CAT projections and resulting emissions gaps in meeting the 1,5 °C Paris Agreement goal”, 2022 [en línea] <https://climateactiontracker.org/global/cat-emissions-gaps/>; M. Meinshausen y otros, “The RCP greenhouse gas concentration and their extension from 1765 to 2300”, *Climatic Change*, vol. 109, art. 213, 2011 [en línea] <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>; K. Riahi y otros, “The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouses gas emissions implications: an overview”, *Global Environmental Change*, vol. 42, 2017 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>.

Chandrasekhar y otros (2022) analizan las estimaciones del aumento de temperatura de cinco escenarios SSP-RCP presentados por el grupo I del IPCC en AR6, y los comparan con ocho escenarios asociados a diferentes niveles de temperatura, llamados categorías climáticas, reportados en el grupo III del IPCC en el AR6 para examinar políticas de mitigación. Las categorías C1 y C2 son escenarios con temperatura por debajo de 1,5 °C; la C3 y la C4 son escenarios por debajo de los 2 °C; el C5, por debajo de los 2,5 °C; el C6, por debajo de los 3 °C, y supone que los compromisos hechos para el año 2030 habrían sido cumplidos y no se harían compromisos adicionales; el C7 limita el calentamiento por debajo de los 4 °C y supone que se continuará con las políticas actuales, y el C8, con aumentos de temperatura por arriba de los 4 °C.

En el gráfico 20 se muestra que de la categoría C1 a la C4 y los escenarios SSP1-1.9 y SSP1-2.6 la temperatura se limitaría a 2 °C. Pero es poco probable que estos escenarios se logren, ya que requieren emisión neta cero en algún momento del siglo (Chandrasekhar y otros, 2022). Las categorías C5 a C7 representan los resultados más cercanos a las políticas implementadas; entre estos escenarios se encuentra el SSP2-4.5. Sin embargo, el incumplimiento de las políticas actuales y de las contribuciones de mitigación en los NDC puede llevar a la categoría climática C8 o el SSP5-8.5.

**Gráfico 20**  
**Estimado de calentamiento de los escenarios de los grupos de trabajo I y 3 del IPCC en 2100 con respecto del período 1850-1900**



Fuente: A. Chandrasekhar y otros, "In-depth Q&A: The IPCC's sixth assessment on how climate change impacts the world, *Carbon Brief: Clear on Climate*, 2022 [en línea] <https://www.carbonbrief.org/in-depth-qa-the-ipccs-sixth-assessment-on-how-climate-change-impacts-the-world/>.

En el análisis de los resultados del aumento de temperatura media global no habría mucha diferencia entre los escenarios para el clima de los próximos 20 años. Como se refiere en el cuadro 32, el aumento de temperatura sería de entre 1,6 °C a 1,7 °C con un rango entre 1,1 °C y 2,2 °C en los escenarios RCP2.6, RCP4.5 y RCP8.5 del CMIP5 con 29 MCG, y en SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 del CMIP6 con 34 MCG para el período de 2021 a 2040 con respecto del período de 1850 a 1900. No obstante, la elección de los escenarios se vuelve relevante a partir del período de 2041 a 2060, cuando el aumento de temperatura es de 1,8 °C y 1,9 °C para los escenarios más bajos y de 2,5 °C para los escenarios con altas emisiones. Como se argumentó, es más probable que se cumplan aquellos escenarios con más de 2 °C.

**Cuadro 32**  
**Anomalía de la temperatura media global con 29 (CMIP5) y 34 (CMIP6) modelos con respecto de 1850-1900**  
 (En grados centígrados)

	2021-2040	2041-2060	2081-2100
RCP2.6	1,6 (1,1-2,0)	1,8 (1,2-2,3)	1,8 (1,3-2,4)
RCP4.5	1,6 (1,1-2,0)	2,0 (1,5-2,5)	2,6 (1,8-3,2)
RCP8.5	1,7 (1,3-2,1)	2,5 (1,9-3,1)	4,5 (3,4-5,5)
SSP1-2.6	1,6 (1,1-2,1)	1,9 (1,3-2,6)	2,0 (1,3-2,8)
SSP2-4.5	1,6 (1,1-2,1)	2,1 (1,5-2,8)	2,9 (2,1-3,9)
SSP3-7.0	1,6 (1,0-2,2)	2,3 (1,6-3,1)	3,9 (2,9-5,2)
SSP5-8.5	1,7 (1,1-2,2)	2,5 (1,8-3,3)	4,8 (3,6-6,3)

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de J. M. Gutiérrez y otros, *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, V. Masson-Delmotte y otros (eds.), Cambridge University Press, 2021 [en línea] <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>.

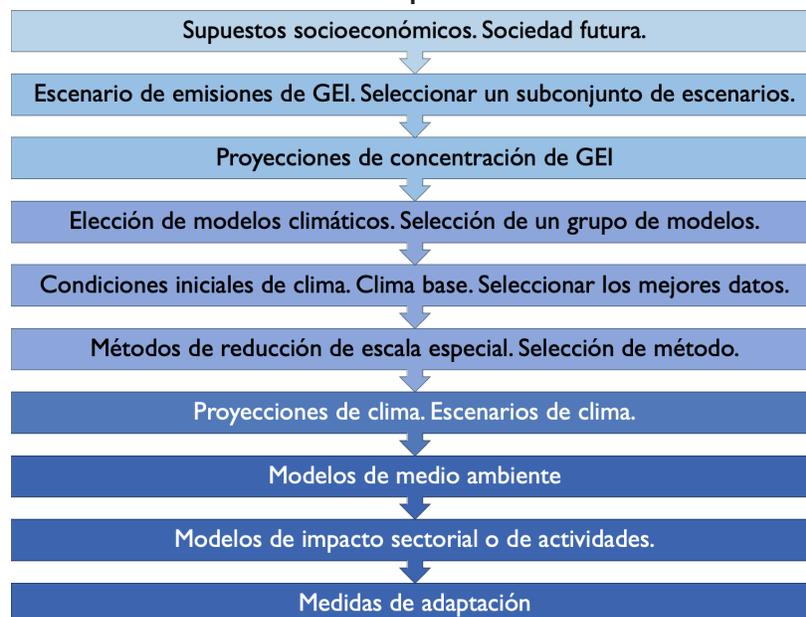
En conclusión, se sugiere descartar aquellos escenarios que son improbables de acuerdo con las emisiones observadas y con las tendencias actuales. Para la formulación de proyectos de inversión pública se recomienda analizar el impacto del cambio climático y las opciones de adaptación en un rango que vaya de escenarios medios hasta un límite alto de emisiones. Para los escenarios del AR5, las tendencias muestran que el límite inferior más probable en el futuro es el RCP4.5, y el escenario alto sería el RCP8.5. Para los escenarios del AR6 se sugieren los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

## C. Tratamiento de la incertidumbre

La aplicación de escenarios es vital para responder a la emergencia climática, pues son una herramienta que permite evaluar los posibles impactos del aumento de la temperatura y los cambios en la precipitación sobre las actividades humanas y los ecosistemas en períodos específicos y a largo plazo. Al mismo tiempo, hay una serie de elementos que considerar al momento de usar las proyecciones de cambio climático como son las incertidumbres que existen para asegurar un manejo y una presentación de resultados de los análisis de estas de forma adecuada.

La incertidumbre está desde los supuestos inherentes a los modelos y los escenarios hasta la aplicación de los datos para el análisis. En primer lugar, se tienen las incertidumbres inherentes a la modelación del clima futuro, que comprenden las posibles evoluciones de la sociedad en este siglo en lo social, económico, conciencia ambiental y desarrollo tecnológico, todo lo cual se relaciona con las emisiones futuras de GEI y otros gases como los aerosoles, así como la conversión de las emisiones a concentraciones atmosféricas (que tienen que ver con las emisiones del pasado y del presente). Otras capas de incertidumbre son la elección de modelos que mejor simulen y proyecten el clima en una región en específico, la calidad de los datos históricos de referencia y los métodos para regionalizar los resultados de los MCG (IPCC, 2001) (véase el diagrama 2).

**Diagrama 2**  
**Cascada de incertidumbre de uso de escenarios de cambio climático en impactos y medidas de adaptación**



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), "Climate Scenario Development", *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report on Intergovernmental Panel on Climate change, J. T. Houghton y otros (eds.), Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press, 2001; K. A. Smith y otros, "Navigating Cascades of Uncertainty – An easy as ABC? Not quite...", *Journal Extreme Events*, vol. 5, N° 1, 2018 [en línea] <http://dx.doi.org/10.1142/S2345737618500070>.

Se añade como incertidumbre los resultados de las proyecciones climáticas a largo plazo, así como los modelos de medio ambiente que en algunos casos no toman en cuenta el impacto y su capacidad de adaptación. La incertidumbre también ocurre con los modelos de impacto en diferentes sectores o actividades y que aplican supuestos para aislar el efecto del cambio climático. Mientras que las respuestas de adaptación también son inciertas, pues se espera una respuesta que también es incierta (véase el diagrama 2).

Por estas capas de análisis con incertidumbre y retos metodológicos, los resultados de los escenarios climáticos y socioeconómicos a largo plazo deben interpretarse como tendencias y magnitudes relativas, no como predicciones ni como magnitudes exactas.

Para la recomendación de la selección de la fuente de información de escenarios de cambio climático es importante considerar los primeros cuatro momentos de incertidumbre enunciados en el diagrama 2. Los momentos de incertidumbre con los modelos de impacto y las respuestas de adaptación deben ser tomados en cuenta en el proceso del proyecto RIDASICC.

De acuerdo con consultas hechas a expertos en modelos climáticos y generadores de información climática, para un mejor tratamiento de la incertidumbre se recomienda lo siguiente:

- Uso climático de los datos. Se deben comparar promedios y no años. Ejemplo: comparar el clima del período de referencia 1970-2000 con el clima de 2041-2060, puede ser anual o por mes. No se debe comparar el clima del año 2022 con el clima de 2050. Si un escenario indica que el aumento de la temperatura será de 2,5 °C entre los años 2041 y 2060 con respecto de un período de referencia, no quiere decir que en cada uno de los años ese será el aumento de temperatura, sino que los aumentos en ese período estarán alrededor de ese valor. Por esta razón, no deben tomarse como predicciones.
- Expresiones probabilísticas o un método que se aproxime. Estos incluyen rangos de las proyecciones, percentiles, entre otros. Ejemplo: el aumento de la temperatura global en el período 2041-2060 con respecto del período 1850-1900 sería de 2 °C en RCP4.5 a 2,5 °C en RCP8.5 (véase el cuadro 32). Debe tomarse un rango, ya que no puede asignarse un valor de probabilidad para que ocurra un escenario; el objetivo es informar lo que puede suceder en distintos escenarios inciertos o en una combinación de circunstancias en los que nos encontraríamos entre ambos valores. Por lo tanto, deben interpretarse como magnitudes relativas.
- Trabajar con un grupo o ensamble de modelos, principalmente en lo tocante a precipitación. Los modelos arrojan resultados distintos, algunos más cercanos que otros. Entre más modelos se usen se abarcará la mayor parte de las trayectorias posibles, sin sesgo a un modelo en particular.
- Validar y elegir los modelos que mejor simulan el clima en la región. Por otro lado, se debe tener presente que un modelo que simule muy bien el clima regional histórico no garantiza que simule de modo correcto el clima futuro. De ahí la importancia de trabajar con un grupo o ensamble de modelos para capturar un rango amplio de los posibles resultados de los modelos en cada escenario.
- Evaluación de la variabilidad de los modelos climáticos para identificar los extremos o desviaciones del promedio que podrían esperarse. Ejemplo: el aumento de la temperatura global del período de 2041 a 2060 con respecto del período de 1850 a 1900 en RCP8.5 sería de 2,5 °C con un rango de [1,9 °C a 3,1 °C] para 29 modelos climáticos considerados (véase el cuadro 32). Por ello, la recomendación es no hacer un tratamiento de los escenarios como magnitudes exactas.

- Corregir los sesgos de los modelos. Los aumentos de temperatura o los cambios en precipitación están elaborados con respecto a la simulación de cada modelo climático. Esta simulación puede no ser igual al clima observado; por lo tanto, el valor de temperatura y precipitación total en el futuro pueden tener un sesgo. Por estos motivos, los cambios o anomalías en estas variables deben ser aplicados sobre valores observados en el mismo período de referencia. En el capítulo V se da un ejemplo de la oferta de información histórica para generar estos períodos de referencia.
- Cuantificar la incertidumbre como lo recomienda el CMIP6. Algunas instituciones de investigación están cuantificando esta incertidumbre en sus modelos climáticos, por lo que es un trabajo en desarrollo.

“Se espera que las nuevas generaciones de modelos, de mayor complejidad, representen mejor los procesos climáticos y proporcionen estimaciones más detalladas y certeras hacia el futuro. Sin embargo, existen varias hipótesis que explican la falta de convergencia e incertidumbre en los modelos” (Knutti y Sedláček, 2012; CEPAL/CAC-SICA, 2020):

- Limitaciones inherentes en la forma en que se construyen los modelos, dados los recursos computacionales limitados y la resolución espacial.
- Falta de comprensión del proceso.
- Falta de observaciones precisas a largo plazo para restringir los modelos.
- Falta de consenso sobre métricas de desempeño de modelos actuales que claramente separan modelos mejores de peores en términos de calidad de proyección.
- Limitación inherente al cambio climático que no es predecible debido a la variabilidad interna.
- Adición de modelos de diferentes instituciones que entran a los CMIP5 y CMIP6.
- Adición de nuevos procesos, componentes o forzamientos en CMIP5 que no se entienden bien, no están bien representados en el modelo o no están bien limitados por las observaciones

¿Por qué usamos las proyecciones regionalizadas de cambio climático si implican un grado de incertidumbre mayor? Porque son necesarias para:

- ✓ Adaptar las variables de superficie a características locales.
- ✓ Estimar extremos, en áreas específicas, que los modelos globales suavizan.
- ✓ Adaptar la resolución espacio-temporal a los modelos de impactos del cambio climático.

De igual forma, parte de la falta de datos de estaciones climáticas e hidrológicas deriva en mayor incertidumbre, según la variable que se quiera trabajar. En general, la temperatura se comporta con mayor estabilidad, pero es importante considerar que, en el caso de la precipitación, el comportamiento es más errático, y con cambio climático lo es aún más, lo que implica mayor incertidumbre.

El uso climático de los datos no captura la magnitud de los eventos extremos que podrían exacerbarse. Sin embargo, los modelos climáticos simulan los datos futuros diarios, con lo que es posible construir indicadores como la precipitación máxima en 24 horas, días consecutivos sin lluvia, número de días de lluvia, entre otros, para cada período futuro. Esto no significa que la precipitación máxima en un día se presente en todos los años, sino que se presentaría en algún momento en dicho período.

## V. Oferta de escenarios de cambio climático para los países de la región del SICA

En seguida, se revisarán las iniciativas que han generado datos climáticos con escenarios de cambio climático de fuentes nacionales, regionales e internacionales, y se describirán las características de dichos datos que podrían ser relevantes para medir los potenciales impactos del cambio climático y para la orientación de medidas de reducción del riesgo de desastres y cambio climático en la inversión pública en infraestructura.

### A. Generación de escenarios a nivel nacional

En este apartado se aborda la oferta de escenarios de cambio climático en la esfera nacional para los países del COSEFIN/SICA, con una descripción de los criterios de selección propuestos.

#### I. Costa Rica

El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de Costa Rica es el responsable de generar la información sobre el clima, la variabilidad climática y los escenarios de cambio climático. En 2021 actualizó los escenarios con el RCP2.6 y el RCP8.5 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

**Cuadro 33**  
**Costa Rica: características de los modelos de simulación y escenarios climáticos, 2021**

Característica	Descripción
Institución(es) a cargo	Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)-Instituto Meteorológico Nacional (IMN).
Indicadores/variables	Precipitación, temperatura media, humedad relativa, radiación solar (irradiancia) y velocidad del viento.
Fuentes	Tendencia y proyecciones: se utilizaron los datos correspondientes a las estaciones meteorológicas (46 de temperatura y 300 de lluvia) del IMN y los de la base reticulada WorldClim.v2 en el período 1970-2000. Clima actual y escenarios futuros: se consideró el modelo PRECIS en el período 1961-1990. Para la configuración del modelo PRECIS se seleccionó como forzante el modelo global HadGEM2-ES, a partir del cual se obtuvieron los datos de frontera de una simulación inicial de 54 años del clima pasado (1951-2005), y posteriormente otras dos para las proyecciones del clima futuro, usando los escenarios de emisiones RCP2.6 y RCP8.5 en el período 2006-2099.
Escala o resolución	Modelo regional PRECIS, 25 km Metodología deltas para mejorar resolución de 25 km a 1 km
Cortes/temporalidad	2010-2039, 2040-2069, 2070-2099. Promedio de períodos por mes.
Selección de escenarios	RCP2.6 y RCP8.5 del quinto informe de evaluación (AR5 <sup>86</sup> ).
Modelos	Modelo de circulación general (HADGEM2-ES) y modelo de circulación regional (PRECIS versión 2.0).
Accesibilidad	El reporte “Proyecciones de Cambio Climático regionalizadas para Costa Rica (Escenarios RCP-2.6 y RCP-8.5)” fue publicado en 2021. Está disponible en la página del IMN de Costa Rica. Las bases de datos no están disponibles, pero se pueden solicitar bajo convenio.
Consistencia	Con la metodología usada en las interpolaciones, las variables de temperatura y radiación tienen un nivel de error bajo (coeficiente de correlación entre 0.99 y 0.95), contrario al nivel relativamente alto de la lluvia y el viento (correlaciones entre 0.76 y 0.86).

<sup>86</sup> Fifth Assessment Report

Característica	Descripción
Página web	<a href="http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/ProyeccionesEscenariosClimaticos/offline/ProyeccionesEscenariosClimaticos.pdf">http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/ProyeccionesEscenariosClimaticos/offline/ProyeccionesEscenariosClimaticos.pdf</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de L. F. Alvarado Gamboa, *Proyecciones de cambio climático regionalizadas para Costa Rica (Escenarios RCP-2.6 y RCP-8.5)*, San José, Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía, Dirección de Geología y Minas/Instituto Meteorológico Nacional, 2021 [en línea] <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/ProyeccionesEscenariosClimaticos/offline/ProyeccionesEscenariosClimaticos.pdf>; Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), *Cuarta Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, San José, Costa Rica, Gobierno de Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía, 2021 [en línea] <https://unfccc.int/documents/403568>.

En reunión virtual<sup>87</sup>, personal del IMN mencionó que cuentan con los escenarios RCP2.6 y RCP8.5 del CMIP5, y que trabajan con el grupo técnico asociado al Visor de Escenarios de Cambio Climático del Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH) para actualizarlos con los escenarios CMIP6.

## 2. El Salvador

En El Salvador, los antecedentes más próximos sobre el desarrollo de modelos de simulación climática son los utilizados en las Comunicaciones Nacionales de Cambio Climático. Al respecto, en la Segunda Comunicación de Cambio Climático se usaron los escenarios de la CEPAL y otros (2011), mientras en la Tercera Comunicación se utilizaron los hechos por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de El Salvador, con apoyo del Centro del Agua y Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC). La Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales (DGOA) del mismo MARN también ha participado en la construcción del visor de escenarios de cambio climático del CRRH.

### a) Modelos de simulación y escenarios climáticos para El Salvador, 2017

Como parte de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático elaborada por el MARN de El Salvador, con financiamiento del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF<sup>88</sup>), y con apoyo del CATHALAC, se desarrollaron los modelos de simulación y escenarios climáticos para El Salvador. El MARN ha señalado que estos escenarios también serían contemplados para la toma de decisiones en el contexto de los estudios de vulnerabilidad y adaptación en diferentes sectores de El Salvador. En el repositorio del MARN sobre cambio climático y medio ambiente se encuentran los reportes técnicos correspondientes (MARN/CATHALAC, 2017).

<sup>87</sup> La reunión se llevó a cabo el 13 de septiembre de 2022, con la participación de Ana Rita Chacón, Martha Pereira, del IMN; Francisco Tula, Gabriel Corrales, del MIDEPLAN; Julie Lennox, Jaime Olivares, Santa Paola Centeno y José Manuel Iraheta, de la CEPAL.

<sup>88</sup> Global Environment Facility.

**Cuadro 34**  
**El Salvador: características de los modelos de simulación y escenarios climáticos para El Salvador, 2017**

Característica	Descripción
Institución(es) a cargo	MARN y CATHALAC.
Indicadores/variables	Precipitación, temperatura (media, máxima y mínima), humedad relativa, presión y dirección y velocidad del viento.
Fuentes	En este ejercicio se utilizaron (1) datos observados nacionales, (2) modelos de circulación general y (3) método de ensamble de modelos para obtener resultados bajo las condiciones de los diferentes escenarios. La información climática usada fue de escala mundial para el período histórico de referencia. Cada variable contó con al menos 85% de la información acerca de las variables de precipitación, temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa. Para la presión atmosférica en superficie y dirección y velocidad del viento, se optó por trabajar con datos del ERA-20CM.
Escala o resolución	Sin información; solo se anota que para ERA-20CM la resolución temporal diaria y mensual fue de aproximadamente 15 km (presión atmosférica en superficie y dirección y velocidad del viento).
Cortes/temporalidad	Valor promedio del período histórico: 1961-1990. Períodos: 2021-2050 y 2071-2100.
Selección de escenarios	Escenarios RCP del CMIP589. RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5.
Modelos	Se seleccionaron 15 Modelos de Circulación General (MCG) que mejor representan las condiciones para Centroamérica. Además, se evaluaron 42 modelos utilizados en la Tercera Comunicación Nacional de Colombia. Se seleccionaron cinco evaluando la mejor representación del clima en la zona tropical: MRI-CGCM3, MIROC-C5, GFDL-CM3, CSIRO-Mk3.6.0, CSIRO-Mk3.6.0. Se seleccionaron con base en tres métricas: i) correlación (medida del grado de ajuste; ii) bias o sesgo (medida de fiabilidad), y iii) RMSE (medida de la exactitud).
Accesibilidad	Los resultados de los escenarios están publicados en reportes oficiales, incluida la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de 2018, y en la página del MARN de El Salvador, en la que se tienen alojados tres reportes técnicos en formato PDF. Sin embargo, no se encontró la disponibilidad pública de los datos en algún repositorio.
Consistencia	La información climática observada y utilizada fue a escala mensual para el período de referencia de 1961 a 1990. Cada variable contó con al menos el 85% de la información acerca de las variables de precipitación, temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa. Para la presión atmosférica en superficie y dirección y velocidad del viento, se optó por trabajar con los datos del Reanálisis ERA-20CM, que tienen una resolución temporal diaria y mensual, así como una resolución espacial de aproximadamente 15 km.
Página web	<a href="http://rcc.marn.gob.sv/xmlui/handle/123456789/347">http://rcc.marn.gob.sv/xmlui/handle/123456789/347</a>

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)/Global Environment Facility (GEF)/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, San Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018*; Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)/Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC), “Modelos de simulación y escenarios climáticos para El Salvador”, 2017 [en línea] <http://rcc.marn.gob.sv/xmlui/handle/123456789/347?show=full>.

En reunión virtual<sup>90</sup>, personal de la DGOA, perteneciente al MARN, refirió que cuenta con los modelos incluidos en el visor de escenarios de Centro Clima del CRRH con el CMIP5, y que esta Dirección forma parte del Grupo Regional que da seguimiento al visor. Asimismo, explicó que está en la fase de análisis para la actualización con el CMIP6, también con Centro Clima. Señaló que en 2022 se definirían los modelos que se usarían para la actualización de los escenarios climáticos<sup>91</sup> y para planeación en los sectores de agricultura y recursos hídricos.

<sup>89</sup> Proyecto de Intercomparación de los Modelos Acoplados (CMIP).

<sup>90</sup> La reunión se llevó a cabo el 22 de junio de 2022, con la participación de Pablo Ayala, Giovanni Molina, de la DGOA; Edwin Castellanos, Róger Vega, Andreas Mende, consultores del proyecto RIDASICC; Julie Lennox, Jaime Olivares, Santa Paola Centeno, José Manuel Iraheta y Mariana García, de la CEPAL.

<sup>91</sup> La Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) da seguimiento a la agenda de cambio climático y asistencia técnica para la actualización del visor del Centro Clima con las nuevas salidas del CMIP6.

### 3. Guatemala

En Guatemala se han hecho varios ejercicios de escenarios de cambio climático, entre los que destacan el del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (MARN), en 2001; el del CATHALAC, en 2008; el Proyecto Economía del Cambio Climático, con la CEPAL, en 2011; el del Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad, en 2011, y los del MARN de Guatemala y la Universidad de Nebraska de Estados Unidos, en 2015 (Rivera, Bardales y Ochoa, 2019).

De acuerdo con el Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático (SGCCC) (2022), entre los ejercicios nacionales más recientes, y que emplean los escenarios del AR5, se encuentran: i) Proyecciones de Cambio Climático en Guatemala-Reducción Dinámica, de la Unidad de Cambio Climático del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH) en 2019, y ii) el estudio “Escenarios de Cambio Climático para Guatemala, C. A.”, elaborado por investigadores de la Universidad de San Carlos de Guatemala en 2020.

#### a) Proyecciones de cambio climático en Guatemala –Reducción Dinámica– 2019

Las *Proyecciones de cambio climático en Guatemala –Reducción Dinámica–* fueron hechas en 2019 por Willson García, de la Unidad de Cambio Climático del INSIVUMEH, considerando la climatología histórica de Guatemala, con el fin de establecer una perspectiva clara de los posibles escenarios climáticos de acumulado de lluvia y temperatura media para el siguiente siglo, de 2006 a 2099. Estos son los primeros escenarios dinámicos elaborados por una institución del país. Los escenarios se muestran en la página del INSIVUMEH.

**Cuadro 35**

#### **Guatemala: características de las Proyecciones de Cambio Climático en Guatemala –Reducción Dinámica–**

Características	Descripción
Institución(es) a cargo	Unidad de Cambio Climático del INSIVUMEH.
Indicadores/variables	Acumulado de lluvia anual, temperatura media, anomalía de acumulado de lluvia anual. Anomalía temperatura media. Adicional de más de 40 variables que aún están en crudo.
Fuentes	Para la climatología histórica se realizó una reducción dinámica mediante simulación: EINI5 para lluvia y temperatura, con resolución de 25 km, por medio del modelo RegCM, con datos de reanálisis de Era Interim EINI5; Met Office Hadley Center, como fuente para el modelo RegCM; CRU y GPCP.
Escala o resolución	25 km
Cortes/temporalidad	El período de referencia fue 1982-2016. Para los escenarios se modeló de 2006 a 2099, con una resolución temporal de seis horas. Análisis pentadal: 2010-2039, 2040-2069, 2070-2099. Anomalía intraanual (meses): 2010-2039, 2040-2069, 2070-2099.
Selección de escenarios	RCP2.6, RCP4.5, y RCP8.5 del CMIP5.
Modelos	HadGEM2-es del Met Office Hadley Center, como fuente para el modelo RegCM, reduciéndolos a 25 km, con un paso temporal de seis horas durante casi todo el siglo XXI, de 2006-2099.

Características	Descripción
Accesibilidad	El estudio presenta tres análisis de las proyecciones: a) comportamiento climático, comparando la climatología proyectada de cada escenario de cambio climático en grupos de 30 años o por décadas en forma intraanual, interanual o por mes interanual, para determinar la similitud o diferencia de las variables climáticas en cada escenario; b) anomalía climática, el valor de cada escenario en grupos de 30 años o por década, en forma intraanual, interanual o por mes interanual, menos la climatología generada por el modelo RegCM con datos de ERA Interim de 1982 a 2016, y c) tendencia, comparando en forma intraanual, interanual o por mes interanual de la simulación histórica con las proyecciones del período de 2006 a 2016, puesto que esa fracción temporal está simulada para ambos. Se muestra la comparativa con su respectivo error y valores estadísticos, sobre todo el RMSE o el CV (RMSE) y la correlación r. Todo esto para analizar a cuál escenario del cambio climático nos estamos adentrando. Además del reporte técnico de las proyecciones de cambio climático, en la página se muestra una galería de mapas para cada corte, y se puede llenar un formulario para solicitar los datos de las proyecciones. Las bases de datos no están públicas.
Página web	<a href="https://insivumeh.gob.gt/?page_id=14371">https://insivumeh.gob.gt/?page_id=14371</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de W. García, *Proyecciones de cambio climático en Guatemala –Reducción Dinámica–. Resumen técnico*, Ciudad de Guatemala, Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Unidad de Cambio Climático, 2019 [en línea] [https://insivumeh.gob.gt/?page\\_id=14371](https://insivumeh.gob.gt/?page_id=14371).

En reunión virtual, los funcionarios del INSIVUMEH<sup>92</sup> refirieron que cuentan con los datos de los escenarios de cambio climático y que pueden compartirlos para el proyecto a través de una solicitud. Tienen planeado una actualización de los escenarios del CMIP6 con una reducción de escala dinámica y estadística. Este plan se encuentra en la fase previa de evaluación de modelos que mejor representen el clima histórico de Guatemala. Para la base histórica, están contemplando los períodos 1981-2010 y 1991-2020. Llevan dos procesos, uno nacional y otro regional; en el nacional están haciendo pruebas de interpolaciones para precipitación y temperatura para la climatología base; para el regional recibirán capacitación de la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET), para el uso de una metodología, ya que son parte del Grupo Regional del Visor de Escenarios del CRRH. Además, actualizarán los escenarios con el CMIP6. El proyecto está enfocado en dos sectores: agrícola y agua y saneamiento. Tienen planes tentativos para implementar sistemas para acceder a la base de datos de forma automática o remota, pero no cuentan con una fecha de implementación a corto plazo.

### **b) Escenarios de cambio climático para Guatemala, C.A., 2020**

Los investigadores Paris Rivera, Wener Ochoa y Marvin Salguero, del Programa de Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con apoyo del Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales (IIA-FAUSAC), de la Facultad de Agronomía de la misma Universidad, y del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) de Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR<sup>93</sup>), elaboraron los escenarios de cambio climático para Guatemala.

<sup>92</sup> La reunión se llevó a cabo el 15 de junio de 2022, con la participación de Mariano Cap, Naomy Andrino, Isabel González, Jennifer Rivera, del INSIVUMEH; Edwin Castellanos, Yolanda Castelán, Andreas Mende, consultores del proyecto RIDASICC; Julie Lennox, Jaime Olivares, Santa Paola Centeno, José Manuel Iraheta y Mariana García, de la CEPAL.

<sup>93</sup> Consultative Group on International Agricultural Research.

**Cuadro 36**  
**Guatemala: escenarios de cambio climático para Guatemala, CA 2020, IIA-FAUSAC-CIAT**

Características	Descripción
Institución(es) a cargo	Universidad de San Carlos de Guatemala.
Indicadores/ variables	Temperatura media y precipitación.
Fuentes	CGIAR (Research Program on Climate change, Agriculture, and food Security- WorldClim 1.2.).
Escala o resolución	1 km <sup>2</sup> (método delta).
Cortes/temporalidad	1960-1990. Períodos climáticos futuros: 2020-2049, 2040-2069, 2060-2089 y 2070-2099.
Selección de escenarios	RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5.
Modelos	RCP2.6 (19 modelos). RCP4.5 (31 modelos). RCP6.0 (33 modelos).
Accesibilidad	El reporte se encuentra disponible en el Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático (SGCCC). Las bases de datos no están públicas.
Consistencia	La incertidumbre puede representarse mediante valores cuantitativos como, por ejemplo, una función de densidad de probabilidad en estadística o como errores y coeficientes de determinación, ya que muestran la variabilidad de los resultados. Pero, para las proyecciones climáticas para Guatemala, resulta complicado aplicar ciertos métodos clásicos porque no se cuenta con un mensurado, es decir, no se tiene un valor real de referencia, pues se desconoce el futuro. Se hicieron gráficas que muestran la variabilidad de las proyecciones de los modelos del CMIP5 para cada variable analizada. En estas se representó la variación mínima a partir del período inicial de las proyecciones y una mayor variabilidad hacia los períodos futuros, con el fin de ver toda la gama de posibilidades de las proyecciones para Guatemala por los distintos modelos disponibles en cada escenario RCP.
Página web	<a href="https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2020/09/ESCENARIOS-DE-CAMBIO-CLIMATICO-PARA-GUATEMALA-Agosto-Final.pdf">https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2020/09/ESCENARIOS-DE-CAMBIO-CLIMATICO-PARA-GUATEMALA-Agosto-Final.pdf</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de P. F. Rivera, W. A. Bardales y W. Ochoa, "Escenarios de cambio climático para Guatemala", en E. Castellanos (coord. y ed. gral.), *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala* (págs. 40-61), Ciudad de Guatemala, Editorial Universitaria UVG, Sistema Guatemalteco del Cambio Climático, 2019.

## 4. Honduras

En el marco de la preparación de la Tercera Comunicación Nacional en Honduras, el CIAT, en coordinación con MiAmbiente de Honduras y el PNUD, elaboró los escenarios de cambio climático para el país. En esta elaboración se consideró: i) la generación de la línea base climatológica (clima de referencia), con fundamento en los registros de estaciones meteorológicas, y ii) la generación de las proyecciones futuras de clima con base en los MCG. Por otro lado, se evaluaron también los escenarios de cambio climático para la plataforma oceánica de Honduras, calculando el nivel medio del mar en relación con el geoide de referencia a una resolución espacial de 4 km, que fue obtenida de la observación satelital para la línea base y como producto de la evaluación de diez MCG de las proyecciones CMIP5 y 2 RCP.

**Cuadro 37**  
**Honduras:Tercera Comunicación Nacional**

Características	Descripción
Institución(es) a cargo	Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en coordinación con MiAmbiente de Honduras y el PNUD.
Indicadores/ variables	Precipitación, temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura media, rango diario de temperatura, radiación solar y velocidad media del viento. Nivel del mar medio en relación con el geoide de referencia.
Fuentes	Se recopiló información meteorológica de diferentes fuentes nacionales, regionales y globales: Dirección General de Recursos Hídricos (DGRH) del MiAmbiente de Honduras, Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sismológicos de la Comisión Permanente de Contingencias (CENAOS-COPECO), Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA), Empresa Nacional de Energía Electrónica (ENEE). La red meteorológica hondureña denota una densidad de una estación en 830 km <sup>2</sup> para precipitación y 5.113 km <sup>2</sup> para temperatura. Un 90% de las estaciones se encuentra debajo de los 1.000 msnm; por ello, se complementó la base de datos con otras redes regionales y globales como el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de El Salvador, el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH), la Red Mundial de Datos Climatológicos Históricos (GHCN) y el resumen diario de superficie global (GSOD), para lograr una base de datos final con 282 estaciones de precipitación y 69 de temperatura. En estas revisiones se utilizaron varios controles para estandarizar la información y depurar datos erróneos, así como para el llenado de datos faltantes empleando métodos estadísticos. Para tal llenado se utilizaron fuentes como TerraClimate, que combina normales climatológicas de alta resolución de WorldClim v2.0 con datos de resolución más gruesa como CRU TS v4.0 y JRA-55.
Escala o resolución	Para la línea base climática, ~1 km Para las proyecciones de cambio climático variables de plataforma continental, 1 km; para la altura sobre el nivel del mar, 4 km
Cortes/ temporalidad	1981-2010. Para la generación de escenarios futuros se utilizaron cortes de corto, mediano y largo plazo (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100).
Selección de escenarios	Proyecciones CMIP5 del AR5 para los 4 escenarios RCP2.5, 4.5, 6.0, y 8.5.
Modelos	Se seleccionaron 18 MCG y se utilizó el método de regionalización estadística delta BCC-CSM1.1 BCC-CSM1.1 (m), CESM1-CAM5, CSIRO-Mk3.6.0, FIO-ESM, GFDL-CM3, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, GISS-E2R, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM, MIROC-MIROC5, OHC-HadGEM2-ES, MRI-CGCM3, NCAR-CCSM4, NCC-NorESM1-M, NIMR-HADGEM2-AO. En el caso de los escenarios futuros de aumentos de nivel del mar, se derivaron de 10 modelos para dos RCP4.5 y 8.5.
Accesibilidad	Se cuentan con datos sobre: i) los escenarios futuros para Honduras por cada MCG, con 4106 rásters, organizados en tres niveles de acuerdo con RCP cada uno de los modelos evaluados y horizontes de tiempo evaluados; ii) las anomalías o cambios de clima futuro en Honduras para el ensamblaje (promedio) de 18 MCG (2436 rásters correspondientes a los deltas o cambios para el ensamblaje o promedio de los 18 MCG evaluados, organizados en cuatro grupos de 609 rásters de acuerdo con cada uno de los RCP y según horizontes temporales, y iii) los escenarios futuros regionalizados para Honduras para el ensamblaje (promedio) de 18 MCG organizados de forma similar a lo presentado en la sección de anomalías. La información está disponible en formato PDF; capas del SIG, en formato GeoTIFF.
Página web	<a href="https://aguadehonduras.gob.hn/wpshonduras/escenarioscambioclimatico">https://aguadehonduras.gob.hn/wpshonduras/escenarioscambioclimatico</a> <a href="https://cgspace.cgiar.org/">https://cgspace.cgiar.org/</a> <a href="https://dataverse.harvard.edu/dataverse/CIAT">https://dataverse.harvard.edu/dataverse/CIAT</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de C. E. Navarro-Racines y otros, *Desarrollo de los escenarios climáticos de Honduras y Módulo Académico de Capacitación*, Honduras, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)/Dirección Nacional de Cambio Climático de MiAmbiente, 2018 [en línea] <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/100378>.

<sup>a</sup> Global Surface Summary of the Day.

En reunión virtual<sup>94</sup>, personal de MiAmbiente de Honduras relató que por medio de CIAT se creó la plataforma agua de Honduras<sup>95</sup> y se generaron los escenarios de cambio climático que están en la Tercera Comunicación Nacional y se hará un traspaso del CIAT a la DGRH de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. La información no tiene costo y se requiere una solicitud formal.

## 5. Nicaragua

En Nicaragua se han utilizado dos tipos de modelaciones: las nacionales, que están vinculadas a las Comunicaciones Nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y las territoriales, que se vinculan a proyectos de investigación. En el cuadro 38 se resumen los escenarios climáticos para Nicaragua reportados en su Cuarta Comunicación Nacional.

**Cuadro 38**  
**Nicaragua: Cuarta Comunicación Nacional**

Características	Descripción
Institución(es) a cargo	Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).
Indicadores/variables	Precipitación, temperatura media máxima y mínima.
Fuentes	Estudio: Escenarios de Clima Futuro de Nicaragua, período 2021-2100
Escala o resolución	5 km x 5 km
Cortes/temporalidad	2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.
Selección de escenarios	RCP8.5.
Modelos	Se evaluó la representatividad de ocho modelos, y se escogió el escenario INM-CM4, que es el que mejor representa la climatología del período 1971-2015.
Accesibilidad	El reporte se encuentra disponible en la página de la CMNUCC. Las bases de datos no están disponibles.
Consistencia	Se redujo escala con el algoritmo Catmull-Rom. La tendencia aplicada a las series climáticas se corrigió con la metodología de Wood. El INETER está trabajando en la validación del modelo de 2021 a 2022 (24 meses).
Página web	<a href="https://unfccc.int/sites/default/files/resource/4CN-Nicaragua.pdf">https://unfccc.int/sites/default/files/resource/4CN-Nicaragua.pdf</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Plataforma Nacional de Información y Conocimientos sobre Cambio Climático de Nicaragua, Comunicaciones, s/f [en línea] <https://cambioclimatico.ineter.gob.ni/>, "Atlas de Escenarios Climáticos de Nicaragua hasta el año 2080", 2022 [en línea] <https://ineter.gob.ni/libro/index.html>; Reunión virtual con el INETER; República de Nicaragua, Cuarta Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, Managua, Nicaragua, República de Nicaragua, Sistema Nacional de Gestión del Cambio Climático, Secretaría de Cambio Climático de la Presidencia, 2023 [en línea] <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/4CN-Nicaragua.pdf>.

Nota: La reunión virtual con el INETER se llevó a cabo el 9 de diciembre de 2022, con la participación de Luis Herrera, INETER; Jaime Olivares y Santa Paola Centeno, de la CEPAL.

<sup>94</sup> La reunión se llevó a cabo el 28 de septiembre de 2022 con la participación de Paulette Herrera, Wendy Rodríguez y Eleazar Salinas, de Miambiente/Honduras; Carla Rodríguez, de SEFIN; Julie Lennox, Jaime Olivares, Santa P. Centeno, José Manuel Iraheta y Mariana García, de la CEPAL.

<sup>95</sup> El CIAT hizo una revisión de la calidad de la información de las estaciones y descartó del análisis las que no cumplieran con estándares de calidad.

## 6. Panamá

En reunión virtual<sup>96</sup>, personal de MiAmbiente de Panamá puntualizó que la publicación de su Cuarta Comunicación Nacional sobre Cambio Climático contaría con la actualización de sus escenarios. En esta publicación reportaron una selección de modelos climáticos apropiados para el país. Los escenarios que generaron fueron a escala nacional y por regiones hidroclimáticas con la SSP12.6 y SSP58.5 para las variables de precipitación y temperatura máxima y mínima.

**Cuadro 39**  
**Panamá: Cuarta Comunicación Nacional**

Características	Descripción
Institución(es) a cargo	Ministerio de Ambiente de Panamá (MiAmbiente) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Los escenarios se desarrollaron con el apoyo técnico de la Universidad Técnica de Dresden y la Universidad Checa de Ciencias de la Vida de Praga.
Indicadores/variables	Precipitación (valores máximos, medios y mínimos), temperatura máxima y mínima.
Fuentes	Worldclim.
Escala o resolución	A nivel nacional y en las siguientes regiones hidroclimáticas: Caribe Occidental, Pacífico Occidental, Arco Seco, Central, Caribe Oriental y Pacífico Oriental. Se redujo la información original de 1 km a 30 m con el paquete SAGA-GIS.
Cortes/temporalidad	2021-2040 (con referencia al 2030); 2041-2060 (con referencia al 2050); y 2061-2080 (con referencia al 2070).
Selección de escenarios	SSP12.6 y SSP58.5.
Modelos	FIO-ESM1-2-0, MPI-ESM-1-2-HR y MPI-ESM-1-2-LR.
Accesibilidad	El reporte, publicado en 2023, está disponible en la página de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
Página web	<a href="https://unfccc.int/sites/default/files/resource/53792416_Panama-NC4-1-4CNCC_2023_PANAMA_H.pdf">https://unfccc.int/sites/default/files/resource/53792416_Panama-NC4-1-4CNCC_2023_PANAMA_H.pdf</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Ministerio de Ambiente (MiAmbiente), *Cuarta Comunicación Nacional sobre Cambio Climático Panamá*, Gobierno de la República de Panamá, 2023 [en línea] <https://unfccc.int/documents/630957>.

La Dirección de Hidrometeorología de ETESA participaba en la actualización de escenarios del visor de cambio climático para Centroamérica del CRRH, y desde 2022 ha participado el Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá (IMHPA).

## 7. República Dominicana

En el Centro del Agua y Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC) se corrieron ocho modelos de circulación global con la información climática histórica de 1984 a 2013 de la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET). Los resultados de los escenarios climáticos fueron publicados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MMARN) en la Tercera Comunicación Nacional de República Dominicana ante la Convención Marco de las Naciones Unidas de Cambio Climático.

<sup>96</sup> La reunión se llevó a cabo el 23 de junio de 2022, con la participación de Luz Graciela de Calzadilla, de ETESA; Ligia Castro de Doens, Brillitt Manzané, Nathalye Camano, Yahaira Cárdenas, Rene Lopez Arguelles, Israel Torres, de MiAmbiente de Panamá; Fabio Bedoya, del MEF de Panamá; Edwin Castellanos, consultor del proyecto RIDASICC; Julie Lennox, Jaime Olivares, Santa Paola Centeno, José Manuel Iraheta y Mariana García, de la CEPAL.

**Cuadro 40**  
**República Dominicana: Tercera Comunicación Nacional**

Características	Descripción
Institución(es) a cargo	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MMARN), Centro del Agua y Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC).
Indicadores/variables	Temperatura mínima, temperatura máxima, temporada de secas, inicio de lluvias, precipitación total anual.
Fuentes	Información histórica de 12 estaciones meteorológicas en superficie de la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET).
Escala o resolución	1 km
Cortes/temporalidad	Histórico: 1984-2013. Proyección: períodos 2041-2060 (referido como 2050) y 2061-2080 (referido como 2070).
Selección de escenarios	RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5.
Modelos	8 modelos de clima global: NorESM-1, Noruega; MPI-ESM-LR, Alemania; MRI-CGCM3, Japón; MIROC5, Japón; HadGEM2-ES, Inglaterra; GISS-E2-R, Estados Unidos; CNRM-CM5, Francia; CCSM4, Estados Unidos.
Accesibilidad	El reporte, publicado en 2017, está disponible en la página de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
Página web	<a href="https://unfccc.int/documents/39777">https://unfccc.int/documents/39777</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MMARN)/Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio de la Presidencia de la República Dominicana (CNCCMDL), Tercera Comunicación Nacional de República Dominicana para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, 2017 [en línea] <https://unfccc.int/documents/39777>.

## B. Plataformas para acceder a modelos y escenarios

A continuación, se mencionan algunas de las plataformas identificadas para la visualización o descarga de escenarios de cambio climático en los ámbitos internacional y regional. Se incluye una descripción de los criterios de búsqueda propuestos.

### I. Atlas Interactivo del IPCC

En el último capítulo del sexto informe de evaluación (AR6<sup>97</sup>) del Grupo de Trabajo I (WGI<sup>98</sup>) se incluye una herramienta interactiva en línea llamada Atlas Interactivo. En el capítulo del Atlas se evalúan los cambios observados, atribuidos y proyectados en el clima regional en coordinación con otros capítulos del WGI. Este Atlas considera diferentes líneas de evidencia como: i) la evaluación de diferentes conjuntos observacionales globales y regionales; ii) la atribución de tendencias observadas, y iii) las múltiples simulaciones de modelos del CMIP5, el CMIP6 y el CORDEX.

El Atlas es un producto que permite un análisis espacial y temporal flexible de los resultados presentados en el capítulo del Atlas y otros en forma de mapas interactivos para períodos de análisis histórico y futuros predefinidos. El análisis histórico incluye el pasado reciente y el paleoclima, y el clima futuro incluye el corto, mediano y largo plazo a través de escenarios RCP y SSP-RCP y escenarios de calentamiento. También tiene el objetivo de respaldar el resumen técnico y el resumen para responsables de políticas del WGI, y servir como herramienta para el Grupo de Trabajo II (WGII<sup>99</sup>) de adaptación (Gutiérrez y otros, 2021). Sus características se resumen en el cuadro 41.

<sup>97</sup> Sixth Assessment Report.

<sup>98</sup> Working Group I.

<sup>99</sup> Working Group II.

**Cuadro 41**  
**Características de la base de datos de escenarios de cambio climático del Atlas Interactivo del IPCC**

Características	Descripción
Institución(es) a cargo	El equipo del Capítulo Atlas del grupo I del sexto informe de evaluación del IPCC.
Escenarios	Escenarios RCPs del CMIP5 RCP2.6, RCP4.5 y RCP8.5.
Modelos	29 modelos del CMIP5.
Variables	Temperatura media, mínima y máxima (°C). Precipitación (mm). 12 variables bioclimáticas derivadas de los valores de la temperatura y precipitación.
Resolución	Se proporciona información regional agregada para un conjunto de regiones predeterminadas a partir de las salidas de los modelos globales (222 km x 222 km y 111 km x 111 km) y de los modelos CORDEX (55 km x 55 km). Las regiones son: las regiones de referencia subcontinentales del grupo I del AR6 del IPCC, las regiones continentales de grupo II del AR6 del IPCC, regiones monzónicas, grandes cuencas fluviales y pequeñas islas. Incluye información de 20 modelos regionales del proyecto CORDEX con resolución de 55 km. Estos se agrupan en las regiones de referencia.
Períodos o cortes	Promedio de los siguientes periodos: 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100. Anomalías con respecto de cinco periodos base: 1850-1900, 1961-1990, 1981-2010, 1986-2005 y 1995-2014.
Temporalidad	Anual, mensual, temporadas.
Área cubierta	Superficie terrestre y oceánica global.
Accesibilidad	Visor de acceso libre con descarga de mapas y gráficos formato PNG. Análisis de la información por regiones. La licencia indica que el usuario es libre de compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato, así como adaptar el material para cualquier fin. Cuenta con un repositorio en GitHub.
Consistencia de la información	La información no hace reducción de escala, sino que agrupa los datos de las salidas globales en grandes regiones. Incluye información gráfica y de datos del percentil de los modelos.
Página web	<a href="https://interactive-atlas.ipcc.ch/">https://interactive-atlas.ipcc.ch/</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de M. Iturbide y otros, Repository supporting the implementation of FAIR principles in the IPCC-WG1 Atlas, Zenodo, 2021 DOI:10.5281/zenodo.3691645 [en línea] <https://github.com/IPCC-WG1/Atlas>; J. M. Gutiérrez y otros, *Atlas. Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, V. Masson-Delmotte y otros (eds.), Cambridge University Press, 2021 [en línea] <http://interactive-atlas.ipcc.ch/>.

## 2. Portal de conocimiento del Banco Mundial (CCKP)

El portal de conocimiento sobre el cambio climático (CCKP<sup>100</sup>) es el centro de información, datos y herramientas relacionados con el clima para el Grupo del Banco Mundial. Su objetivo es mejorar la comprensión de nuestro clima en diferentes niveles de detalle. Brinda a los profesionales del desarrollo recursos para explorar, evaluar, sintetizar y aprender sobre escenarios climáticos futuros, riesgos proyectados y vulnerabilidades relacionadas con el clima.

<sup>100</sup> Climate Change Knowledge Portal.

Los datos presentados en el CCKP muestran contextos históricos (con las bases de datos del CRU y ERA5; véase el capítulo III), climatologías, resultados de escenarios de cambio climático del CMIP5 y CMIP6 con anomalías, tendencias, variabilidad interanual e interestacional a través de visualizaciones interactivas. Se proporciona orientación adicional acerca de las incertidumbres asociadas de los resultados del modelo climático (Banco Mundial, 2022). En el cuadro 42 se mencionan las características de este portal.

**Cuadro 42**  
**Características de la base de datos de escenarios de cambio climático del CCKP**

Características	Descripción
Institución(es) a cargo	Grupo del Banco Mundial.
Escenarios	Escenarios RCPs del CMIP5, RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5. Escenarios MIPs (SSPs-RCPs) del CMIP6, SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5.
Modelos	35 modelos del CMIP5. 31 modelos del CMIP6.
Variables	Temperatura media, mínima y máxima (°C). Precipitación (mm). 23 indicadores climáticos derivados de los valores de la temperatura y precipitación. Temperatura media, mínima y máxima (°C). Precipitación (mm). 13 indicadores climáticos derivados de los valores de la temperatura y precipitación.
Resolución	Se produjo una cuadrícula común de los modelos del CMIP5 y CMIP6 de 1° x 1° (111 km x 111 km aproximadamente) usando interpolación bilineal. Estas cuadrículas son agrupadas a nivel nacional y al primer nivel subnacional para presentar los resultados.
Períodos o cortes	Promedio de los siguientes períodos: 2020-2039, 2040-2059, 2060-2079 y 2080-2099. Anomalías respecto a los siguientes períodos base: 1986-2005 para los escenarios RCP del CMIP5 y 1995-2014 para los escenarios SSP-RCP del CMIP6.
Temporalidad	Anual, mensual.
Área cubierta	Superficie terrestre global.
Accesibilidad	Visor de acceso libre con descarga de mapas y gráficos formato PNG y de datos en formato Excel. Análisis de la información por país y su primer nivel subnacional. En el descarga de responsabilidades se indica que la información se proporciona solo con fines informativos, y no constituye un asesoramiento o servicio legal o científico. Cualquier uso de esta o confianza en esta es a discreción y responsabilidad única e independiente del usuario.
Consistencia de la información	La información no hace reducción de escala, sino que agrupa los datos de las salidas globales por país y nivel subnacional. Incluye información gráfica y de datos del percentil de los modelos y perfiles de los países.
Página web	<a href="https://climateknowledgeportal.worldbank.org/">https://climateknowledgeportal.worldbank.org/</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Banco Mundial, Climate Change Knowledge Portal (CCKP), 2022 [sitio web] <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>; *User Manual. Climate Change Knowledge Portal (CCKP)*, 2021 [en línea] [https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-09/CCKP\\_User\\_Manual\\_September\\_2021.pdf](https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-09/CCKP_User_Manual_September_2021.pdf); y *Metadata. Climate Change Knowledge Portal (CCKP)*, 2021 [en línea] [https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-10/CCKP\\_Metadata\\_October%202021.pdf](https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-10/CCKP_Metadata_October%202021.pdf).

### 3. Worldclim

La plataforma de Worldclim presenta, además de una climatología histórica de referencia de muy alta resolución (véase el capítulo III), escenarios de cambio climático. Los autores de Worldclim usaron la misma metodología de *downscaling* de las climatologías históricas (1960-1990 y 1970-2000) para los modelos del CMIP5 y CMIP6 para los cuatro escenarios RCP y cuatro modelos MIP (SSP-RCP). En el cuadro 43 se resume la información disponible en esta plataforma.

**Cuadro 43**  
**Características de la base de datos de escenarios de cambio climático de Worldclim**

Características	Descripción	
Institución(es) a cargo	La versión de WorldClim 2.1 fue desarrollada por los investigadores Robert J. Hijmans y Stephen E. Ficks, con la subvención del Consorcio de Sistemas Geoespaciales y Agrícolas de Feed The Future-Sustainable Intensification Innovation Lab.	
Escenarios	Escenarios RCPs del CMIP5, RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5.	Escenarios MIPs (SSPs-RCPs) del CMIP6, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5.
Modelos	19 modelos del CMIP5.	25 modelos del CMIP6.
Variables	Temperatura mínima y máxima (°C). Precipitación (mm). 19 variables bioclimáticas derivadas de los valores de la temperatura y precipitación mensual.	Temperatura mínima y máxima (°C). Precipitación (mm). 19 variables bioclimáticas derivadas de los valores de la temperatura y precipitación mensual.
Resolución	10 minutos de arco (aproximadamente 18,5 km x 18,5 km). 5 minutos de arco (aproximadamente 9,3 km x 9,3 km). 2,5 minutos de arco (aproximadamente 4,6 km x 4,6 km). 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km x 1 km).	10 minutos de arco (aproximadamente 18,5 km x 18,5 km). 5 minutos de arco (aproximadamente 9,3 km x 9,3 km). 2,5 minutos de arco (aproximadamente 4,6 km x 4,6 km). 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km x 1 km).
Períodos o cortes	Cortes (promedio de un período): 2050 (2041-2060) y 2070 (2061-2080).	Promedio de los períodos: 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.
Temporalidad	Mensual. Las variables bioclimáticas son datos anuales, estacionales y extremos mensuales.	Mensual. Las variables bioclimáticas son datos anuales, estacionales y extremos mensuales.
Área cubierta	Superficie terrestre global.	
Accesibilidad	Archivos ráster para descarga. Esta fuente es de datos abiertos.	Archivos ráster para descarga. Esta fuente es de datos abiertos, tomando en cuenta los términos de uso del CMIP6.
Consistencia de la información	La reducción de escala y la calibración (corrección de sesgo) se realizaron con Worldclim 1.4 (véase el capítulo II) como clima de referencia.	La reducción de escala y la calibración (corrección de sesgo) se realizaron con Worldclim 2.1 (véase el capítulo II) como clima de referencia.
Página web	<a href="https://www.worldclim.org/data/v1.4/cmip5.html">https://www.worldclim.org/data/v1.4/cmip5.html</a>	<a href="https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6climate.html">https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6climate.html</a> <a href="https://pcmdi.llnl.gov/CMIP6/TermsOfUse/TermsOfUse6-1.html">https://pcmdi.llnl.gov/CMIP6/TermsOfUse/TermsOfUse6-1.html</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de S. E. Fick y R. J. Hijmans, "WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas", *International Journal of Climatology*, vol. 37, N° 12, 2017 [en línea] <https://doi.org/10.1002/joc.5086>; R. J. Hijmans y otros, "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas", *International Journal of Climatology*, vol. 25, 2005 [en línea] [https://bio.research.ucsc.edu/~barrylab/classes/climate\\_change/HijmansIJC2005.pdf](https://bio.research.ucsc.edu/~barrylab/classes/climate_change/HijmansIJC2005.pdf).

La fuente de Worldclim tiene como ventaja que los modelos se redujeron a muy alta resolución, hasta 1 km x 1 km para los escenarios RCPs y los SSP-RCP. Para los escenarios RCPs, se cuentan con 19 modelos, y para los escenarios SSP-RCP con 25 modelos; por lo tanto, se tiene que revisar si son modelos que mejor simulan el clima en la región de Centroamérica y el Caribe. Por otro lado, los escenarios del SSP-RCP fueron elaborados para dos períodos más con respecto del escenario RCP, lo que les da una ventaja.

#### 4. CCAFS-Climate

El Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR<sup>101</sup>) y el programa de investigación en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS<sup>102</sup>) crearon en 2014 el portal CCAFS-Climate tomando los datos de los escenarios del tercer y cuarto informe de evaluación del IPCC (TAR y AR4<sup>103 104</sup>). Estos se reprocesaron con un algoritmo de interpolación spline de las anomalías con base en los datos de Worldclim. A partir de esa fecha, han agregado los escenarios del CMIP5 y CMIP6 para un grupo de modelos y diferentes cortes futuros. El objetivo del portal es el uso de este para la actividad agrícola, y se han identificado otros usos como en el sector salud (Navarro-Racines y otros, 2020).

**Cuadro 44**  
**Características de la base de datos de escenarios de cambio climático de CCAFS-Climate**

Características	Descripción	
Institución(es) a cargo	CGIAR a través de su programa de Investigación CCAFS.	
Escenarios	Escenarios RCPs del CMIP5, RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5.	Escenarios MIPs (SSPs-RCPs) del CMIP6, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5.
Modelos	35 modelos del CMIP5.	De 17 a 21 modelos del CMIP6.
Variables	Temperatura mínima y máxima (°C). Precipitación (mm). 19 variables bioclimáticas derivadas de los valores de la temperatura y precipitación mensual.	Temperatura mínima y máxima (°C). Precipitación (mm). 19 variables bioclimáticas derivadas de los valores de la temperatura y precipitación mensual.
Resolución	10 minutos de arco (aproximadamente 18,5 km x 18,5 km). 5 minutos de arco (aproximadamente 9,3 km x 9,3 km). 2,5 minutos de arco (aproximadamente 4,6 km x 4,6 km). 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km x 1 km).	10 minutos de arco (aproximadamente 18,5 km x 18,5 km). 5 minutos de arco (aproximadamente 9,3 km x 9,3 km). 2,5 minutos de arco (aproximadamente 4,6 km x 4,6 km). 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km x 1 km).
Periodos o cortes	Cortes (promedio de un período): 2030 (2020-2049), 2050 (2040-2069), 2070 (2060-2089) y 2080 (2070-2099).	Cortes (promedio de los períodos): 2030 (2021-2040), 2050 (2041-2060), 2070 (2061-2080) y 2090 (2081-2100).
Temporalidad	Mensual. Las variables bioclimáticas son datos anuales, estacionales y extremos mensuales.	Mensual. Las variables bioclimáticas son datos anuales, estacionales y extremos mensuales.
Área cubierta	Superficie terrestre global.	Superficie terrestre global.
Accesibilidad	Archivos ráster para descarga. Esta fuente es de datos abiertos.	Archivos ráster para descarga. Esta fuente es de datos abiertos, tomando en cuenta los términos de uso del CMIP6.
Consistencia de la información	Los autores aplicaron el método delta (corrección de sesgo simple) a los modelos del CMIP5 y del CMIP6 en cada uno de los escenarios. Se enfocaron en proporcionar datos para las condiciones climáticas medias de períodos de 20 (CMIP6) y 30 años (CMIP5). El método corrige el clima medio (o el sesgo de algunas regiones) modelado a partir de modelos climáticos globales; esto lo hace utilizando como períodos de referencia los períodos históricos generados por Worldclim que tienen una alta resolución y, de este modo, reduce la escala de los MCG.	
Página web	<a href="http://www.ccafs-climate.org/data_spatial_downscaling/">http://www.ccafs-climate.org/data_spatial_downscaling/</a>	

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de C. Navarro-Racines y otros, "High-resolution and bias-corrected CMIP5 projections for climate change impact assessments", *Scientific Data*, vol. 7, art. 7, 2020 [en línea] <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0343-8>; Research Programme on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), "Spatial Downscaling Data", GCM Downscaled Data Portal, 2014 [en línea] [http://www.ccafs-climate.org/data\\_spatial\\_downscaling/](http://www.ccafs-climate.org/data_spatial_downscaling/).

<sup>101</sup> Consultative Group on International Agricultural Research.

<sup>102</sup> Climate Change, Agriculture and Food Security.

<sup>103</sup> Third Assessment Report.

<sup>104</sup> Fourth Assessment Report.

De acuerdo con los autores de CCAFS-Climate, los datos de este portal están destinados a evaluar los impactos de los cambios en el estado climático medio. Para aplicaciones relacionadas con cambios en las características climáticas, eventos extremos o variabilidad interanual, se recomienda encontrar otro conjunto de datos o métodos de corrección de sesgos que aborden dichos aspectos. También advierten que sus supuestos pueden generar incertidumbres, por lo que sugieren hacer un análisis de incertidumbre para determinar si los datos cumplen con los requisitos del usuario. Indican que los datos deben entenderse como proyecciones futuras de alta resolución y con corrección de sesgos, lo que las hace de utilidad para trabajar modelos biofísicos y sistemas agrícolas (Navarro-Racines y otros, 2020).

Entre los documentos recientes de esta base de datos de escenarios de cambio climático está el “Análisis espacial de datos históricos y escenarios de cambio climático en México, Centroamérica, Cuba, Haití y la República Dominicana”, en el que se asignaron valores de temperatura y precipitación en el ámbito municipal con base en los datos de CCAFS-Climate, con resolución de 1 km x 1 km. Este ejercicio se realizó con la capa *shape* de la división municipal de la región y cada capa de los escenarios de cambio climático por corte y mes, cuyo valor representativo es el promedio de los valores de los píxeles que se encuentran en cada municipio (CEPAL/CAC-SICA, 2020). Este proceso se hizo también para los niveles nacionales y la primera división administrativa de los países, que fueron colocados en el portal de CEPALSTAT y representados en su geoportal para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 por mes y los mismos cortes de CCAFS-Climate. El propósito es que los distintos niveles administrativos cuenten con información para los análisis de impacto y planes de adaptación y se diferencien los cambios en pequeñas áreas dentro de los países. Es importante recordar que la construcción de la climatología histórica de Worldclim, con la que fue reducida la escala en CCAFS Climate, fue interpolada usando una capa de 1 km de elevación de la NASA, por lo que toma en cuenta la orografía y la versión 2 (1970-2000), que incluye datos satelitales.

## 5. Proyecto INCENTIVA

El Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP), a través de la Iniciativa Centroamericana para una Inversión con Valor Agregado (INCENTIVA), desarrolló un geoportal en el que se muestran los escenarios de cambio climático del CMIP6 en una muy alta resolución, que fueron generados por investigadores del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), perteneciente a la Universidad de Costa Rica, para uso del proyecto INCENTIVA. Los escenarios tienen el objetivo de advertir los factores que podrían condicionar la entrega de bienes y servicios a la comunidad que son producidos y proporcionados por los proyectos de inversión tanto en la fase de preinversión como en la de operación.

En consultas por correo con Iván Cerda, coordinador técnico del proyecto INCENTIVA, él señaló que la alta resolución hace posible conocer a una escala espacial útil y funcional el área de estudio del proyecto de inversión pública que se desarrolle. Aclaró que la modelación de los escenarios de cambio climático por sí sola no explica los efectos posibles del cambio climático. Indicó que será clave la vinculación a la vulnerabilidad de los elementos expuestos, tales como personas, ecosistemas e infraestructura, y relacionarlos con la ocurrencia de amenazas de distintos orígenes.

En una reunión virtual<sup>105</sup>, personal del ICAP refirió que los escenarios fueron entregados en mayo de 2022 y que la plataforma fue lanzada en junio del mismo año en un seminario de alto nivel. Uno de los temas que se trataron fue la selección del período 2020-2030, que fue considerado para trabajar en los Objetivos de Desarrollo Sostenible a 2030. La información se presentará al público de forma anual, y, mediante una solicitud, se podrán gestionar los datos mensuales. Se aclaró que la plataforma tendrá la posibilidad de interconexión con quien lo solicite, ya que es un

<sup>105</sup> La reunión se llevó a cabo el 28 de junio de 2022. Por parte del ICAP estuvieron Iván Cerda, Ramón Rosales y Carlos Burgos; por parte de la CEPAL, Jaime Olivares, Santa Paola Centeno y el asesor climático del proyecto RIDASICC, Edwin Castellanos.

bien público regional. El ICAP tiene una unidad de gestión de riesgos y cambio climático, entre cuyas prioridades está el desarrollo de capacidades en torno a estos temas desde un punto de vista conceptual y práctico. Por último, aunque el ICAP no tiene un plan para la incorporación de nuevos indicadores, no se descarta que en un futuro los genere con la información que ya se tiene. En el cuadro 45 se resumen las características de los escenarios para INCENTIVA proporcionadas por el ICAP en las consultas.

**Cuadro 45**  
**Características de los escenarios de cambio climático para la región del SICA del geoportal de INCENTIVA**

Características	Descripción
Institución(es) a cargo	Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) de la Universidad de Costa Rica (UCR); Hugo Hidalgo, Eric Alfaro, Paula Pérez-Briceño, Blanca Calderón Solera, para el proyecto INCENTIVA del Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP).
Escenarios	Escenarios SSP-RCP del CMIP6: SSP5-8.5 (pesimista), SSP2-4.5 (intermedio) y SSP1-2.6 (optimista).
Modelos	8 modelos. La elección se basó en los que mejor reproducen la climatología regional según el artículo de Almazroui y otros (2021).
Indicadores/variables	Cambios de la temperatura media (°C) y de la precipitación (en porcentajes), variación percentil 10 de la precipitación (mm/año) y del percentil 90 de la precipitación (mm/año), y cambio en el índice de aridez.
Escala o resolución	1 km x 1 km
Períodos o cortes	Período histórico: 1979-2005, cuya fuente es ERA5 y climatologías proyectadas para tres períodos: 2020-2030, 2040-2060 y 2079-2099.
Temporalidad	Anual.
Área cubierta	Países del SICA. Por rejilla.
Accesibilidad	Es un visor al que se puede acceder desde el geoportal de INCENTIVA.
Consistencia	De cada uno de los modelos seleccionados se identificaron y corrigieron los sesgos usando la información de ERA5. Las escalas se ajustaron de acuerdo con Navarro-Racines y otros (2020), quienes utilizaron la misma metodología de reducción de escala de Worldclim y CCAFS-Climate. En los mapas se presenta el promedio de los modelos.
Página web	<a href="https://icapincentiva.org/web2/incentiva/escenarioscambioclimatico/">https://icapincentiva.org/web2/incentiva/escenarioscambioclimatico/</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP), "Escenarios de cambio climático", *INCENTIVA (Iniciativa Centroamericana para una Inversión con Valor Agregado)*, 2022 [en línea] <https://icapincentiva.org/web2/incentiva/escenarioscambioclimatico/>.

## 6. Visor de Escenarios de Cambio Climático de Centroamérica de CRRH

El visor de Escenarios de Cambio Climático fue desarrollado en el marco del proyecto "Generación de escenarios regionalizados de cambio climático en Centroamérica" del programa Euroclima+, gestionado por la Fundación Internacional y para Iberoamérica de Administración y Políticas Públicas (FIIAPP), con el apoyo de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). La Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET) coordinó la iniciativa para alojar el Visor de Escenarios de Cambio Climático de Centroamericana en el Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH) del SICA. Los componentes principales del proyecto fueron: i) la recuperación de datos; ii) la generación de escenarios regionalizados de cambio climático, con énfasis en la incertidumbre; iii) la implicación de los usuarios, y iv) resultados fácilmente accesibles. El Visor integra los resultados de la regionalización de proyecciones globales del AR5 del IPCC y modelos globales del clima procedentes del proyecto CMIP5, utilizando tres técnicas de regionalización de la iniciativa CORDEX y de AEMET (FIIAPP/AEMET, 2020).

En reuniones virtuales<sup>106</sup>, personal de la AEMET detalló que en la metodología de regionalización se usaron las bases de datos ERA5 y CHIRPS (véase el capítulo III), por lo que los resultados tienen la misma resolución que estas bases de reanálisis. Asimismo, informó sobre los siguientes pasos en el visor:

- Elaboración de escenarios con los nuevos escenarios y modelos del CMIP6 del IPCC.
- Generación de nuevos índices para el sector agrícola e hidrológico.
- Colaboración con otras iniciativas nacionales.
- Recuperación y uso de datos climáticos observados (validación de datos fiables).

En la realización de estas acciones se trabajará con los técnicos de los institutos meteorológicos de Centroamérica para incluir los métodos de reducción de escala. Se esperaba tener el cálculo de los escenarios estimados a finales de 2022 e incorporarlos al visor en 2023. Un segundo paso que se está considerando es utilizar estaciones de observación disponibles en los distintos países. Se revisará que la regionalización esté disponible en CORDEX; esto será lo que se incluya junto a los modelos de regionalización estadística que se están trabajando con los institutos de meteorología.

**Cuadro 46**  
**Características del visor de escenarios de cambio climático de Centroamérica del CRRH**

Características	Descripción
Institución(es) a cargo	AEMET, en coordinación con las instituciones meteorológicas nacionales de la región: INSIVUMEH (Guatemala), IMN (Costa Rica), COPECO-CENAOS (Honduras), SNET (El Salvador), INETER (Nicaragua) y ETESA (Panamá).
Escenarios	Escenarios: RCPs del CMIP5: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5.
Modelos	11 modelos de la iniciativa Experimento Regional Coordinado de Reducción de Escala Climática (CORDEX <sup>107</sup> ) con regionalización dinámica. 16 modelos con proyecciones regionalizadas estadísticamente por el método de regresión desarrollado por AEMET. 17 modelos con proyecciones regionalizadas estadísticamente por el método de análogos desarrollado por AEMET. En el visor se puede seleccionar un solo modelo o bien el promedio de modelos de cada uno de los métodos.
Indicadores/ variables	El visor aloja 37 variables climáticas e índices derivados definidos en talleres con usuarios. Para temperatura máxima y mínima y precipitación se tienen los valores y las anomalías con respecto del período base de 1971 a 2000 (período simulado por el modelo).
Escala o resolución	Aproximadamente 50 km x 50 km para los modelos con técnicas de regionalización dinámica. 0,25° x 0,25° (aproximadamente 27,8 km x 27,8 km) para los modelos con técnicas de regionalización estadística para temperaturas. 0,05° x 0,05° (aproximadamente 5,6 km x 5,6 km) para los modelos con técnicas de regionalización estadística para precipitación.
Períodos o cortes	En mapas, período histórico: 1970-2000. Climatologías proyectadas para tres períodos: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100. En gráficos: serie anual a 2100.
Temporalidad	Anual, promedio por períodos, mensual, diarios (solicitud por correo).

<sup>106</sup> Las reuniones se llevaron a cabo el 25 de mayo y el 16 de junio de 2022, con la participación de Jorge Tamayo, Esteban Rodríguez y Alfonso Hernanz, de AEMET; Sara Covaleda, de FIIAPP; Edwin Castellanos, Luz Gradilla, Yolanda Castelán, consultores del proyecto RIDASICC; Julie Lennox, José Manuel Iraheta, Jaime Olivares y Santa Paola Centeno, de la CEPAL.

<sup>107</sup> CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) es una iniciativa impulsada por el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC) que busca promover y coordinar la ciencia y aplicación del downscaling regional del clima a través de asociaciones globales. Tiene como objetivos: a) comprender mejor los fenómenos climáticos regionales/ locales relevantes, su variabilidad y cambios, mediante la reducción de escala; b) evaluar y mejorar los modelos y técnicas de reducción de escala del clima regional; c) producir conjuntos coordinados de proyecciones regionales reducidas en todo el mundo, y d) fomentar la comunicación y el intercambio de conocimiento con los usuarios de información climática (WCRP CORDEX, 2022b).

Características	Descripción
Área cubierta	Centroamérica (con excepción de Belice). Por país, por departamento y por polígono o región seleccionada.
Accesibilidad	El visor es de acceso libre y ofrece datos a escala local y regional, presentados en mapas y gráficos. Con capacidad para descargar datos brutos. El formato de los mapas es GeoTIFF. Se tiene que indicar el área de los datos diarios que se solicitan por correo.
Consistencia	Una anotación sobre la interpretación de los datos es considerar la representatividad del conjunto de datos en cada consulta aplicando un principio de cautela cuando se analicen áreas geográficas reducidas donde el número de estaciones o puntos de rejilla es reducido. De acuerdo con los datos en rejilla y la resolución que ofrece el visor, cualquier análisis a mayor resolución no es realista.
Página web	<a href="https://centroclima.org/escenarios-cambio-climatico/">https://centroclima.org/escenarios-cambio-climatico/</a>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Fundación Internacional y para Iberoamérica de Administración y Políticas Públicas (FIIAPP)/ Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), *Visor de escenarios de cambio climático sobre Centroamérica: manual de usuarios*, Programa EUROCLIMA+, 2020 [en línea] [https://adaptecca.es/sites/default/files/visor\\_centroamerica\\_manual\\_usuariov3.pdf](https://adaptecca.es/sites/default/files/visor_centroamerica_manual_usuariov3.pdf).

El visor también puede generar series temporales regionales (estacionales o anuales) para un área elegida por el usuario, al igual que define las estaciones indicando un mes inicial y lo que dura dicha estación. Al momento de interpretar los datos, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos: evaluar modelos globales, precaución al seleccionar áreas muy pequeñas (con características climáticas no representativas de su entorno), por lo que se debe corregir el sesgo, examinar y comparar toda la información contenida en el visor (FIIAPP/AEMET, 2020).

La AEMET ha puesto especial énfasis en el estudio y la cuantificación de las incertidumbres<sup>108</sup> asociadas a las proyecciones de cambio climático. En este sentido, hace algunas recomendaciones de uso: i) explorar incertidumbres (por ejemplo, análisis multimodelo, multidownscaling, multiescenarios emisión, etcétera), y ii) aunque los datos y las simulaciones son diarios, su uso debe ser climático. En consecuencia, sugiere aplicar “un principio de cautela cuando se analicen datos de series temporales, ya que los datos de proyecciones son orientativos en cuanto a tendencias, y su utilización no es comparable a la de las predicciones a corto y mediano plazo, que son representativas día a día”. Las series temporales de valores regionales proyectados año a año no deben entenderse como predicciones para cada año particular, sino que proporcionan una visión de la tendencia del indicador, así como de la incertidumbre asociada (rango de valores posibles para cada uno de los modelos). Cualquier análisis cuantitativo debe realizarse considerando el promedio temporal en un período mínimo de 30 años (FIIAPP/AEMET, 2020).

## C. Resumen y conclusiones de la oferta de escenarios de cambio climático

### I. Escenarios a nivel nacional

En Costa Rica se tiene la ventaja de que el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) es el responsable de la recopilación de la información climatológica y de la generación de los escenarios de cambio climático, ya que cuenta con la información histórica y con la capacidad para modelar los escenarios. En 2021, el IMN realizó las Proyecciones de Cambio Climático regionalizadas para Costa Rica (Escenarios RCP-2.6 y RCP-8.5). Los resultados se encuentran publicados, pero los datos no están colocados en alguna plataforma de internet. En la actualización de la NDC de Costa Rica (2020)

<sup>108</sup> AEMET indica que las incertidumbres de los escenarios de cambio climático son las sociedades futuras, los escenarios de forzamiento, los modelos climáticos, las técnicas de regionalización, los modelos de impacto y las respuestas de adaptación. El tema de incertidumbre se abordará más adelante.

se indica que este país cuenta con un nuevo ejercicio de escenarios climáticos regionalizados (los cuatro RCP), que se encuentran en el visor de escenarios de cambio climático de Centroamérica, por lo que se reconocen no solo como escenarios regionales, sino también nacionales. Asimismo, el IMN está participando en la actualización de los escenarios en el grupo del CRRH para el visor.

En El Salvador, los escenarios producidos en 2017 del CMIP5 (RCP) tienen la ventaja de que se basaron en una revisión de la información histórica con datos suficientes y confiables. Los escenarios fueron utilizados en la Tercera Comunicación Nacional, y contaron con el apoyo del CATHALAC. La limitante es que no hay disponibilidad de información pública en una base de datos o plataforma en internet. Para sus planes con los nuevos escenarios, la Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales informó al equipo de este documento que se encuentra trabajando con el visor de escenarios de cambio climático de Centroamérica del CRRH y que esos serán sus escenarios nacionales.

En Guatemala, las *Proyecciones de cambio climático en Guatemala –Reducción Dinámica– 2019* fueron hechas con los escenarios del CMIP5 (RCP); estas pueden ser solicitadas al INSIVUMEH. En la actualidad, en la página del INSIVUMEH solo se muestra una galería de mapas para cada corte, y los datos no están disponibles en internet. Entre los planes con los nuevos escenarios del CMIP6 (SSP-RCP), funcionarios del INSIVUMEH están trabajando con el visor de escenarios de cambio climático de Centroamérica del CRRH, y esperan, con las capacidades obtenidas, generar los escenarios nacionales evaluando los modelos que mejor representen el clima para el país.

En Honduras, los escenarios climáticos basados en el CMIP5 (RCP), creados en 2018 y reportados en la Tercera Comunicación Nacional, cuentan con una plataforma en internet llamada Agua de Honduras, en la que se ven los resultados de los escenarios por microcuenca, y contiene el ensamble de 18 MCG. En comparación con otras iniciativas en la región, este es un ejercicio en el que se ha documentado la metodología y los datos de forma más completa. La resolución para la línea base climática es de ~1 km. Esta plataforma fue desarrollada por parte del CIAT y MiAmbiente+. Honduras participa en la actualización del visor de escenarios de cambio climático de Centroamérica del CRRH.

En Nicaragua se tiene la ventaja de que el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) es responsable de la información meteorológica. Este elaboró el Atlas de Escenarios Climáticos de Nicaragua, cuyos resultados fueron publicados en la Tercera Comunicación Nacional. También hizo una actualización de sus escenarios con RCP8.5 para 2021-2100 con el período de referencia 1971-2015, y está realizando una validación de estos para 2021 y 2022. El INETER está participando en la actualización de los escenarios con el CRRH.

En Panamá, en 2023 el Ministerio de Ambiente (MiAmbiente) publicó en la Cuarta Comunicación Nacional los resultados de sus escenarios climáticos, En la actualización de sus escenarios del CMIP6 (SSP-RCP) utilizaron tres modelos con el SSP1-2.6 y el SSP5-8.5. La Dirección de Hidrometeorología de ETESA participaba en la actualización de escenarios del visor de cambio climático para Centroamérica del CRRH, y desde 2022 ha participado el Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá (IMHPA).

En la República Dominicana, en 2017 el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MMARN) publicó en la Tercera Comunicación Nacional los resultados de sus escenarios climáticos del CMIP5 (RCP4.5 y RCP8.5), que fueron modelados por el CATHALAC. La base de datos de los escenarios no está disponible en alguna plataforma en internet, pero los datos pueden ser solicitados.

## 2. Escenarios a nivel regional

- **Atlas Interactivo del IPCC.** Este es un visor con información global con posibilidades de interconexión y con un repositorio en GitHub en el que puede encontrarse la programación y las bibliotecas de información. Cuenta con los escenarios del CMIP5 y CMIP6 de una gran cantidad de modelos; sin embargo, estos se encuentran en salidas de resolución global de 111 km x 111 km y 222 km x 222 km. En el caso de la información del CMIP5, se muestran 20 modelos regionalizados del proyecto CORDEX. Otra característica es que tiene algunos indicadores bioclimáticos. El visor solo muestra los resultados por región. Por la baja resolución, no se considera una opción para los proyectos de inversión pública.
- **Portal de Conocimiento del Banco Mundial (CCKP).** Es un visor con información global que aloja información climática histórica de las bases del CRU y ERA5, así como de los escenarios de cambio climático del CMIP5 (RCP) y el CMIP6 (SSP-RCP), con un gran número de modelos globales en resolución de 111 km. Cuenta con un gran número de indicadores climáticos. La información y el análisis se muestran a nivel nacional y el primer nivel subnacional. El objetivo de este portal es informar, y no hace referencia a un uso práctico. Al igual que el portal interactivo del IPCC, no se considera una opción para los proyectos de inversión pública por su alta resolución.
- **Worldclim.** Es una fuente de descarga libre de mapas ráster. Ofrece datos con alta resolución de los escenarios del CMIP5 y CMIP6. El método de reducción de escala ha sido utilizado por otras fuentes. Sus climatologías base de 1960-1990 y 1970-2000 han sido validadas en diferentes estudios. La resolución de 1 km x 1 km da la posibilidad de diferenciar las características futuras del clima en localidades cercanas. Para los escenarios del AR5, solo cuenta con dos períodos futuros y una buena oferta de modelos. Además, se destaca que ya cuenta con las proyecciones de cuatro escenarios del AR6 para 19 modelos y cuatro períodos, incluyendo 2021-2040, lo que daría la posibilidad de trabajar con proyecciones actualizadas. Otra ventaja de este portal es que cuenta con un grupo de indicadores climáticos de utilidad para diversos análisis. La desventaja es que no es un portal con interconexión, lo que supone la necesidad de descargar los mapas, de gran tamaño, que se han subido en la plataforma SIG, lo que implica un servidor de buena capacidad.
- **CCAFS-Climate.** Este portal cuenta con escenarios de cambio climático de alta resolución con la misma metodología que Worldclim. Cuenta con los cuatro escenarios RCP y cuatro de los nuevos escenarios SSP-RCP para cuatro períodos futuros. Tiene un grupo de indicadores climáticos, además de temperatura y precipitación. Por otro lado, cuenta con un gran número de modelos, lo que da la posibilidad de encontrar los modelos mejor evaluados para la región. Esta base de datos fue usada por la CEPAL para generar datos para el primer y el segundo nivel subnacional (con el ensamble de tres modelos); los datos del primer nivel subnacional fueron subidos al portal de CEPALSTAT para descarga de la información con el objetivo de ofrecer datos de divisiones administrativas a los usuarios. Al igual que Worldclim, no es un portal con interconexión.
- **Proyecto INCENTIVA.** Este es un visor del proyecto Iniciativa Centroamericana para una Inversión con Valor Agregado de ICAP que cuenta con escenarios del CMIP6 (SSP-RCP) en una resolución de 1 km x 1 km para los países del SICA. Tiene una base científica de la elección de ocho modelos con la metodología de resolución de escala de CCAFS-Climate y Worldclim. En esta primera etapa, cuenta con la variación de la temperatura media y precipitación, así como dos percentiles de precipitación y el índice de aridez. Por el momento, el portal muestra la información anual, pero puede solicitarse la información mensual. Cuenta con la posibilidad de interconexión. El desarrollo de estos escenarios no tuvo la participación de los institutos meteorológicos o los ministerios de ambiente.

- Visor de Escenarios Climáticos de Centroamérica.** Este visor, alojado en el CRRH, tiene la ventaja de contener información de los escenarios futuros regionalizados para los países de Centroamérica (con excepción de Belice). Esta información es resultado de una colaboración directa y validada por las instituciones meteorológicas nacionales. Ofrece datos a escala local y regional; adicionalmente, la resolución de los datos es de alta a muy alta, ya que llegan hasta 5,6 km x 5,6 km para precipitación. Brinda información por país, departamento y polígono o región seleccionado. Cuenta con los escenarios del AR5 (RCP), y está en el proceso de actualización del visor con los escenarios del AR6 (SSP-RCP) con las instituciones meteorológicas nacionales que conforman el CRRH. El trabajo se ha hecho con el apoyo técnico de la AEMET. Además, cuenta con 16 modelos por el método de regresión y 17 con el método de análogos. Se recomienda usar estos escenarios como anomalías, pues los valores tienen el sesgo de la simulación que cada modelo hace del clima pasado y su proyección, por lo que también se recomienda tener una base histórica con observaciones o de reanálisis (como ERA5 o CHIRPS) para tener valores sin sesgo. Otra ventaja es que se tienen datos anuales, lo que permitiría al proyecto determinar los períodos futuros, y ofrece 37 indicadores climáticos. El visor es de acceso libre, y en consultas con algunas instituciones participantes y la AEMET, se puede solicitar el acceso al servidor en el que se halla la información por medio del CRRH.

**Cuadro 47**  
**Centroamérica y República Dominicana: oferta de datos de escenarios de cambio climático**

País/ Base de datos	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras
Institución	MINAE, IMN.	MARN, CATHALAC.	INSIVUMEH.	CIAT, MiAmbiente y PNUD.
Escenarios	RCP2.6 y RCP8.5	4 RCPs	4 RCPs	4 RCPs
Modelos	2	5	1	18 y 10 para el aumento de nivel del mar con RCP4.5 y RCP8.5
Variables	Precipitación, temperatura media, humedad relativa, radiación solar (irradiancia) y velocidad del viento.	Precipitación, temperatura media, máxima y mínima, humedad relativa, presión y dirección y velocidad del viento.	Precipitación, temperatura media (valores y anomalías).	Precipitación, temperatura media, máxima y mínima, otros (valores y anomalías).
Tipo de datos o resolución	De 25 km a 1 km	Sin información.	25 km	1 km, 4 km para nivel del mar.
Disponibilidad	No abiertos, solo reportes técnicos.	No abiertos, solo reportes técnicos.	No abiertos, solo reportes técnicos.	Datos abiertos.
Períodos	2010- 2039 2040-2069 2070-2099	2006-2099	2010-2039 2040-2069 2070-2099 Proyecciones intraanuales 2020-2029 y 2020-2024	2021-2050 2041-2070 2071-2100
Temporalidad/ frecuencia	Promedio de períodos por mes.	Promedio cambios porcentuales mensuales, anual.	Anual.	Anual, mensual, trimestral.
Cobertura	Nacional.	Nacional.	Nacional.	Nacional.

**Cuadro 47 (conclusión)**

País/ Base de datos	Nicaragua	Panamá	República Dominicana
Institución	INETER	MiAmbiente	MMARN y CATHALAC
Escenarios	RCP8.5	2 SSP	4 RCPs
Modelos	1	3	8
Variables	Precipitación, temperatura máxima y mínima.	Precipitación, temperatura máxima y mínima	Precipitación y temperatura.
Tipo de datos o resolución	5 km	Regiones hidroclimáticas	1 km
Disponibilidad	No abiertos, solo reportes técnicos.	No abiertos, solo reportes técnicos.	No abiertos, solo reportes técnicos.
Períodos	2021-2040 2041-2060 2061-2080 2081-2100	2021-2040 (con referencia al 2030); 2041-2060 (con referencia al 2050); 2061-2080 (con referencia al 2070).	2041-2060 (referido como 2050) y 2061-2080 (referido como 2070)
Temporalidad/ frecuencia	Promedio de los períodos.	Promedio de los períodos	Promedios de los períodos 2041-2060 y 2061-2080.
Cobertura	Nacional	Nacional	Nacional

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de las fuentes de este capítulo.

**Cuadro 48**  
**Fuentes internacionales con datos de escenarios de cambio climático**

País/ Base de datos	Atlas interactivo del IPCC		Portal del Conocimiento del Banco Mundial (CCKP)		Proyecto INCENTIVA
Institución	El Grupo I del AR6 del IPCC		El Grupo del Banco Mundial		ICAP y Centro de Investigaciones Geofísicas de la UCR
Escenarios	3 RCPs	4 SSPs-RCP	4 RCPs	5 SSPs-RCP	3 SSPs-RCP
Modelos	29 MCG y 20 CORDEX	34	35	31	8
Variables	Temperatura media, mínima y máxima, precipitación, otras		Temperatura media, mínima y máxima, precipitación, otras		Temperatura media y precipitación (anomalías) y otras
Tipo de datos o resolución	De 111 km a 222 km (MCG) y 55 km (CORDEX)	De 111 km a 222 km	111 km x 111 km	111 km x 111 km	1 km x 1 km
Disponibilidad	Datos abiertos		Datos abiertos		Datos abiertos
Cortes/ períodos	2021-2040 2041-2060 2081-2100	2021-2040 2041-2060 2081-2100	2020-2039 2040-2059 2060-2079 2080-2099	2020-2039 2040-2059 2060-2079 2080-2099	2020-2030 2040-2060 2079-2099
Temporalidad/ frecuencia	Promedio de períodos por mes y año		Promedio de períodos por mes y año		Promedio de los períodos de las variaciones anuales
Cobertura	Global		Global		Países SICA

**Cuadro 48 (conclusión)**

País/ Base de datos	Worldclim		CCAFS-Climate		Visor de escenarios climáticos para Centroamérica
Institución	Autores: Hijmans y Ficks		CGIAR-CCAFS		EUROCLIMA-CRRH-AEMET e Institutos Meteorológicos
Escenarios	4 RCPs	4 SSPs-RCP	4 RCPs	4 SSPs-RCP	4 RCPs
Modelos	19	25	35	21	44
VARIABLES	Temperatura media, mínima y máxima, precipitación, otras.		Temperatura media, mínima y máxima, precipitación, otras.		Temperatura máxima y mínima y precipitación (valores y anomalías) y otras.
Tipo de datos o resolución	De 18,5 km a 1 km	De 18,5 km a 1 km	De 18,5 km a 1 km	De 18,5 km a 1 km	De 5,6 km a 50 km
Disponibilidad	Datos abiertos		Datos abiertos		Datos abiertos
Cortes/ períodos	2050 (2041- 2060) 2070 (2061- 2080)	2021-2040 2041-2060 2061-2080 2081-2100	2030 (2020- 2049) 2050 (2040- 2069) 2070 (2060- 2089) 2080 (2070- 2099)	2030 (2021- 2040) 2050 (2041- 2060) 2070 (2061- 2080) 2090 (2081- 2100)	Series en gráficos a 2100 En mapas tres períodos: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100
Temporalidad/ frecuencia	Promedio de períodos por mes.		Promedio de períodos por mes.		Anual, promedio de períodos por mes, diarios (solicitud por correo).
Cobertura	Global		Global		Regional (Centroamérica)

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de las fuentes de este capítulo.

## D. Ensamblajes de modelos climáticos

Un conjunto de modelos muestra una visión más completa del cambio climático en los próximos años, a diferencia de trabajar solo con uno. Al incluir todas las simulaciones de los modelos disponibles se tendría una mejor estimación de la incertidumbre. Sin embargo, por razones prácticas (las limitaciones computacionales, la disponibilidad de datos y la compatibilidad), los investigadores normalmente optan por tomar un ensamble de un subconjunto de los modelos disponibles para ejercicios de reducción de escala o modelos climáticos regionales y para los análisis de impacto de cambio climático. La elección de los modelos que incluir en este ensamble de subconjunto no es trivial; requiere de una metodología con criterios específicos para asegurar lo mejor para la región y el uso particular y evitar una representación sesgada e incompleta del cambio climático (Parding y otros, 2020).

Parding y otros (2020) recomiendan documentar la selección de los modelos. En muchas ocasiones, esta selección no se realiza, lo que debilita la confianza de los resultados de los estudios. Hay diferentes formas de seleccionar el conjunto de modelos con los que se requiera trabajar; una de ellas está en función de la habilidad del conjunto para reproducir el clima pasado (Pierce y otros, 2009; Hidalgo y Alfaro, 2015) y el rango del cambio climático calculado en el futuro (Immerzeel, Pellicciotti y Bierkens, 2013; Warszawski y otros, 2014; McSweeney y otros, 2015). También se han identificado subconjuntos representativos de modelos climáticos basados en clúster de índices climáticos extremos (Molteni y otros, 2006; Cannon, 2015; Farjad y otros, 2019). Otras veces, el ensamble se selecciona por razones de disponibilidad.

De acuerdo con Parding y otros (2020), cuando es necesario seleccionar simulaciones de un conjunto grande de modelos de circulación general (MCG) (debido a limitaciones computacionales o datos no disponibles), los modelos deben elegirse como una compensación entre el buen desempeño en el pasado y sus simulaciones de cambio climático. Seleccionar solo los modelos con mejor desempeño del pasado limitaría la propagación del cambio climático proyectado. Estos autores elaboraron una herramienta interactiva GCMeval<sup>109</sup> para evaluar el desempeño del ensamble de modelos climáticos y tomar una decisión informada. Incluye los escenarios de cambio climático RCP4.5 y RCP8.5 del CMIP5 y el escenario SSP5-8.5 del CMIP6, analiza el desempeño de los MCG en las condiciones climáticas actuales y permite evaluar la dispersión de los cambios proyectados de temperatura y precipitación de un subconjunto de modelos en relación con el conjunto completo.

## I. Evaluación de modelos climáticos para la región del SICA

Los métodos de evaluación de los modelos climáticos se han centrado en calcular la capacidad de estos para reproducir las tendencias observadas que puedan incluir una contribución significativa o incluso dominante de la variabilidad no forzada (variabilidad natural), que, en general, no puede separarse de la respuesta forzada, como el efecto de las emisiones antropogénicas. Esto es especialmente cierto en escalas espaciales específicas por la influencia de fenómenos meteorológicos regionales (Duffy, Malone y Sheffield, 2014). Sin embargo, los modelos se van mejorando con cada generación, incluyendo la simulación histórica de los fenómenos meteorológicos en los ámbitos global y regional, lo que da mayor confianza en las proyecciones climáticas en cada reporte del IPCC (Flato y otros, 2013).

Hidalgo y Alfaro (2015) evaluaron 48 modelos del CMIP5 de acuerdo con la capacidad de estos para reproducir las características del clima de fines del siglo XX en Centroamérica. Los modelos se clasificaron según la media y desviación estándar de la precipitación, temperatura de la superficie y el fenómeno ENOS. Estos autores verificaron los modelos comparando simulaciones con observaciones y un conjunto de datos de reanálisis. El estudio se centró en la habilidad de los modelos del CMIP5 para reproducir las características climáticas básicas de Centroamérica. Se hicieron 107 simulaciones de 48 modelos para el período histórico de 1979 a 1999.

Almazroui y otros (2021) evaluaron los cambios proyectados de 31 modelos del CMIP6 (sin regionalizar) para tres períodos futuros (2021-2040, 2041-2060 y 2080-2099) con respecto del período de 1995 a 2014, con tres escenarios, el SSP1-2.6, el SSP2-4.5 y el SSP5-8.5, para la región que comprende los Estados Unidos, México, Centroamérica y el Caribe. En el estudio identificaron los nueve modelos con un sesgo relativamente pequeño en el período de referencia, es decir, los de mejor desempeño para simular el clima de referencia en la región (véase el cuadro 49). Compararon las proyecciones climáticas de este grupo de modelos con el total de modelos, y los resultados muestran que los escenarios de temperatura son similares para los dos grupos; pero, a la mitad del siglo XXI, la magnitud del cambio es mayor en los nueve modelos. Para el caso de precipitación, los cambios también son mayores en los nueve modelos en todos los escenarios y todos los períodos. En tanto, los cambios estacionales son similares en los dos grupos de modelos. Esto muestra que la selección de modelos puede ser relevante, aunque no implica que los modelos con mejor comportamiento en los períodos de referencia hagan la mejor simulación en el futuro.

<sup>109</sup> La herramienta realiza una clasificación de los MCG basada en dos regiones de interés definidas por los usuarios, la simulación histórica de la precipitación y temperatura para el período 1981-2010, así como en las estaciones (anual, invierno, primavera, verano y otoño), y se califica el sesgo, la correlación espacial, la desviación estándar espacial y el error cuadrático medio. A cada una de estas categorías, el usuario puede darle una ponderación que indica si es muy importante, importante y no considerado. Al mismo tiempo que la herramienta hace la clasificación del desempeño histórico del modelo se muestra un diagrama de dispersión que grafica los cambios medios proyectados anuales de la temperatura y precipitación para los períodos 2021-2050 y 2071-2100 con respecto de 1981-2010. Todas estas evaluaciones son sobre los modelos y sus corridas con resoluciones de aproximadamente 278 km x 278 km.

**Cuadro 49**

**Modelos del CMIP6 que mejor simulan el clima en los Estados Unidos, México, Centroamérica y el Caribe**

Nombre del modelo	Referencia
ACCESS-CM2	Bi y otro (2012)
AWI-CM-1-1MR	Semmler y otros (2020)
CAMS-CSM1-0	Rong y otros (2019)
EC-Earth3	Massonnet y otros (2020)
EC-Earth-Veg	Wyser y otros (2020)
GFDL-ESM4	Held y otros (2019)
MPI-ESM1-2-HR	Gutjahr y otros (2019)
NorESM2-MM	Seland y otros (2020)
UKESM1-0-LL	Sellar y otros (2019)

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de M.Almazroui y otros, "Projected Changes in Temperature and Precipitation Over the United States, Central America, and the Caribbean in CMIP6 GCMs", *Earth Syst Environ*, vol. 5, 2021 [en línea] <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00199-5>.

## 2. Análisis y evaluación de los modelos del visor de escenarios de cambio climático

Para el objetivo del proyecto RIDASICC, en el presente documento se da una recomendación que combine los siguientes elementos de análisis:

- La clasificación de Hidalgo y Alfaro (2015) que evalúa solo la región de Centroamérica;
- la disponibilidad de modelos regionales en el visor de escenarios de cambio climático para Centroamérica de Centro Clima;
- la herramienta GCMeval para evaluar la representación de las proyecciones de cambio climático de los modelos del visor en el total de modelos, y
- el análisis recomendado por Parding y otros (2020) en lo tocante al número de modelos y las condiciones que debe cumplir el ensamble.

En la sección 7 del apartado B del capítulo anterior se recomendó utilizar los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 del AR5, el SSP2-4.5 y el SSP5-8.5 del AR6. A continuación se procede al análisis del conjunto de modelos disponibles en el visor de escenarios de cambio climático de Centroamérica de CRRH que cuenta con tres métodos de reducción de escala, para cada uno de los cuales se tiene un conjunto grande de modelos, incluyendo el ensamble de ellos, y que hasta el momento tiene los escenarios del AR5.

El proyecto requiere la mejor resolución posible para los proyectos de inversión pública, debido a la localización específica de estos, por lo que es recomendable usar el método de regionalización estadística por el método de análogos. El visor tiene escenarios de cambio climático de temperatura con resolución de 27,8 km y de precipitación de 5,6 km, aproximadamente. Se descarta el método de regresión porque no comprende la variable de precipitación y los indicadores relacionados de esta. Por lo tanto, este análisis hace énfasis en el método de análogos del visor.

En el cuadro 50 se alistan los modelos disponibles en el visor y la posición que ocupa cada uno de ellos en la clasificación hecha por Hidalgo y Alfaro (2015) de acuerdo con la capacidad de simular el clima histórico. En el cuadro se incluyen los modelos de la regionalización dinámica (CORDEX) y estadística (análogos y regresión). El visor tiene modelos muy bien clasificados y otros que están en las últimas posiciones. Se cuenta con cinco modelos en las primeras 31 posiciones, de 107 con la regionalización de análogos (la clasificación comprende más de una corrida para un mismo modelo). Hay seis modelos regionalizados por análogos entre la posición 81 y 104. En total, el visor tiene 16 modelos (difieren en un modelo entre el escenario RCP4.5 y RCP8.5) para el grupo de modelos de análogos.

**Cuadro 50**  
**Clasificación de los modelos que se encuentran en el visor de escenarios de cambio climático del Centro Clima según la categorización de Hidalgo y Alfaro (2015)**

Método de reducción de escala	Modelo y corrida	Posición en la media de precipitación	Posición en la media de temperatura	Posición en desviación estándar de la precipitación	Posición en la desviación estándar de la temperatura	Posición en simulación del ENOS	Posición final
MA, MC	CNRM-CM5 (1)	2	14	26	36	9	4
MA, MR	CMCC-CMS (1)	7	21	1	66	27	9
MA, MC, MR	MPI-ESM-LR (1)	18	5	37	87	8	15
MA, MC, MR	MIROC5 (3)	15	35	12	86	61	29
MA, MR	Inmcm4 (1)	56	37	75	33	19	31
MA, MC, MR	MPI-ESM-MR (1)	62	6	63	88	20	40
MA, MR	MRI-CGCM3 (1)	37	41	51	41	94	51
MA, MR	CMCC-CM (1)	23	29	89	65	70	53
MC	HadGEM2-ES (2)	71	9	106	63	30	55
MR	GFDL-ESM2G (1)	49	90	31	84	28	56
MA, MR	ACCESS1-3 (1)	26	62	97	78	21	58
MC	NorESM1-M (1)	85	58	68	15	84	71
MA, MR	CMCC-CESM (1)	17	107	7	102	78	72
MA, MR	MIROC-ESM-CHEM (1)	76	104	62	85	10	79
MA, MC, MR	CanESM2 (1)	84	47	72	89	62	81
MA, MR	IPSL-CM5A-LR (2)	93	72	87	18	93	83
MA, MR	MIROC-ESM (1)	79	103	76	75	36	90
MA, MC, MR	IPSL-CM5A-MR (1)	101	78	90	42	85	98
MC	GFDL-ESM2M (1)	50	91	73	94	95	100
MA, MR	IPSL-CM5B-LR (1)	89	38	100	72	107	101
MA, MC, MR	CSIRO-Mk3-6-0 (3)	106	79	99	107	26	104

Fuente: Elaboración propia, sobre la base del visor de escenarios de cambio climático en Centroamérica y H. G. Hidalgo y E. J. Alfaro, "Skill of CMIP5 climate models in reproducing 20th century basic climate features in Central America", *International Journal of Climatology*, vol. 35, N° 12, 2015 [en línea] <http://dx.doi.org/10.1002/joc.4216>.

Nota: MC: Modelos CORDEX; MA: Modelos Análogos; MR: Modelos Regresión. Se hizo la comparación del mismo modelo y corrida de la herramienta GCMeval y la clasificación de Hidalgo y Alfaro (2015). El modelo CMCC-CESM no está habilitado en el visor de escenarios del Centro Clima para el RCP4.5 y no se encuentra disponible en la herramienta GCMeval.

Con la herramienta GCMeval<sup>110</sup> se seleccionaron y evaluaron los modelos que fueron regionalizados por el método de análogos del visor. Se obtuvo una clasificación<sup>111</sup> de 105 modelos para RCP4.5 y 77 para RCP8.5 (incluye mismos modelos con diferentes corridas) de su comportamiento respecto al clima pasado. Los resultados se muestran en el cuadro 51. Podemos observar que en ambos escenarios hay nueve modelos en las primeras 40 posiciones de la clasificación y coinciden en el orden con la clasificación de Hidalgo y Alfaro (2015).

**Cuadro 51**  
**Clasificación de los modelos (análogos) que se encuentran en el visor de escenarios climáticos del Centro Clima en la herramienta GCMeval**

Nombre del Modelo	Ranking (105 modelos) (CMIP5, RCP4.5)	Ranking (77 modelos) (CMIP5, RCP8.5)
MPI-ESM-LR.r3i1p1	1	2
CNRM-CM5.r1i1p1	10	9
MPI-ESM-MR.r1i1p1	14	16
MIROC5.r3i1p1	17	22
CMCC-CM.r1i1p1	18	15
CMCC-CMS.r1i1p1	20	17,5
MRI-CGCM3.r1i1p1	33	34
CanESM2.r3i1p1	35	36
ACCESS1.3.r1i1p1	36	39
MIROC-ESM-CHEM.r1i1p1	42	44
MIROC-ESM.r1i1p1	48	47
IPSL-CM5A-MR.r1i1p1	60	48
IPSL-CM5A-LR.r3i1p1	90	61
IPSL-CM5B-LR.r1i1p1	94	66
inmcm4.r1i1p1	95	67
CSIRO-Mk3_6_0.r3i1p1	96	72

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de GCMeval: A tool for climate model ensemble evaluation [en línea] <https://gcmeval.met.no/>.

En cuanto a la evaluación de los resultados del clima futuro, los conjuntos de modelos que se trabajaron con el método de análogos en el visor tienen una buena representación con respecto del total de modelos del CMIP5, con mejor representatividad en el escenario RCP8.5. El conjunto de modelos usados en el método análogos en el visor representa el 74% del rango total de los resultados de temperatura en RCP4.5 y 94% en RCP8.5 en el período 2021-2050, y respectivamente el 81% y el 97% en el período 2071-2100. Para precipitación en el primer período, los modelos seleccionados en el visor representan el 60% del total de resultados de todos los modelos en RCP4.5 y 100% en RCP8.5, y en el período más lejano la representación es del 71% y 96%, respectivamente.

En conclusión, el conjunto de modelos del visor de cambio climático elegidos para el método de análogos tiene modelos con muy buen desempeño en la simulación del clima pasado, otro grupo con desempeño regular y otros más bajo. En el desempeño de las proyecciones futuras de los escenarios de cambio climático, estos modelos tienen una muy buena representación con respecto del total de modelos. Esta representación es mayor para el período más lejano y el escenario RCP8.5. En este sentido, el visor de escenarios de cambio climático representa una muy buena opción de fuente de información.

<sup>110</sup> La herramienta GCMeval evalúa el desempeño de los modelos sin reducción de escala, e incluye a México, Centroamérica y el Caribe en una misma región.

<sup>111</sup> La clasificación es el resultado de elegir ponderaciones para los parámetros.



## VI. Conclusiones y recomendaciones

### A. Conclusiones

La evidencia científica disponible es contundente: el cambio climático está ocurriendo y se expresa en cambios de clima rápidos e intensos, sin precedentes en miles de años de historia reciente del planeta. Es indiscutible que estos cambios se deben principalmente a las actividades humanas, en especial a la quema de combustibles fósiles, lo que ha aumentado la temperatura, modificado los patrones de lluvia y ha hecho más frecuentes y severos los eventos climáticos extremos (olas de calor, lluvias intensas, sequías y ciclones tropicales). El aumento relativo del nivel del mar en los océanos de Centroamérica está contribuyendo al aumento de las inundaciones costeras en áreas bajas y al retroceso de las playas de arena. La aridez y la sequía agrícola y ecológica se están incrementando en la región, y se proyecta que aumentarán las condiciones meteorológicas propicias para incendios.

Todos estos impactos estarán presentes por décadas o, incluso, siglos. Por ello, es importante fortalecer las capacidades de las instituciones nacionales encargadas de la implementación de políticas, programas y proyectos públicos para afrontar los retos que presenta el cambio climático. Entre estas instituciones están las que forman parte de los Sistemas Nacionales de Inversión Pública, en los que es necesario incluir las variables climáticas en la identificación, la formulación y la evaluación de proyectos de inversión pública, a fin de buscar que las inversiones en infraestructura sean más adaptadas a estas condiciones climáticas cambiantes en la región.

En este documento técnico, producto del proyecto “Fortalecimiento de capacidades para la incorporación de la reducción del riesgo de desastres (RRD) y la adaptación sostenible e incluyente al cambio climático (ASICC) en la inversión pública en los países miembros del COSEFIN/SICA”, se presentó un resumen de la oferta de información climática, principalmente sobre temperatura y precipitación, para los países miembros del Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (COSEFIN), tanto histórica como de escenarios futuros de cambio climático. Esta información es clave para el formulador de proyectos de inversión, quien necesita contar con información del clima actual y futuro para el área de influencia del proyecto a diseñar, y, así, entender cómo las condiciones climáticas han afectado y pueden afectar los perfiles de consumo de los usuarios, los daños en la infraestructura o perturbaciones en la función de producción de esos activos fijos.

Para la información histórica, se tiene una buena oferta de información climática y meteorológica para la región del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), tanto nacional como internacional, con bases de datos mundiales. Sin embargo, la disponibilidad de los datos varía de país a país, y, en algunos casos, la información no es totalmente pública, aunque puede ser obtenida mediante una solicitud formal a la institución competente o la formalización de un convenio. En este sentido, será importante buscar que todos los países miembros del COSEFIN-SICA que cuentan con datos históricos puedan dar acceso a las instituciones de sus países para que tengan un uso más amplio. La información meteorológica nos permite construir climatologías de referencia para comparar los escenarios climáticos y entender cómo puede variar el clima en el futuro.

Los datos históricos de los países identificados son de estaciones meteorológicas, que, en algunos casos, pueden tener la limitante en la calidad de los registros y baja densidad de estaciones, además de no ser de uso libre. Los datos de las estaciones meteorológicas ofrecen solo información en el área donde miden el clima, y la poca densidad de estaciones puede resultar

en ausencia de información climática en el área del proyecto. Se encontró que la información de estaciones meteorológicas, en algunos casos, no está georreferenciada, y se requiere una revisión de la calidad de la información, pues hay estaciones que dejaron de generar registros y otras que tienen datos faltantes.

Para solucionar la falta de información georreferenciada en un formato en que se obtengan datos de temperatura y precipitación en cualquier área de los países miembros del COSEFIN, se recomienda los datos de ERA5 del proyecto Copernicus para temperatura y de CHIRPS para precipitación; ambas fuentes están basadas en observaciones de estaciones y satelitales e interpoladas a una resolución de 5,6 km x 5,6 km y 27,8 km x 27,8 km, respectivamente. Con ERA5 se tiene la ventaja que el SICA tiene un convenio de colaboración con Copernicus, cuenta con registros desde por hora hasta por mes y el acceso a sus capas de información es libre. Con CHIRPS la ventaja es que se basa en información de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA<sup>112</sup>) y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA<sup>113</sup>), ambas con convenios con el SICA; tal información es usada como referencia por los servicios meteorológicos de la región y es de acceso libre. Estas dos fuentes de información conectan con los escenarios de cambio climático que se recomiendan a continuación.

Para los escenarios de cambio climático, la revisión de la oferta se realizó con algunos criterios para dar una recomendación al proyecto RIDASICC. Se busca trabajar con bases de datos que tengan reconocimiento y aceptación de los institutos meteorológicos nacionales responsables de la información climática; el sistema de manejo de la información debe permitir actualizarse con información nueva; utilizar una escala de trabajo adecuada y con planes de reducirla en el futuro; con planes de la institución responsable de fortalecer sus capacidades técnicas para generar modelos y escenarios.

De acuerdo con estos criterios, se identificó la base de datos del visor de escenarios de cambio climático del Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH) colocado en el portal de Centro Clima (<https://centroclima.org/escenarios-cambio-climatico/>) como la fuente de información más apropiada para los fines del proyecto RIDASICC. Esta plataforma fue desarrollada a través del proyecto Euroclima, en el que la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET) trabajó con los institutos meteorológicos nacionales de la región para desarrollar un visor de escenarios y modelos climáticos con reducción de escala. Esta herramienta está basada en escenarios y modelos climáticos CMIP5<sup>114</sup>, y está en proceso de trabajar con todos los institutos meteorológicos del CRRH para hacer la actualización del CMIP6. Esta actualización debería estar lista para el año 2023.

Los métodos estadísticos para bajar de escala la información de cambio climático para Centroamérica logran generar modelos con una resolución de una rejilla de 27,8 km para la temperatura y 5,6 km para la precipitación. Esta resolución podría bajarse todavía más en la actualización prevista de esta plataforma, en especial si los países participantes logran producir mallas de datos más detallados con mayor número de estaciones meteorológicas o usando las bases de reanálisis que pueden mejorar su resolución como ERA5. Finalmente, los especialistas españoles de la AEMET se mostraron abiertos a colaborar con los técnicos del proyecto RIDASICC, ya que los reconocen como usuarios valiosos de la información generada y por generar.

En adición, cada país (de acuerdo con sus capacidades técnicas y presupuestarias) ha desarrollado diferentes productos relacionados con escenarios climáticos del CMIP5, y algunos países planean producir escenarios nacionales del CMIP6. Las capacidades de cada país son diferentes, y los productos que se han generado varían en cuanto a detalle, variables climáticas consideradas, escenarios, modelos y datos históricos utilizados. La aplicación de estos productos nacionales presentaría un reto para ser usados a nivel regional por la dificultad potencial de integrar bases

<sup>112</sup> National Aeronautics and Space Administration.

<sup>113</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration.

<sup>114</sup> Proyecto de Intercomparación de los Modelos Acoplados (CMIP)

de datos que resultan de diferentes metodologías. Es posible que cada país muestre preferencia por el uso de los datos generados para su propio país por encima de un sistema regional que puede ser percibido como menos apropiado para las necesidades nacionales.

Desarrollar escenarios climáticos futuros específicos para la región o un país en particular no es una tarea sencilla, y requiere de científicos con conocimientos especializados y acceso a capacidad computacional de alta velocidad y almacenamiento. Los países del SICA han empezado a desarrollar estas capacidades, en especial en colaboración con organismos regionales e internacionales. Esto es algo que deberá seguir promoviéndose tanto desde los gobiernos nacionales como a través del apoyo de organismos internacionales. Es urgente, en este sentido, fomentar la formación de especialistas en cada país que conozcan en profundidad las técnicas para el desarrollo y la aplicación de escenarios climáticos locales, especialmente porque el desarrollo de modelos climáticos y escenarios socioeconómicos está avanzando con gran rapidez en el mundo y se hace necesario bajar esos modelos y escenarios globales a una escala y contexto locales. Es importante que la región invierta en el fortalecimiento de capacidades técnicas para la generación de modelos y escenarios. Las universidades de la región son una fuente importante de personal con potencial de desarrollarse en estas temáticas.

Una vez escogida la plataforma más apropiada para proveer los datos de los escenarios, un punto importante de decisión es sobre el o los escenarios que deberán usarse en el proceso de formulación del proyecto en cuestión. Es fundamental no saturar con múltiples opciones a los usuarios de la plataforma, que normalmente no serán expertos en el tema y que podrían tener dificultad al escoger entre múltiples opciones de modelos y escenarios, lo que podría desalentar el uso de estos. Como se expuso en el capítulo IV, a nivel mundial se tienen disponibles cuatro escenarios de emisiones y cinco de desarrollo socioeconómico. Las plataformas internacionales descritas en el cuadro 58 incluyen los escenarios de emisiones RCP, y solo el visor de escenarios climáticos de Centroamérica no incluye las combinaciones de escenarios socioeconómicos SSP, hasta el momento.

En cuanto a la selección de escenarios de emisiones, puede ser funcional para el proyecto RIDASICC seleccionar el escenario intermedio, RCP4.5, y el extremo alto, RCP8.5, para el caso del CMIP5. Con escenarios socioeconómicos, se puede seguir un criterio similar con un escenario intermedio y uno extremo alto, por ejemplo, el SSP2-4.5 y el SSP5-8.5. La conclusión anterior se enuncia en virtud de que los escenarios más optimistas que logran regular el calentamiento por debajo de 2 °C son poco probables a la fecha, por lo que, siguiendo el principio precautorio, se sugiere no incluirlos (véase el capítulo IV).

Es importante hacer notar que en el período más próximo, por ejemplo, el año 2030, todos los escenarios resultan en datos de temperatura y precipitación cercanos entre sí. Los escenarios no empiezan a diferenciarse de modo significativo sino hasta el año 2040. En este sentido, para un proyecto de infraestructura que necesite una proyección climática de corto plazo, de 10 a 15 años a futuro, no será crítico definir un escenario que usar, pero sí lo será para un proyecto que requiera una proyección futura de 20 o más años, como los planteados en el proyecto RIDASICC (véase el cuadro 6). Por esta razón, el proyecto usará los escenarios recomendados con énfasis para períodos que informen del clima en 30 y 50 años de acuerdo con la vida útil de la infraestructura.

Finalmente, los resultados de los escenarios climáticos y socioeconómicos a largo plazo deben interpretarse como tendencias y magnitudes relativas, no como predicciones ni como magnitudes exactas, por sus capas de análisis con incertidumbre y retos metodológicos.

## B. Recomendaciones

La recomendación para la elección de la fuente de información se fundamentó en las siguientes orientaciones generales:

- Trabajar con bases de datos que tengan reconocimiento y aceptación de los institutos meteorológicos nacionales responsables de la información climática, para que los datos tengan carácter oficial para los países socios.
- Dado que el proyecto RIDASICC es de carácter regional, las bases de datos climáticos que tengan carácter regional deberían tener preferencia.
- La fuente de información debe ser sostenible, ya que debe permitir la actualización con información nueva que se genere.
- La aplicación de la información climática para proyectos de inversión pública requiere una escala de trabajo adecuada. En la actualidad, recomendamos buscar escenarios con escala de rejillas de 5 km x 5 km a 27 km x 27 km. Hacia el futuro, sería útil bajar aún más la escala, rejillas de 1 km x 1 km a 5 km x 5 km, pero esto depende de invertir en el aumento de la densidad de estaciones meteorológicas y en la capacidad de procesamiento de los datos.

De acuerdo con la revisión de la oferta de escenarios de cambio climático para la región del SICA, y con base en consultas con expertos en escenarios y modelos climáticos<sup>115</sup>, se hacen las siguientes recomendaciones para la elección de la fuente de información de escenarios de cambio climático para ser integrada a la plataforma SIG del proyecto RIDASICC, y que han sido consultadas al Comité Técnico Regional<sup>116</sup> del Proyecto, de quien cuentan con el visto bueno:

- La base de datos/plataforma de Centro Clima del CRRH (<https://centroclima.org/escenarios-cambio-climatico/>) se considera la más apropiada para servir de base para el proyecto RIDASICC dadas las siguientes ventajas:
  - Se desarrolla por medio de un grupo técnico de los institutos meteorológicos nacionales de la región; tiene reconocimiento de las seis instituciones meteorológicas nacionales miembros del CRRH, que es instancia del SICA.
  - El proceso de análisis y generación de modelos y escenarios con reducción de escala es un sistema robusto en su base técnica y científica, generada con la participación de especialistas de dichas instituciones con la asesoría de la AEMET de España, que han sido muy cuidadosos en la revisión de las metodologías usadas.
  - Presenta 37 variables derivadas a partir de las variables básicas de temperatura y precipitación.
  - Cuenta con un plan de actualización de información con la nueva generación del AR6, con capacitación para técnicos nacionales, importante para ser fuente sostenible en el tiempo.
  - Cuenta con un programa de fortalecimiento de capacidades para diversas instituciones sectoriales.

<sup>115</sup> Se tuvo la "Reunión de consulta: Modelaje climático en apoyo a la formulación de proyectos de inversión pública" el 31 de mayo de 2022, con la participación de Hugo Hidalgo del Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica; Carlos Eduardo Navarro del Centro de Investigación de Agricultura Tropical; Tereza Cavazos del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada; Ernesto Rodríguez de la Agencia Estatal de Meteorología de España; Edwin Castellanos y Róger Vega, consultores del proyecto RIDASICC y Julie Lennox, Jaime Olivares, Santa Paola Centeno, José Manuel Iraheta y Mariana García de la CEPAL.

<sup>116</sup> El CTR se llevó a cabo en julio de 2022.

- Por otro lado, los datos históricos de las estaciones meteorológicas y escenarios de cambio climático generados nacionalmente podrán ser integrados a la plataforma SIG y al MIP nacionales mediante acuerdos entre las instituciones responsables de esta información y las instituciones responsables de los Sistemas Nacionales de Inversión Pública (SNIP).

Con el objetivo de acotar la amplia información de escenarios de cambio climático de Centro Clima del CRRH, se recomienda integrar al proyecto RIDASICC y utilizar los siguientes datos:

- Los escenarios a incluir en el sistema deben cubrir el rango de posibilidades futuras de emisiones, pero sin ser exhaustivo a fin de evitar una complejidad innecesaria. Se recomienda usar un escenario medio y uno alto de emisiones, por ejemplo, RCP4.5 y RCP8.5 (CMIP5) y SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (CMIP6).
- De los modelos disponibles en el Visor de Escenarios de Centro Clima se utilizará el promedio de análogos (16 modelos climáticos) para precipitación y temperatura y sus variables derivadas.
- La información futura deberá presentarse con períodos temporales que abarquen la vida útil de la infraestructura. Por ejemplo, para una infraestructura de vida útil de 30 años o más se deberían escoger los períodos 2041-2070 y 2071-2100.

Es necesaria una capacitación adecuada para entender la base conceptual del sistema y las limitaciones, especialmente en términos de incertidumbres. Esto debe ser parte del programa de capacitación de los/as usuarios/as. El tema de capacitación, tanto de técnicos como de oficiales de inversión, fue identificado por los representantes regionales del proyecto como uno de los más importantes para el éxito de la iniciativa.

En cuanto a la información del visor de escenarios de cambio climático del CRRH, esta es de acceso libre para el público en general, y se puede descargar la información de un área seleccionada. Sin embargo, se requieren las capas de información en formato ráster para ser incorporadas en las plataformas SIG nacionales en desarrollo con los socios nacionales en el marco del proyecto RIDASICC, lo cual requiere un acceso autorizado.

Con la finalidad de lograr la aplicación de esta valiosa información en los instrumentos del proyecto RIDASICC, se ha mantenido un proceso de consultas con el CRRH y sus instituciones miembros. Al momento de cerrar esta publicación, se ha solicitado el visto bueno del Consejo Director del CRRH a nivel del SICA, y a nivel nacional se han presentado solicitudes de las instituciones encargadas de los SNIP a cada Instituto Meteorológico e Hidrológico. En tanto, para fines de pruebas técnicas de las herramientas y las plataformas y módulos en el pilotaje de proyectos durante el año 2023, se utilizará temporalmente información de otra plataforma internacional de acceso libre. Los datos históricos de las estaciones meteorológicas y escenarios de cambio climático generados nacionalmente podrán ser integrados a la plataforma SIG y al MIP nacionales mediante acuerdos entre las instituciones responsables de esta información y las instituciones responsables de los sistemas nacionales de inversión pública (SNIP).



## Glosario

**Adaptación al cambio climático.** Son los ajustes humanos sobre los sistemas ecológicos, sociales o económicos o los procesos políticos en respuesta a un estímulo climático real o esperado o a sus efectos o impactos (LEG, 2012).

**Aditivo.** Producto químico o mineral que modifica una o más propiedades de un material o mezcla de estas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú, 2022).

**Alabeo.** Curva de una pieza de madera, u otro material, en especial aquella que la deforma haciéndola perder su perfil plano y recto (*Diccionario del español de México*, 2022).

**Amenaza.** Se refiere a la probabilidad y/o intensidad esperada de condiciones climáticas adversas en cierto territorio (IPCC, 2018).

**Análisis de riesgo.** Es una metodología para evaluar las etapas de planeación, diseño, construcción y/o mantenimiento o conservación de un proyecto de infraestructura, a través de la cual se pueden identificar los riesgos potenciales que provocarían efectos que disminuirían la efectividad de un proyecto y generarían un efecto desfavorable de tipo económico o social. El análisis de riesgos permite identificar y clasificar los eventos según su gravedad e impacto y, a partir de ello, definir controles y acciones de seguimiento (Porres y otros, 2022).

**Análisis probabilístico de riesgo (APR).** Consiste en calcular estimadores de tendencia central y de dispersión del valor presente neto (VPN) (variable aleatoria) de un proyecto de inversión a través de su función de distribución de probabilidades (Contreras, 2009).

**Anomalía.** Es la desviación de una medición con respecto del promedio del período de referencia (OMM, 2017).

**Antropogéna(o).** Resultante de la actividad de los seres humanos o producto de esta (IPCC, 2018).

**Atmósfera.** Envoltura gaseosa que rodea la Tierra. La atmósfera seca está compuesta casi enteramente por nitrógeno (coeficiente de mezcla volumétrico: 78,1%) y oxígeno (coeficiente de mezcla volumétrico: 20,9%), más cierto número de gases traza como argón (coeficiente de mezcla volumétrico: 0,93%), helio y ciertos gases de efecto invernadero radiactivamente activos como dióxido de carbono (coeficiente de mezcla volumétrico: 0,035%) y ozono. Además, la atmósfera contiene vapor de agua, que es también un gas de efecto invernadero, en cantidades muy variables, aunque, por lo general, con un coeficiente de mezcla volumétrico de 1%. La atmósfera contiene también nubes y aerosoles (IPCC, 2013a).

**Atribución.** Es el proceso de evaluación de las contribuciones relativas de varios factores causales a un cambio o evento con una evaluación formal de la confianza (IPCC, 2014b).

**Azimuth.** Es el ángulo que forman el norte geográfico y la proyección vertical de un cuerpo celeste sobre el horizonte del observador situado a una determinada latitud. Se mide en grados desde el punto cardinal Norte en el sentido de las agujas del reloj (Este-Sur-Oeste-Norte), y su valor oscila entre 0° y 360° (Tiempo, 2023).

**Cambio climático.** Es el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables de acuerdo con la definición de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Naciones Unidas, 1992).

**Canal de impacto del cambio climático.** Es la forma en que el cambio climático afecta aspectos del medio ambiente y de la población, como los recursos hídricos, los bosques, la biodiversidad, la salud y vida humana, la actividad agrícola, la infraestructura pública y privada, los servicios públicos, sectores productivos, entre otros. Los impactos pueden ser directos e indirectos, y son representados por vías de impacto iniciando desde la amenaza y los impactos iniciales hasta los impactos finales. En los canales de impacto deben identificarse las amenazas del cambio climático y los fenómenos climáticos asociados; se identifican los elementos sometidos a estrés por las amenazas en el sector; se identifica la interdependencia entre la amenaza y el sector a analizar, y finalmente se evalúa el impacto (Mendoza, 2022).

**Canícula.** Es un fenómeno meteorológico que provoca una reducción de las precipitaciones durante la estación lluviosa, en julio y agosto (Rojas, Rodríguez y Hernández, 2020).

**Ciclo de vida de la infraestructura.** Son las etapas de vida de una infraestructura desde su preparación hasta el fin de su vida útil. El ciclo de vida de las infraestructuras puede definirse con rapidez por cuatro etapas: 1) generación de los materiales que serán utilizados en la infraestructura; 2) construcción de la infraestructura; 3) explotación de la infraestructura, y 4) final de la vida de la infraestructura (CEPAL/Cooperación Española, 2014).

**Ciclo de vida del proyecto de inversión.** Son las etapas de vida de un proyecto que constan de tres fases: preinversión, inversión y operación. En la fase de preinversión se tienen la etapa del desarrollo de la idea, perfil del proyecto, prefactibilidad y factibilidad. La fase de inversión consta del diseño y la ejecución (Ortegón y otros, 2015).

**Ciclo del agua.** (También conocido como ciclo hidrológico) Ciclo en virtud del cual el agua se evapora de los océanos y de la superficie de la tierra, es transportada sobre la Tierra por la circulación atmosférica en forma de vapor de agua, se condensa para formar nubes, se precipita en forma de lluvia o nieve sobre el océano y la tierra, donde puede ser interceptada por los árboles y la vegetación, genera escorrentía en la superficie terrestre, se infiltra en los suelos, recarga las aguas subterráneas, afluye a las corrientes fluviales y, en la etapa final, desemboca en los océanos, en los que se evapora nuevamente (IPCC, 2014b).

**Clima.** Es el estado promedio del tiempo meteorológico y es una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de sus valores medios y su variabilidad durante un período y un área determinados. El período de tiempo habitual es de 30 años. Las magnitudes son casi siempre variables de superficie como temperatura, precipitación o viento (IPCC, 2013a).

**CMIP (Proyecto de Intercomparación de los Modelos Acoplados).** Es un proyecto del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC) cuyo objetivo principal es comprender mejor los cambios climáticos pasados, presentes y futuros. Su objetivo secundario es contar con las salidas multimodelos disponibles públicamente en un formato estandarizado, a fin de fomentar la investigación y aplicación de esta información. Desde su creación, el CMIP ha tenido diferentes fases, cuyos grupos de modelos desarrollados en cada fase son utilizados en los reportes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC<sup>117</sup>). Los resultados de las simulaciones de la última fase, el CMIP6, fueron publicados en el Sexto Reporte de Evaluación del IPCC (Slingo, 2019; PMIC, 2022a; Eyring y otros, 2016).

**Condiciones propicias para incendios (fire weather).** Son las condiciones climáticas que conducen a incendios forestales, que afectan su ocurrencia y comportamiento posterior (NRCAN, 2022).

**Contenido calorífico de los océanos.** Es una medida de la acumulación de calor en el sistema Tierra almacenada en los océanos del mundo (en torno a un 90%). Esta acumulación es causada por un desequilibrio energético positivo. En consecuencia, esta medida es también un indicador crítico del cambio climático (OMM, 2022).

117 Intergovernmental Panel on Climate Change.

**El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).** Es una corriente de aguas cálidas que discurre periódicamente a lo largo de la costa de Ecuador y Perú, que altera la pesquería local. En la actualidad, designa un calentamiento del agua en toda la cuenca del Océano Pacífico tropical al este de la línea internacional de cambio de fecha. Este fenómeno oceánico está asociado a cierta fluctuación de un patrón global de presiones en la superficie tropical y subtropical que se denomina Oscilación del Sur. La escala de tiempo más habitual de este fenómeno atmósfera-oceano acoplado abarca entre dos y aproximadamente siete años (IPCC, 2014).

**Emisiones de GEI.** Se entiende como la liberación de gases de efecto invernadero o sus precursores en la atmósfera en un área y un período de tiempo especificados (Naciones Unidas, 1992).

**Escala.** Es una réplica de un objeto que conserva todas las características del original, solo que en menor tamaño. En este sentido, los mapas son representaciones reducidas de la superficie terrestre o de una parte de ésta. La escala puede ser numérica o gráfica (INEGI, 2023). El clima puede variar en escalas espaciales muy diversas. Las escalas espaciales abarcan desde extensiones locales (inferiores a 100.000 km<sup>2</sup>) hasta regionales (entre 100.000 y 10 millones de km<sup>2</sup>) o continentales (de 10 a 100 millones de km<sup>2</sup>) (IPCC, 2014).

**Escenario de cambio climático.** Es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual. Un escenario climático es la representación plausible y a menudo simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas internamente coherente definido de modo explícito para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropógeno, y que sirve a menudo de insumo para las simulaciones de los impactos (IPCC, 2013a).

**Escorrentía.** Parte de la precipitación que no se evapora ni es transpirada, sino que fluye a través del terreno o sobre la superficie de este y retorna a las masas de agua (IPCC, 2013a).

**Estríbo.** Apoyo extremo de un puente cuya finalidad principal es soportar la superestructura, transmitir las cargas al terreno y sostener el relleno de los accesos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú, 2022).

**Evapotranspiración terrestre.** Es el proceso por el cual el agua se transfiere de la tierra a la atmósfera, por el agua que sale del suelo (evaporación) y el agua que se pierde a través de las hojas y los tallos de las plantas (transpiración) (NASA, 2021).

**Evento climático extremo o fenómeno meteorológico extremo.** Es un fenómeno meteorológico raro (fuera de un umbral y cercano a los valores de los extremos del rango de los valores observados) en determinado lugar y época del año. Las características de un fenómeno meteorológico extremo pueden variar de un lugar a otro en sentido absoluto. Un comportamiento extremo del tiempo puede clasificarse como un fenómeno meteorológico extremo cuando persiste durante algún tiempo, en especial si sus valores promediados o totales son extremos (por ejemplo, alta temperatura, sequía o fuertes lluvias durante una temporada) (IPCC, 2013a).

**Gases de efecto invernadero.** Son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y reemiten radiación infrarroja (Naciones Unidas, 1992). El vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido de nitroso (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>) son los gases de efecto invernadero primarios de la atmósfera terrestre. La atmósfera contiene cierto número de gases de efecto invernadero enteramente antropógenos como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo (IPCC, 2018).

**Humedad atmosférica.** Es el vapor de agua disuelto en el aire del ambiente (Tejeda-Martínez y otros, 2018).

**Humedad específica.** Determina la relación entre la masa de vapor de agua y la masa total de aire húmedo (IPCC, 2013a).

**Humedad relativa.** Especifica la relación entre la presión de vapor del agua real y la presión de vapor de saturación del agua líquida o el hielo a la misma temperatura (IPCC, 2013a).

**Interoperabilidad.** Es la capacidad de las organizaciones de interactuar para alcanzar objetivos comunes que sean mutuamente beneficiosos y que hayan sido acordados previa y conjuntamente, recurriendo a la puesta en común de información y conocimientos entre las organizaciones, a través de los procesos institucionales a los que apoyan, mediante el intercambio de servicios, datos o documentos entre sus sistemas de TIC respectivos (CEPAL, 2023).

**IPCC.** Es el órgano internacional encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático. Fue establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) para facilitar a las instancias normativas las evaluaciones periódicas sobre la base científica del cambio climático, sus repercusiones y futuros riesgos, así como las opciones que existen para adaptarse a este y atenuar sus efectos (IPCC, 2013b).

**Modelo climático.** Es una representación numérica del sistema climático basado en propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, sus interacciones y procesos de retroalimentación (IPCC, 2013a).

**Modelos de circulación general.** Son modelos informáticos que resuelven las ecuaciones de la atmósfera y los océanos mediante el desglose de sus dominios en rejillas a cada una de las cuales se le asigna un valor promedio para propiedades como temperatura, humedad (de la atmósfera) y salinidad (de los océanos) (IPCC, 1997).

**Monzón.** En las regiones tropicales y subtropicales, es la inversión estacional de los vientos de superficie y de la precipitación asociada a ellos, por efecto de las diferencias entre el calentamiento de la masa terrestre a escala continental y el del océano adyacente. Las lluvias monzónicas caen principalmente sobre tierra firme, durante los veranos (IPCC, 2013a).

**Nivel freático del agua** (también conocido como capa freática, manto freático, napa freática, tabla de agua o simplemente freático). Superficie de la zona de saturación en un acuífero libre en la que la presión hidrostática es igual a la presión atmosférica (OMM, 2012a).

**Patrón intraanual del clima.** Comportamiento de las variables del clima dentro de un año, que puede ser medido por mes, bimestre o trimestre.

**Pentadal.** Que tiene un período de cinco años.

**Radiación solar.** Radiación electromagnética emitida por el Sol con un espectro electromagnético próximo al de un cuerpo negro con una temperatura de 5.770 K. La radiación es máxima en el espectro visible. Cuando se compara con la radiación terrestre, suele denominarse radiación de onda corta (IPCC, 2013a).

**Radiación terrestre.** Radiación emitida por la superficie de la Tierra, por la atmósfera y por las nubes. Se denomina también radiación infrarroja térmica o radiación de onda larga, y no debe confundirse con la radiación cuasi infrarroja del espectro solar. Por lo general, la radiación infrarroja abarca un intervalo característico de longitudes de onda (espectro) más largas que la del rojo en la parte visible del espectro. El espectro de la radiación terrestre es casi completamente distinto del de la radiación de onda corta o solar, debido a la diferencia de temperaturas entre el Sol y el sistema Tierra-atmósfera (IPCC, 2013a).

**Reanálisis.** Estimaciones de la temperatura atmosférica y el viento o de la temperatura oceanográfica y las corrientes y de otras magnitudes en el pasado, basadas en el procesamiento de datos meteorológicos u oceanográficos referentes a períodos anteriores mediante determinados modelos avanzados de predicción del tiempo o de la circulación oceánica con técnicas de asimilación de datos (IPCC, 2013a).

**Reducción de escala.** Método consistente en extraer información de escalas local a regional (de 10 a 100 km) de modelos o análisis de datos a mayor escala. Existen básicamente dos métodos: dinámico y empírico/estadístico. El método dinámico está basado en los resultados de modelos climáticos regionales, de modelos globales con resolución espacial variable o de modelos globales de alta resolución (IPCC, 2013a).

**Resolución.** En los modelos climáticos, este término hace referencia a la distancia física (metros o grados) entre cada punto sobre la cuadrícula utilizada para calcular las ecuaciones. La resolución temporal hace referencia al paso temporal o tiempo transcurrido entre los distintos momentos en que se realizan los cálculos de las ecuaciones para cada modelo (IPCC, 2013a).

**Riesgo climático.** Es el potencial de que, a causa de algún peligro relacionado con el clima, se produzcan consecuencias adversas sobre las personas o aquello que estas valoran. Este potencial, a su vez, depende de la combinación de tres factores: amenaza, exposición y vulnerabilidad (IPCC, 2018).

**Roderos.** Son las huellas que se presentan en la superficie de una carretera pavimentada y que son el resultado de la densificación o movimiento lateral de los materiales que la constituyen por efectos del tránsito (Instituto Mexicano del Transporte, 2017).

**Talud.** Inclinación de diseño dada al terreno lateral de la carretera, tanto en zonas de corte como en terraplenes (Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú, 2022).

**Tiempo.** Es el resultado de sistemas meteorológicos que se desarrollan y decaen rápidamente como los sistemas de baja y alta presión que son predictibles durante un período de horas, y de los ciclones tropicales que se predicen en un período de varios días a una semana (IPCC, 2001).

**Valor relativo de soporte** (También conocido como California Bering Ratio [CBR]). Valor relativo de soporte de un suelo o material que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú, 2022).



## Bibliografía

- Adger, W. N., N. W. Arnell y E. L. Tompkins (2005), "Successful adaptation to climate change across scales", *Global Environmental Change*, vol. 15, N° 2 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.005>.
- Almazroui, M. y otros (2021), "Projected changes in temperature and precipitation over the United States, Central America, and the Caribbean in CMIP6 GCMs", *Earth Syst Environ*, vol. 5 [en línea] <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00199-5>.
- Alvarado Gamboa, L. F. (2021), *Proyecciones de cambio climático regionalizadas para Costa Rica* (escenarios RCP-2.6 y RCP-8.5), San José, Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía, Dirección de Geología y Minas, Instituto Meteorológico Nacional [en línea] <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/ProyeccionesEscenariosClimaticos/offline/ProyeccionesEscenariosClimaticos.pdf>
- Amador, J. A. y E. J. Alfaro (2009), "Métodos de reducción de escala: aplicaciones al tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático", *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, vol. 11 [en línea] [https://ddd.uab.cat/pub/revibec/revibec\\_a2009v11/revibec\\_a2009v11p39.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/revibec/revibec_a2009v11/revibec_a2009v11p39.pdf).
- Anacafé (Asociación Nacional del Café) (2022), "Estaciones Anacafé", Geoportal de Anacafé [sitio web] <https://meteorologia.anacafe.org/estaciones.html>.
- Banco Mundial (2022), Climate Change Knowledge Portal (CCKP) [sitio web] <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>.
- \_\_\_\_ (2021a), *User Manual Climate Change Knowledge Portal (CCKP)* [en línea] [https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-09/CCKP\\_User\\_Manual\\_September\\_2021.pdf](https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-09/CCKP_User_Manual_September_2021.pdf).
- \_\_\_\_ (2021b), *Metadata Climate Change Knowledge Portal (CCKP)*, Climate Change Knowledge Portal [en línea] [https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-10/CCKP\\_Metadata\\_October%202021.pdf](https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-10/CCKP_Metadata_October%202021.pdf).
- Barandiarán, M. y otros (2019), *Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático para proyectos del BID: documento técnico de referencia para equipos a cargo de proyectos del BID* (Nota Técnica No. IDB-TN-01771), Nueva York, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), División de Cambio Climático [en línea] <https://publications.iadb.org/es/metodologia-de-evaluacion-del-riesgo-de-desastres-y-cambio-climatico-para-proyectos-del-bid>.
- Berkeley Earth (2022), "Methodology", Portal de Berkeley Earth [sitio web] <http://berkeleyearth.org/methodology/>.
- Bi, D. y otros (2012), "The ACCESS coupled model: description, control climate and evaluation", *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, vol. 63, N° 1 [en línea] <https://doi.org/10.22499/2.6301.004>.
- Burkett, V. R. y otros (2014), "Point of departure", *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, C. B. Field y otros (eds.), Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Calvo-Solano, O. D. y otros (2018), "Impacts of drought in the primary sector of the Central American Dry Corridor", *Agronomía Mesoamericana*, vol. 29, N° 3 [en línea] <https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.30828>.
- Cannon, A. J. (2015), "Selecting GCM scenarios that span the range of changes in a multimodel ensemble: application to CMIP5 climate extremes indices", *Journal of Climate*, vol. 28, N° 3 [en línea] <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00636.1>.
- Castelán, Y. (2021), "Reporte con un diseño de módulo prototipo que incorpore el soporte geoespacial en la formulación y evaluación de proyectos de inversión pública considerando la RRD y la ASICC en las etapas de identificación, formulación y evaluación de proyectos. (Módulo IFEPIP)" (documento de trabajo interno del proyecto RIDASICC inédito), Ciudad de México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- CCAFS (Research Programme on Climate Change, Agriculture and Food Security) (2014a), "Weather Stations", GCM Downscaled Data Portal [base de datos en línea] [http://ccafs-climate.org/weather\\_stations/](http://ccafs-climate.org/weather_stations/).

- \_\_\_\_\_ (2014b), "Spatial Downscaling Data", GCM Downscaled Data Portal [base de datos en línea] [http://www.ccafs-climate.org/data\\_spatial\\_downscaling/](http://www.ccafs-climate.org/data_spatial_downscaling/).
- CENAOS-COPECO (Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sismológicos-Comisión Permanente de Contingencias) (2022), Servicios Climáticos, Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sismológicos [en línea] <http://cenaos.copeco.gob.hn/sclimatico.html>.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2023), "Desde el gobierno digital hacia un gobierno inteligente: interoperabilidad gubernamental", *Biblioguías – Biblioteca de la CEPAL* [en línea] <https://biblioguias.cepal.org/gobierno-digital/interoperabilidad>.
- \_\_\_\_\_ (2022), *Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe* (LC/PUB.2018/8/Rev.1), Santiago [en línea] [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43595/S2200798\\_es.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43595/S2200798_es.pdf?sequence=7&isAllowed=y).
- \_\_\_\_\_ (2012), *Cambio climático en Centroamérica: guía de navegación* (LC/MEC/L.1075), Distrito Federal, México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) [en línea] <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/26122>.
- CEPAL/CAC-SICA (Comisión Económica para América Latina y el Caribe/Consejo Agropecuario Centroamericano del Sistema de la Integración Centroamericana) (2020), *Análisis espacial de datos históricos y escenarios de cambio climático en México, Centroamérica, Cuba, Haití y la República Dominicana* (LC/MEX/TS.2020/43), Ciudad de México [en línea] [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46499/2/S2000938\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46499/2/S2000938_es.pdf).
- \_\_\_\_\_ (2013), *Impactos potenciales del cambio climático sobre los granos básicos en Centroamérica* (LC/MEX/L.1123), Distrito Federal, México [en línea] <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/27171>.
- CEPAL/Cooperación Española (Comisión Económica para América Latina y el Caribe/Cooperación Española) (2014), *Infraestructuras bajas en carbono* (LC/W.610), Santiago de Chile.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) y otros (2011), *La economía del cambio climático en Centroamérica: reporte técnico 2011* (LC/MEX/L.1016), Distrito Federal, México [en línea] <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/26058>.
- Chandrasekhar, A. y otros (2022), "In-depth Q&A: The IPCC's sixth assessment on how climate change impacts the world", *Carbon Brief: Clear on Climate* [en línea] <https://www.carbonbrief.org/in-depth-qa-the-ipccs-sixth-assessment-on-how-climate-change-impacts-the-world/>.
- Christensen, J. H. y otros (2013), "Climate phenomena and their relevance for future regional climate change", *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, T. F. Stocker y otros (eds.), Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) (2022), "Catálogo de información: escenarios climáticos", *Agua de Honduras* [en línea] <https://aguadehonduras.gob.hn/>.
- Clarke, L. y otros (2014), "Assessing transformation pathways", *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. IPCC Working Group III Contribution to AR5*, O. R. Edenhofer y otros (eds.), Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press [en línea] [https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/11119/1/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter6.pdf](https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/11119/1/ipcc_wg3_ar5_chapter6.pdf).
- Climate Action Tracker (2022), "2030 emissions Gap: CAT projections and resulting emissions gap in meeting the 1,5 °C Paris Agreement goal", Climate Action Tracker Portal [sitio web] <https://climateactiontracker.org/global/cat-emissions-gaps/>.
- Contreras, E. (2009), "Evaluación de inversiones bajo incertidumbre: teoría y aplicaciones a proyectos en Chile", *Serie Manuales*, N° 63 (LC/IP/L.301), Santiago, Chile, Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) [en línea] [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5512/S0900529\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5512/S0900529_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- CRU (Climate Research Unit) (2023a), Temperature CRUTEM5 [en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/CRUTEM5.0\\_gl.txt](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/CRUTEM5.0_gl.txt).
- \_\_\_\_\_ (2023b), CRU TS Version 4.07 [en línea] [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.07/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.07/).
- CRRH (Comité Regional de Recursos Hídricos) (2022), Base de Datos Climáticos de América Central (BDCAC), Portal de Centro Clima [base de datos en línea] <https://centroclima.org/clima/bdcac/>.
- Diccionario del español de México* (2023), "Alabeo", El Colegio de México [en línea] <https://dem.colmex.mx/ver/alabeo>.

- Duffy, P. B., E. Malone y J. Sheffield (2014), "Global climate model simulations of North America", *Climate change in North America*, G. Ohring (ed.), Bern, Suiza, Springer.
- Eckstein, D., M-L. Hutfils y M. Wings (2019), *Global Climate Risk Index 2019: Who Suffers Most From Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2017 and 1998 to 2017*, Germanwatch [en línea] <https://www.germanwatch.org/en/16046>.
- Eckstein, D., V. Kunzel, y L. Schafer (2021), *Global Climate Risk Index 202: Who suffers Most from Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2019 and 2000 to 2019*, Germanwatch [en línea] <https://www.germanwatch.org/es/19777>.
- ECMWF (Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio) (2022), Climate reanalysis [sitio web] <https://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis>.
- eltiempo.es (2023), "¿Qué es el azimut y cómo se calcula?" [en línea] <https://www.eltiempo.es/noticias/meteopedia/azimut>.
- EM-DAT (Base de Datos Internacional sobre Eventos de Emergencia) (2023), The OFDA/CRED International Disaster Database, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRE Bruselas [base de datos en línea] <https://www.emdat.be>.
- Escoto, A., L. Sánchez y S. Gachuz (2017), "Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP): nuevas maneras de comprender el cambio climático y social", *Estudios Demográficos y Urbanos*, vol. 32, N° 3 [en línea] <https://www.scielo.org.mx/pdf/educm/v32n3/2448-6515-educm-32-03-00669.pdf>.
- Eyring, V. y otros (2016), "Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization", *Geoscientific Model Development*, vol. 9 [en línea] <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2012), *Marco estratégico regional para la gestión de riesgos climáticos en el sector agrícola del Corredor Seco Centroamericano*, Tegucigalpa, Honduras.
- Farjad, B. y otros (2019), "A novel approach for selecting extreme climate change scenarios for climate change impact studies", *Science of Total Environment*, vol. 678 [en línea] 10.1016/j.scitotenv.2019.04.218.
- FEWS NET (Famine Early Warning Systems Network) (2018), *Elaboración de hipótesis sobre la lluvia para el desarrollo de escenarios*, Washington, D. C., Famine Early Warning Systems Network [en línea] [https://fews.net/sites/default/files/documents/reports/Guidance\\_Document\\_Rainfall\\_2018\\_es.pdf](https://fews.net/sites/default/files/documents/reports/Guidance_Document_Rainfall_2018_es.pdf).
- Fick, S. E. y R. J. Hijmans (2017), "WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas", *International Journal of Climatology*, vol. 37 [en línea] <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.
- FIIAPP/AEMET (Fundación Internacional y para Iberoamérica de Administración y Políticas Públicas/ Agencia Estatal de Meteorología) (2020), *Visor de escenarios de cambio climático sobre Centroamérica. Manual de usuarios*, Programa EUROCLIMA+ [en línea] [https://adaptecca.es/sites/default/files/visor\\_centroamerica\\_manual\\_usuario3.pdf](https://adaptecca.es/sites/default/files/visor_centroamerica_manual_usuario3.pdf).
- Flato, G. y otros (2013), "Evaluation of Climate Models", *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, T. F. Stocker y otros (eds.), Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Fuentes, H. O. (2020), *Análisis de control de calidad de base de datos climática*, Ciudad de Guatemala, Unidad de Cambio Climático, Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) [en línea] [https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2023/01/Analisis\\_control\\_calidad.pdf](https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2023/01/Analisis_control_calidad.pdf).
- Funk, C. y otros (2015), "The climate hazards infrared precipitation with stations – a new environmental record for monitoring extremes", *Scientific Data*, vol. 2, art. 150066 [en línea] <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.
- García, E. (1998), "'Climas' (clasificación de Köppen, modificado por García), Escala 1:1.000.000, México", extraído del "Proyecto F047", Mapas de climas 1:1.000.000 (clasificación Köppen modificado por E. García), financiado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) [en línea] <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/clima1mgw.html>.
- García, W. (2019), *Proyecciones de cambio climático en Guatemala –reducción dinámica–: resumen técnico*, Ciudad de Guatemala, Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), Unidad de Cambio Climático [en línea] [https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2021/02/Proyecciones\\_cambio\\_climático\\_reducción\\_dinámica.pdf](https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2021/02/Proyecciones_cambio_climático_reducción_dinámica.pdf).

- GFDL (Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos) (2020), "Climate model downscaling", Princeton University Forrestal Campus [sitio web] <https://www.gfdl.noaa.gov/climate-model-downscaling/>.
- GISTEMP Team (2022), "GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMPv4)", Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), Goddard Institute for Space Studies [en línea] <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>.
- Gobierno de México (2022), Sistema de Información Climática para el Diseño de Carreteras [en línea] <http://siclic.imt.mx/SICLIC/>.
- Greene, A. M., L. Goddard y U. Lall (2006), "Probabilistic multimodel regional temperature change projections", *Journal of Climate*, vol. 19, N° 17 [en línea] <https://doi.org/10.1175/JCLI3864.1>.
- Gutiérrez, J. M. y otros (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*, V. Masson-Delmotte y otros (eds.), Cambridge University Press [en línea] <http://interactive-atlas.ipcc.ch/>.
- Gutjahr, O. y otros (2019), "Max Planck Institute Earth System Model (MPI-ESM1.2) for the High-Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP)", *Geoscientific Model Development*, vol. 12, N° 7 [en línea] <https://doi.org/10.5194/gmd-12-3241-2019>.
- Harris, I. y otros (2020), "Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset", *Scientific Data*, vol. 7, N° 109 [en línea] <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>.
- Harris, R. M. B. y otros (2020), "Biological responses to extreme weather events are detectable but difficult to formally attribute to anthropogenic climate change", *Scientific Reports*, vol. 10, art. 14067 [en línea] <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70901-6>.
- Held, I. M. y otros (2019), "Structure and performance of GFDL's CM4.0 climate model", *Journal of Advances Modeling Earth Systems*, vol. 11, N° 11 [en línea] <https://doi.org/10.1029/2019MS001829>.
- Hernández, A. F. (2021), "Eventos extremos, cambio climático antropogénico y variabilidad natural", *Atmósfera UNAM* [en línea] <https://www.atmosfera.unam.mx/eventos-extremos-cambio-climatico-antropogénico-y-variabilidad-natural/>.
- Hersbach, H. y otros (2019), "ERA5 monthly averaged data on single levels from 1979 to present", Copernicus Climate Change Service (C3S), Climate Data Store (CDS) [en línea] <https://doi.org/10.24381/cds.f17050d7>.
- Hidalgo, H. G. y E. J. Alfaro (2015), "Skill of CMIP5 climate models in reproducing 20th century basic climate features in Central America", *International Journal of Climatology*, vol. 35, N° 12 [en línea] <http://dx.doi.org/10.1002/joc.4216>.
- Hijmans, R. J. y otros (2005), "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas", *International Journal of Climatology*, vol. 25 [en línea] [https://bio.research.ucsc.edu/~barrylab/classes/climate\\_change/HijmansIJC2005.pdf](https://bio.research.ucsc.edu/~barrylab/classes/climate_change/HijmansIJC2005.pdf).
- ICAP (Instituto Centroamericano de Administración Pública) (2022), "Escenarios de cambio climático", *INCENTIVA (Iniciativa Centroamericana para una Inversión con Valor Agregado)* [en línea] <https://icapincentiva.org/web2/incentiva/escenarioscambioclimatico/>.
- ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático) (2022), Portal del ICC [sitio web] <https://redmet.icc.org.gt/login>.
- IMHPA (Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá) (2023a), "Funciones de la Dirección de Hidrometeorología" [en línea] <https://www.hidromet.com.pa/es/funciones-la-direccion-hidrometeorologia>.
- \_\_\_\_\_(2023b), Red de estaciones hidrometeorológicas [en línea] <https://www.hidromet.com.pa/es/red-estaciones>.
- Immerzeel, W.W., F. Pellicciotti y M. F. P. Bierkens (2013), "Rising river flows throughout the twenty-first century in two Himalayan glacierized watersheds", *Nature Geoscience*, N° 6 [en línea] <https://doi.org/10.1038/ngeo1896>.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica) (2022), [sitio web] <https://www.imn.ac.cr>.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo – Panamá) (2022), Meteorología (Serie situación física) [en línea] [https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default2.aspx?ID\\_CATEGORIA=2&ID\\_SUBCATEGORIA=4](https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default2.aspx?ID_CATEGORIA=2&ID_SUBCATEGORIA=4).

- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) (2022), *Atlas de vulnerabilidad al cambio climático en México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [en línea] <https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/index.html#zoom=6&lat=21.5268&lon=-76.9841&layers=1>.
- \_\_\_\_ (2021), *Municipios vulnerables al cambio climático con base en los resultados del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático*, D. González Terrazas y otros (coords.), Ciudad de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- \_\_\_\_ (2019), *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático*, México, Ciudad de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [en línea] [https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC\\_LibroDigital.pdf](https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2023), “Escala”, *Cuéntame de México* [en línea] <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/escala/default.aspx?tema=T>.
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales) (2023), *4ta Comunicación Nacional sobre Cambio Climático*, Managua, Nicaragua, República de Nicaragua, Sistema Nacional de Gestión del Cambio Climático, Secretaría de Cambio Climático de la Presidencia [en línea] <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/4CN-Nicaragua.pdf>.
- \_\_\_\_ (2022a), Dirección General de Meteorología [en línea] <https://www.ineter.gob.ni/met.html>.
- \_\_\_\_ (2022b), “Atlas de Escenarios Climáticos de Nicaragua hasta el año 2080”, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER)/Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) [en línea] <https://www.ineter.gob.ni/libro/>.
- \_\_\_\_ (s/f), Plataforma Nacional de Información y Conocimientos sobre cambio Climático [Nicaragua], Comunicaciones [en línea] <https://cambioclimatico.ineter.gob.ni/>.
- Instituto Mexicano de Transporte (2017), “Evaluación de pavimentos” [en línea] <https://www.gob.mx/imt/articulos/evaluacion-de-pavimentos-121969>.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2022), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Organización Meteorológica Mundial (OMM)/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Cambridge University Press.
- \_\_\_\_ (2021a), “Summary for Policymakers”, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, V. Masson-Delmotte y otros (eds.) [en línea] <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>.
- \_\_\_\_ (2021b), “Resumen para responsables de políticas”, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, V. Masson-Delmotte y otros (eds.), Cambridge University Press.
- \_\_\_\_ (2020), *El cambio climático y la tierra. Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres. Resumen para responsables de políticas* (V. Masson-Delmotte y otros, eds.), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) [en línea]. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL\\_SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf)
- \_\_\_\_ (2018), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, V. Masson-Delmotte y otros (eds.) [en línea] [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf).
- \_\_\_\_ (2014a), *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 (R. K. Pachauri y L. A. Meyer, eds.), Ginebra, Suiza [en línea] [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf).
- \_\_\_\_ (2014b), “Anexo II: glosario”, *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, R. K. Pachauri y L. A. Meyer (eds.), Ginebra, Suiza [en línea] [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf).

- \_\_\_\_\_ (2013a), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), T. F. Stocker y otros (eds.), Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press [en línea] <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- \_\_\_\_\_ (2013b), “Glosario”, *Cambio climático 2013: bases físicas: resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes*, Parte de la contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, T. F. Stocker y otros (eds.) [en línea] [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf).
- \_\_\_\_\_ (2013c), “Ficha informativa del IPCC: ¿Qué es el IPCC?” [en línea] [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS\\_what\\_ipcc\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS_what_ipcc_es.pdf).
- \_\_\_\_\_ (2001), “Climate scenario development”, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report on Intergovernmental Panel on Climate Change, J. T. Houghton y otros (eds.), Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (1997), *Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC*, Documento técnico II del IPCC, J. T. Houghton y otros (eds.) [en línea] <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/paper-II-sp.pdf>.
- IPCC/OMM/PNUMA (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático/Organización Meteorológica Mundial/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (2000), *Informe especial del IPCC: escenario de emisiones*, Informe especial del Grupo de Trabajo III del IPCC.
- Iturbide, M. y otros (2021), “Repository supporting the implementation of FAIR principles in the IPCC-WG1 Atlas, Zenodo” [en línea] [10.5281/zenodo.3691646](https://zenodo.org/record/3691646) y <https://github.com/IPCC-WG1/Atlas>.
- JMA (Servicio Meteorológico del Japón) (2013a), *JRA-55 Product User's Handbook. 1.25-degree latitude/longitude grid data*, Tokio, Climate Prediction Division, Global Environment and Marine Department [en línea] [https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/document/JRA-55\\_handbook\\_LL125\\_en.pdf](https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/document/JRA-55_handbook_LL125_en.pdf).
- \_\_\_\_\_ (2013b), *JRA-55- the Japanese 55-year Reanalysis*, Tokio, Numerical Prediction Division, Information Infrastructure Department.
- Knutti, R. y J. Sedláček (2012), “Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections”, *Nature Climate Change*, vol. 3, N° 4 [en línea] [https://labordoc.ilo.org/discovery/fulldisplay/cdi\\_proquest\\_journals\\_1321449242/41ILO\\_INST:41ILO\\_V1](https://labordoc.ilo.org/discovery/fulldisplay/cdi_proquest_journals_1321449242/41ILO_INST:41ILO_V1).
- Kobayashi, S. y otros (2015), “The JRA-55 reanalysis: general specifications and basic characteristics”, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Ser. II, vol. 93, N° 1 [en línea] <https://doi.org/10.2151/jmsj.2015-001>.
- Kriegler, E. y otros (2012), “The need for and use of socio-economic scenarios for climate change analysis: a new approach based on shared socio-economic pathways”, *Global Environmental Change*, vol. 22, N° 4 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.05.005>.
- LEG (Least Developed Countries Expert Group) (2012), *Planes nacionales de adaptación: directrices técnicas para el proceso del plan nacional de adaptación*, Bonn, Alemania, United Nations Framework Convention on Climate Change [en línea] [https://unfccc.int/files/adaptation/application/pdf/21209\\_unfccc\\_nap\\_es\\_lr\\_v1.pdf](https://unfccc.int/files/adaptation/application/pdf/21209_unfccc_nap_es_lr_v1.pdf).
- Lenssen, N. y otros (2019), “Improvements in the GISTEMP uncertainty model”, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 124, N° 12 [en línea] <https://doi.org/10.1029/2018JD029522>.
- Lindsey, R. (2017), “Atribución de evento extremo: el juego de culpa entre el tiempo y clima”, *Science Ann Information for a Climate-smart Nation*, NOAA [en línea] <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/atribuci%C3%B3n-de-even-to-extremo-el-juego-de-culpa-entre-el-tiempo-y>.
- Lu, X. (2006), *Guidance on the Development of Regional Climate Scenarios for Application in Climate Change Vulnerability and Adaptation Assessments within the Framework of National Communications from Parties not Included in Annex I to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, Nueva York, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y otros.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador) (2022a), Servicio Meteorológico Nacional [en línea] <http://www.snet.gob.sv/ver/snet/areas+de+snet/servicio+meteorologico/>.
- \_\_\_\_\_ (2022b), “Normales climatológicas” [en línea] <http://srt.marn.gob.sv/climatologia.html>.

- MARN/CATHALAC (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe) (2017), "Modelos de simulación y escenarios climáticos para El Salvador (nacional, regional y local)" [en línea] <http://rcc.marn.gob.sv/xmlui/handle/123456789/347?show=full>.
- MARN/GEF/PNUD (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Fondo para el Medio Ambiente Mundial/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (2018), *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*, San Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Massonnet, F. y otros (2020), "Replicability of the EC–Earth3 Earth system model under a change in computing environment", *Geoscientific Model Development*, vol. 13, N° 3 [en línea] <https://doi.org/10.5194/gmd-13-1165-2020>.
- May, W. y otros (2016), "Projected change-atmosphere", *North Sea Region Climate Change Assessment: Regional Climate Studies*, M. Quante y F. Colijn (eds.), Springer Open [en línea] [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39745-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39745-0_5).
- McSweeney, C. F. y otros (2015), "Selecting CMIP5 GCMs for downscaling over multiple regions", *Climate Dynamics*, vol. 44 [en línea] <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2418-8>.
- Meinshausen, M. y otros (2011), "The RCP greenhouse gas concentration and their extension from 1765 to 2300", *Climatic Change*, vol. 109, art. 213 [en línea] <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>.
- Mendoza, J. F. (2023), *Canales de impacto del cambio climático en infraestructura vial*, Ciudad de México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en prensa.
- Mendoza, J. F. y otros (2021), Sistema de información climática para el diseño de infraestructura carretera, *Publicación Técnica*, N° 636, Santiago de Querétaro, México, Instituto Mexicano del Transporte.
- MiAmbiente+ (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente [Honduras]) (2018), "Con estaciones meteorológicas MiAmbiente+ brinda información valiosa al sector productivo", *MiAmbiente+* [en línea] <http://www.miambiente.gob.hn/blog/view/con-estaciones-meteorologicas-miambiente-brinda-informacion-valiosa-a-sector-productivo>.
- MiAmbiente (Ministerio de Ambiente [Panamá]) (2023), *Cuarta Comunicación Nacional sobre Cambio Climático*, Panamá, Ciudad de Panamá, Gobierno de la República de Panamá, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) [en línea] <https://unfccc.int/documents/630957>.
- MMARN/CNCCMDL (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio de la Presidencia de la República Dominicana) (2017), *Tercera Comunicación Nacional de República Dominicana para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, Santo Domingo, República Dominicana, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y otros [en línea] <https://unfccc.int/documents/39777>.
- Min, S. K. y A. Hense (2006), "A Bayesian approach to climate model evaluation and multi-model averaging with an application to global mean surface temperatures from IPCC AR4 coupled climate models", *Geophysical Research Letters*, vol. 33, N° 8 [en línea] <https://doi.org/10.1029/2006GL025779>.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía) (2021), *Costa Rica: Cuarta Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, San José, Costa Rica, Gobierno de Costa Rica [en línea] <https://unfccc.int/documents/403568>.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2008), "Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial", aprobado por la Resolución Ministerial, N° 660-2008-MT/02 [en línea] [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_1556.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_1556.pdf).
- Molteni, F. y otros (2006), "A strategy for high-resolution ensemble prediction. I: Definition of representative members and global-model experiments", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 127, N° 576 [en línea] <https://doi.org/10.1002/qj.49712757612>.
- Monterroso, R. A. y otros (2014), *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México*, Distrito Federal, México, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Programa de Investigación en Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) [en línea] <http://atlasclimatico.unam.mx/VyA>.
- Montzka, S. A. (2022), "The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI)", *NOAA Global Monitoring Laboratory* [en línea] <https://gml.noaa.gov/aggi/aggi.html>.
- Morice, C. P. y otros (2021), "An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 data set", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, N° 126 [en línea] <https://doi.org/10.1029/2019JD032361>.

- Moss, R. y otros (2010), "The next generation of scenarios for climate change research and assessment", *Nature*, N° 463 [en línea] <https://doi.org/10.1038/nature08823>.
- Naciones Unidas (1992), *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* [en línea] <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.
- Navarro-Racines, C. y otros (2020), "High-resolution and bias-corrected CMIP5 projections for climate change impact assessments", *Scientific Data*, vol. 7, art. 7 [en línea] <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0343-8>.
- \_\_\_\_\_(2018), *Desarrollo de los escenarios climáticos de Honduras y Módulo Académico de Capacitación*, Tegucigalpa, Honduras, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)/Dirección Nacional de Cambio Climático de MiAmbiente [en línea] <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/100378>.
- NRCAN (Natural Resources Canada) (2022), "Fire weather: increases in length of fire season will affect forest ecosystems and both human health and safety", *Canada.ca*, Government of Canada [en línea] <https://natural-resources.canada.ca/climate-change/impacts-adaptations/climate-change-impacts-forests/forest-change-indicators/fire-weather/17776>.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial) (2022a), *El estado del clima en América Latina y el Caribe 2021* (OMM-N° 1295) [en línea] [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=22105](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22105).
- \_\_\_\_\_(2022b), *Estado del clima mundial en 2021* (OMM-N° 1290), Ginebra, Suiza [en línea] [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=22166#.Y9Ash3bMKbg](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22166#.Y9Ash3bMKbg).
- \_\_\_\_\_(2022c), "Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones realizadas en 2021", *Boletín de la OMM sobre los gases de efecto invernadero*, N° 18 [en línea] [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=11441](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11441).
- \_\_\_\_\_(2022d), "Indicadores globales del clima: contenido calorífico, acidificación, desoxigenación y carbono azul de los océanos" [en línea] <https://public.wmo.int/es/recursos/bolet%C3%ADn/nexo-oc%C3%A9ano-y-clima/indicadores-globales-del-clima>.
- \_\_\_\_\_(2021a), *El estado del clima en América Latina y el Caribe 2020* (OMM-N° 1272) [en línea] [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10877](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10877).
- \_\_\_\_\_(2021b), *Estado del clima mundial en 2020* (OMM-N° 1264) [en línea] [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10891](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10891).
- \_\_\_\_\_(2017), *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre la generación de un conjunto definido de productos nacionales de vigilancia del clima* (OMM-N° 1204) [en línea] [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4215](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4215).
- \_\_\_\_\_(2015), *El valor del tiempo y el clima: evaluación económica de los servicios meteorológicos e hidrológicos* (OMM-N° 1153), Ginebra, Suiza, Organización Meteorológica Mundial (OMM)/Banco Mundial [en línea] [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3313](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3313).
- \_\_\_\_\_(2012b), *Índice normalizado de precipitación: guía del usuario* (OMM-N° 1090), Ginebra, Suiza [en línea] [https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO\\_standardized\\_precipitation\\_index\\_user\\_guide\\_es\\_2012.pdf](https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_es_2012.pdf).
- \_\_\_\_\_(2012a), *Glosario hidrológico internacional* (WMO-No. 385), Ginebra, Suiza, Organización Meteorológica Mundial (OMM)/Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) [en línea] <https://library.wmo.int/es/records/item/35589-international-glossary-of-hydrology>.
- ONAMET (Oficina Nacional de Meteorología) (2022a), "¿Quiénes somos?" [en línea] <https://onamet.gob.do/index.php/sobre-nosotros/quienes-somos>.
- \_\_\_\_\_(2022b), "Certificaciones y datos climatológicos" [en línea] <https://onamet.gob.do/index.php/servicios-m/item/262-datos-climatologicos>.
- \_\_\_\_\_(2022c), Página oficial [sitio web] <https://onamet.gob.do/>.
- O'Neill, B. C. y otros (2016), "The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6", *Geoscientific Model Development*, vol. 9, N° 9 [en línea] <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>.
- \_\_\_\_\_(2014), "A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways", *Climatic Change*, N° 122 [en línea] <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>.
- Ortegón E., J. F. Pacheco y A. Prieto (2015), "Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas", *serie Manuales* (LC/IP/L.259), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) [en línea] [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5607/S057518\\_es.pdf?sequence=6&isAllowed=y](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5607/S057518_es.pdf?sequence=6&isAllowed=y).

- Parding, K. y otros (2020), "GCMeval – An interactive tool for evaluation and selection of climate model ensembles", *Climate Services*, vol. 18, 100167 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2020.100167>.
- Pierce, D. W. y otros (2009), "Selecting global climate models for regional climate change studies", *PNAS*, vol. 106, N° 21 [en línea] <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0900094106>.
- PMIC (Programa Mundial de Investigaciones Climáticas) (2022a), WCRP Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) [en línea] <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip>.
- \_\_\_\_\_(2022b), CMIP Panel [en línea] <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/cmip-panel>.
- Porres, A. G. y otros (2022), "Análisis de riesgo para la detección de amenazas y vulnerabilidades en proyectos de infraestructura", *Notas*, N° 198, art. 1, julio-agosto [en línea] <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=561&IdBoletin=199>.
- Ramirez-Villegas, J. y A. J. Challinor (2012), "Assessing relevant climate data for agricultural applications", *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 161 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.03.015>.
- República de Nicaragua (2023), *Cuarta Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. República de Nicaragua*, Managua, Nicaragua, Gobierno de la República de Nicaragua/Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM)/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) [en línea] <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/4CN-Nicaragua.pdf>.
- Riahi, K. y otros (2017), "The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview", *Global Environmental Change*, vol. 42 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>.
- Rivera, P. F., Bardales, W. A. y Ochoa, W. (2019), "Escenarios futuros de cambio climático para Guatemala", *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala*, E. Castellanos (coord. y ed. gral.), Ciudad de Guatemala, Editorial Universitaria UVG/Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático.
- Rojas, O., M. V. Rodríguez y T. Hernández (2020), *Nuevo índice de la "canícula" para estudiar el impacto en agricultura en el Corredor Seco Centroamericano y su relación con El Niño*, Ciudad de Panamá, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) [en línea] <https://www.fao.org/3/cb1818es/cb1818es.pdf>.
- Rong, X.Y. y otros (2019), "Introduction of CAMS–CSM model and its participation in CMIP6", *Climate Change Research*, vol. 15, N° 5 [en línea]. <https://doi.org/10.12006/j.issn.1673-1719.2019.186>
- Seland, O. y otros (2020), "NorESM2 source code as used for CMIP6 simulations (Version 2.0.1)", *Zenodo* [en línea]. [en línea] <https://doi.org/10.5281/zenodo.3760870>
- Sellar, A. y otros (2019), "UKESM1: Description and evaluation of the UK Earth System Model". *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, vol. 11, No. 12, 4513-4558 [en línea]. <https://doi.org/10.1029/2019MS001739>
- Semmler T. y otros (2020), "Simulations for CMIP6 With the AWI Climate Model AWI-CM-1-1", *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, vol. 12, N° 9, e2019MS002009 [en línea] <https://doi.org/10.1029/2019MS002009>.
- SGCCC (Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático) (2022), "Modelación climática en Guatemala" (C-CF-1-2022), Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático, Mesa de Ciencias del Clima, Subgrupo de Clima Futuro [en línea] <https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2022/01/Policy-Brief-Clima-Futuro.pdf>.
- Slingo, D. J. (2019), "Review of the World Climate Research Programme: Setting the Agenda for 21st Century Climate Research", Organización Meteorológica Mundial, *Bulletin*, vol. 68, N° 1 [en línea] <https://public.wmo.int/en/resources/bulletin/review-of-world-climate-research-programme-setting-agenda-21st-century-climate>.
- Smith, K. A. y otros (2018), "Navigating Cascades of Uncertainty- an easy as ABC? Not quite...", *Journal Extreme Events*, vol. 5, N° 1 [en línea] <http://dx.doi.org/10.1142/S2345737618500070>.
- Taylor, M. A. y E. J. Alfaro (2005), "Central America and the Caribbean, climate of", *Encyclopedia of World Climatology*, J. E. Oliver (ed.), Dordrecht, Países Bajos, Springer.
- Taylor K. E., R. J. Stouffer y G. A. Meehl (2012), "An overview of CMIP5 and the experiment design", *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 93, N° 4 [en línea] <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.

- Teuling, A. J. y otros (2010), "Contrasting response of European forest and grassland energy exchange to heatwaves", *Nature Geoscience*, N° 3 [en línea] <https://doi.org/10.1038/ngeo950>.
- Tejeda-Martínez, A. y otros (2018), *La humedad en la atmósfera: bases físicas, instrumentos y aplicaciones*, Colima, México, Universidad de Colima, Dirección General de Publicaciones [en línea] [http://www.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/La-humedad-en-la-atmosfera\\_466.pdf](http://www.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/La-humedad-en-la-atmosfera_466.pdf).
- University of Notre Dame (2022), "Notre Dame Global Adaptation Initiative (ND-GAIN): Country index. Rankings", Notre Dame Global Adaptation Initiative [en línea] <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/rankings/>.
- Van der Zee, A. y otros (2012), *Estudio de caracterización del Corredor Seco Centroamericano (Países CA-4)*, t. I, Tegucigalpa, Honduras, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) [en línea] <https://cidoc.ambiente.gov.sv/documentos/estudio-de-caracterizacion-del-corredor-seco-centroamericano-paises-ca-4-tomo-i/>.
- Van Vuuren, D. y otros (2014), "A new scenario framework for Climate Change Research: scenario matrix architecture", *Climatic Change*, N° 122 [en línea] <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0906-1>.
- Vega Rodríguez, R. y J. Lennox (2023), *Modelo conceptual para integrar la reducción del riesgo de desastres y la adaptación sostenible e incluyente al cambio climático en la inversión pública (LC/MEX/TS.2023/33)*, Ciudad de México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Warszawski, L. y otros (2014), "The inter-sectoral impact model intercomparison project (ISI-MIP): project framework", *PNAS*, vol. 111, N° 9 [en línea] <https://doi.org/10.1073/pnas.1312330110>
- WCRP CORDEX (2022a), "What is regional downscaling?", Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC), Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment [en línea] <https://cordex.org/about/what-is-regional-downscaling/>.
- \_\_\_\_\_ (2022b), "Vision and goals", Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC) [en línea] <https://cordex.org/about/our-vision/>.
- Wyser, K. y otros (2020), "Warmer climate projections in EC-Earth3-Veg: the role of changes in the greenhouse gas concentrations from CMIP5 to CMIP6", *Environmental Research Letters*, vol. 15, N° 5, 054020 [en línea] <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab81c2>.
- Zhang, H. M. y otros (2019a), "Updated temperature data give a sharper view of climate trends", *Eos* [en línea] <https://doi.org/10.1029/2019EO128229>.
- \_\_\_\_\_ (2019b), "NOAA Global Surface Temperature Dataset (NOAAGlobalTemp), Version 4.0 [Global Gridded 5° Data]", National Centers for Environmental Information (NOAA) [base de datos en línea] <https://www.ncei.noaa.gov/access/metadata/landing-page/bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00934>.

El proyecto RIDASICC tiene como objetivo contribuir a la integración de la reducción de riesgos de desastres (RRD) y la adaptación sostenible e incluyente al cambio climático (ASICC) en los proyectos de inversión pública, conservando y mejorando los servicios que brindan a la población de los países miembros del COSEFIN/SICA. La iniciativa es coordinada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Secretaría Ejecutiva del Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (COSEFIN), con la estrecha participación de los siete ministerios de hacienda o finanzas y tres ministerios o secretarías de planificación responsables de los sistemas nacionales de inversión pública (SNIP) de dichos países y otras instituciones socias nacionales y regionales del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), contando con el apoyo financiero de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).

<https://www.cepal.org/es/ridasicc>



**RIDASICC**

Reducción de riesgos de desastres y adaptación sostenible e incluyente al cambio climático en la inversión pública.

**CEPAL**

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)  
Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC)  
[www.cepal.org](http://www.cepal.org)