

3

ESCENARIOS FUTUROS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA GUATEMALA

Autores: Paris Rivera^{1,2}, Walter Arnaldo Bardales Espinoza³ y Wener Ochoa⁴
Autor contribuyente: Melvin Navarro⁵

¹ Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala, pfrivera@insivumeh.gob.org

² Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático de Guatemala

³ Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, bardaleswa@gmail.com

⁴ Programa de Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad, Universidad de San Carlos de Guatemala, wenerochoa@gmail.com

⁵ Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

Forma de citar este capítulo:

Rivera, P. F., Bardales Espinoza, W. A., & Ochoa, W. (2019). Escenarios futuros de cambio climático para Guatemala. En E. J. Castellanos, A. Paiz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero, & A. Santizo (Eds.), *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala*. (pp. 40–61). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.



Mensajes clave:

- De acuerdo con los escenarios de cambio climático para Guatemala, se proyectan aumentos en la temperatura de entre 3 °C y 6 °C para fines de siglo.
- La mayoría de esos escenarios para Guatemala estiman la disminución del 30 % de la precipitación anual para finales de siglo.
- Se proyectan sequías más prolongadas y alteraciones en la temporada de lluvias, que generarían un mayor número de tormentas locales severas.



RESUMEN

Se han generado múltiples escenarios de cambio climático para Guatemala, como los realizados por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en el año 2001; los del Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe en 2008; de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe en 2011; del Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad en 2011; y, dentro de los más recientes, están los escenarios realizados conjuntamente entre el MARN y la Universidad de Nebraska de Estados Unidos en el año 2015, basados en el quinto reporte del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. La generación de los escenarios de cambio climático se basa en distintos supuestos del comportamiento de las naciones en el mundo a futuro, denominados forzantes, tales como la cantidad de población mundial, el desarrollo económico, el uso de tecnologías amigables con el ambiente, el tipo de desarrollo (local o mundial) y las decisiones políticas ambientales. Estos forzantes sirven para estimar emisiones de gases de efecto invernadero, que representan el principal insumo para crear los escenarios de cambio climático global. Posteriormente se reduce la escala de estas proyecciones globales a proyecciones nacionales o locales y finalmente se generan mapas de precipitación y temperatura futura para Guatemala. Con base en los resultados de los estudios mencionados, se proyectan aumentos en la temperatura de hasta 3.5 °C para el año 2050 y de hasta 6 °C para fines de siglo, partiendo de la línea base en común de 1980 al 2010. La mayoría de los estudios estiman disminución del 30 % de la precipitación anual para finales del siglo en el peor de los escenarios. En general, los impactos potenciales en el clima se reflejan en sequías que podrían ser más prolongadas y épocas de lluvia menos cuantiosas, pero más intensas.



CONTENIDO

3.1	Conceptos generales sobre modelos y escenarios futuros de cambio climático.....	44
3.1.1	Balances de energía en la atmósfera terrestre.....	44
3.1.2	Modelos climáticos de circulación general.....	44
3.1.3	Escenarios futuros de cambio climático.....	44
3.1.4	Escenarios de emisiones.....	44
3.1.5	Proyecciones de cambio climático global.....	46
3.2	Proyecciones de cambio climático para Guatemala.....	47
3.2.1	Primera Comunicación Nacional de Guatemala sobre Cambio Climático.....	47
3.2.2	Modelos de cambio climático para estimar impactos en la diversidad biológica y economía en Centroamérica, México y República Dominicana.....	49
3.2.3	Cambio climático y diversidad biológica: elementos para analizar sus interacciones en Guatemala con un enfoque ecosistémico	51
3.2.4	Segunda Comunicación Nacional de Guatemala sobre Cambio Climático.....	52
3.2.5	Impactos climáticos para Guatemala: resultados preliminares de los modelos climáticos regionales y globales IPCC AR5.....	53
3.2.5.1	Comparaciones y validación de estos modelo	55
3.2.6	Escenarios de aridez para Guatemala para los años 2030, 2050 y 2070.....	56
3.2.7	Resumen de proyecciones climáticas para Guatemala	57
3.3	Conclusiones.....	60
3.4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

3.1 Conceptos generales sobre modelos y escenarios futuros de cambio climático

3.1.1 Balances de energía en la atmósfera terrestre

Los gases de efecto invernadero¹ (GEI) y los aerosoles antropógenos afectan el sistema climático, pues alteran el equilibrio entre la energía solar absorbida y la radiación infrarroja emitida. El desequilibrio se cuantifica como «forzamiento radiativo», que se define como el cambio de la radiación neta descendente (solar e infrarroja combinadas) que se genera en la tropopausa² cuando, por ejemplo, se alteran las cantidades de GEI y aerosoles (Harvey et al., 1997).

3.1.2 Modelos climáticos de circulación general

Los modelos climáticos son la representación matemática y física del comportamiento de la circulación de los gases de la atmósfera. Estos modelos se desarrollan a partir de las ecuaciones matemáticas básicas que describen el flujo de masas de aire, el equilibrio térmico, el equilibrio hidrostático, el balance energético, la continuidad del aire seco y la continuidad de la humedad, principalmente. Un modelo climático puede utilizarse para simular los patrones generales de las variables atmosféricas a través del tiempo y su respuesta ante los cambios de factores que influyen en su comportamiento, tales como la radiación o el incremento de los GEI. Además, si el interés es representar el comportamiento atmosférico de todo el planeta, se emplea un modelo global. Los modelos de circulación general son representaciones físicas en la atmósfera, océano, criósfera y superficie terrestre; así pues, representan el clima usando una malla tridimensional sobre el planeta; pero, aunque hay varios de estos actualmente, tienen una resolución espacial muy baja debido a que cubren todo el planeta y, por tanto, esa resolución no es adecuada para áreas pequeñas como la que ocupa Guatemala (Oviedo & León, 2010).

1. Los principales GEI en la atmósfera terrestre son: vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) y ozono (O₃).

2. De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1992), se define como: «nivel más bajo en donde el gradiente medio es de 2 °C km⁻¹ o menos, siempre que el gradiente medio entre ese nivel y todos los niveles superiores situados a menos de 2 km no exceda de 2 °C km».

3.1.3 Escenarios futuros de cambio climático

Para mejorar la comprensión de las interacciones del sistema climático del mundo, los ecosistemas y las actividades humanas, la comunidad científica desarrolla y utiliza escenarios usualmente centrados en diferentes niveles de emisiones de GEI. El término «escenario» se refiere a una descripción coherente, internamente consistente y convincente de un posible estado futuro del mundo (IPCC, 2001). No es un pronóstico, de hecho, cada escenario es una imagen alternativa de cómo el futuro puede revelarse. Una proyección puede servir como materia prima para generar un escenario, pero los escenarios requieren información adicional como una línea base. En otras palabras, son una condición climática asumida para evaluar impactos de la variación climática, del cambio climático o de efectos en ecosistemas, sectores socioeconómicos o sectores productivos (Oviedo & León, 2010).

3.1.4 Escenarios de emisiones

Los escenarios de emisiones son generados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y se refieren a la cantidad esperada de emisiones humanas de GEI en la atmósfera. Hay diferentes tipos, el primero y más sencillo supone una cantidad de dióxido de carbono doble respecto a un valor arbitrario. En 1990, el IPCC generó unos escenarios llamados AS90, para luego, en 1992, publicar la primera familia de escenarios que consideraba variables sociales y económicas, llamados IS92. En 1996, se desarrolló un nuevo conjunto de escenarios de emisiones que sirvieron de base para el Tercer Informe de Evaluación, de mayor utilidad que los escenarios IS92. Luego de estos se generó el paquete de escenarios SRES (Special Report Emissions Scenarios), los cuales modelan las emisiones futuras con base en distintos patrones de desarrollo social, económico, político, tecnológico, entre otros (IPCC, 2001).

En el Informe Especial del IPCC (2007) sobre Escenarios de Emisiones se elaboraron cuatro líneas evolutivas (A1, A2, B1 y B2), donde se describen las fuerzas determinantes en las emisiones de GEI y aerosoles, así como su evolución durante el siglo XXI, tanto en términos globales como de distintas regiones. Cada

línea evolutiva representa un nivel de desarrollo divergente en cuestiones demográficas, sociales, económicas y tecnológicas. Las líneas evolutivas A presentan un escenario pesimista donde se mantienen o aumentan las emisiones de GEI, mientras que las líneas evolutivas B representa un escenario optimista en el que se disminuyeron las emisiones de GEI a nivel mundial.

El IPCC, en su quinto informe (2014), en lugar de iniciar con argumentos socioeconómicos detallados para generar escenarios de emisiones y luego escenarios climáticos, identifica escenarios de forzamiento radiativo, una característica muy importante

para la modelización del clima. El nivel de forzamiento radiativo al año 2100 es el más destacado. Estas trayectorias de forzamiento radiativo no están asociadas con los escenarios socioeconómicos o de emisión únicos, aunque son muy similares, sino que más bien pueden resultar de la combinación de diferentes futuros económicos, tecnológicos, demográficos, políticos e institucionales. Se han definido cuatro nuevos escenarios de emisión, las denominadas Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Estas se caracterizan por su forzamiento radiativo (FR) total³ para el año 2100 que oscila entre 2.6 y 8.5 W/m² (Cuadro 3-1 y Figura 3-1) (IPCC, 2014).

Cuadro 3-1 Los cuatro caminos de forzamiento radiativo.

Escenario	FR (W/m ²)	Tendencia del FR	CO ₂ en 2100 (ppm)
RCP2.6	2.6	decreciente en 2100	421
RCP4.5	4.5	estable en 2100	538
RCP6.0	6.0	creciente	670
RCP8.5	8.5	creciente	936

Nota: Escenario = camino representativo de concentración. FR (W/m²) = forzamiento radiativo en watts por metro cuadrado de la superficie del planeta. Tendencia del FR = Tendencia que se espera que tenga el forzamiento radiativo en 2100. CO₂ en 2100 (ppm) = cantidad de dióxido de carbono en partes por millón proyectadas para el año 2100. Tomado de IPCC (2013).

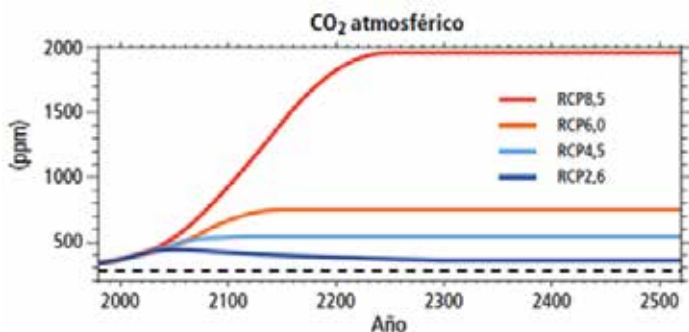


Figura 3-1 Proyección de CO₂ equivalente en los cuatro caminos de forzamiento radiativo RCP2.6, RCP 4.5, RCP6, RCP8.5 hasta el año 2500. En el eje y se presenta la cantidad de CO₂ atmosférico en partes por millón; y en el eje x se muestran los años en siglos. Tomado de IPCC (2014).

Con base en estos escenarios de emisiones de referencia se realizan las proyecciones, ya que los escenarios de emisiones de GEI varían en un amplio rango que depende tanto del desarrollo socioeconómico como de la política climática. Según el IPCC, las denominadas sendas representativas de concentración describen diferentes proyecciones para las emisiones y concentraciones de GEI y aerosoles y para usos del suelo a lo largo del siglo XXI. Las RCP incluyen escenarios de fuerte reducción de las emisiones (RCP2.6), dos escenarios intermedios (RCP4.5 y RCP6.0) y un escenario de altas emisiones (RCP8.5). Los escenarios de referencia, en los que no se controlan las emisiones, se sitúan entre RCP6.0 y RCP8.5 (MAAMA, 2015).

3. El forzamiento radiativo es presentado en watts (energía) adicionales por metro cuadrado de la superficie terrestre.

3.1.5 Proyecciones de cambio climático global

Los diferentes escenarios previstos por el IPCC suponen subidas de la temperatura media global y del nivel del mar. Para finales del siglo XXI es probable que la temperatura global en superficie sea superior en 1.5 °C con respecto a la del periodo entre 1850 y 1900 para todas las RCP, salvo la RCP2.6. Es probable que esa temperatura sea superior en 2 °C para los escenarios RCP6.0 y RCP8.5, y más probable que improbable que sea superior en 2 °C para el escenario RCP4.5. El calentamiento continuará mostrando una variabilidad entre interanual y decenal, no será uniforme entre regiones, y seguirá después de 2100 en todos los escenarios RCP, excepto para la RCP2.6 (Figura 3-2) (IPCC, 2013, 2014). Sin embargo, el informe especial reciente del IPCC afirma que el planeta ya se calentó 1 °C y con la tendencia actual, el 1.5 °C se alcanzará en 2050 (IPCC, 2018); así también, realiza una evaluación sobre un calentamiento global de 1.5 °C en lugar de 2 °C, planteando que los dos grados provocarían mayores y peores impactos globales. El ritmo de calentamiento previsto es muy probable que sea el mayor en, al menos, los últimos diez mil años.

En el hemisferio norte se prevé una reducción aún mayor de la cobertura nivosa⁴ y de los hielos mari-

nos, así como de los glaciares y otras capas de hielo. La capa de hielo antártico es probable que aumente de masa, mientras que es probable que se reduzca la de Groenlandia. Se espera que el nivel del mar se eleve entre 26 a 82 cm para las décadas de 2080 a 2100 (IPCC, 2014). Las causas principales son la expansión térmica y la pérdida de hielo. Esta variabilidad tan grande en la estimación se debe a incertidumbres en los modelos asumidos por los expertos.

Se espera un aumento de las precipitaciones, así como de sus variaciones anuales, sobre todo en medias y altas latitudes del hemisferio norte y durante el invierno antártico; pero se prevé una disminución de las precipitaciones en otras latitudes. También se espera un incremento en la magnitud de ciertos fenómenos extremos. Sin embargo, no existe suficiente información para realizar estimaciones precisas acerca de ciertos fenómenos extremos que pudieran darse.

La Figura 3-3 muestra una reducción, para la región centroamericana, de entre el 30 y 20 % de precipitación para finales de este siglo e inicios del siguiente, lo cual coincide en gran medida con los escenarios locales generados para Guatemala, como se describe a continuación.

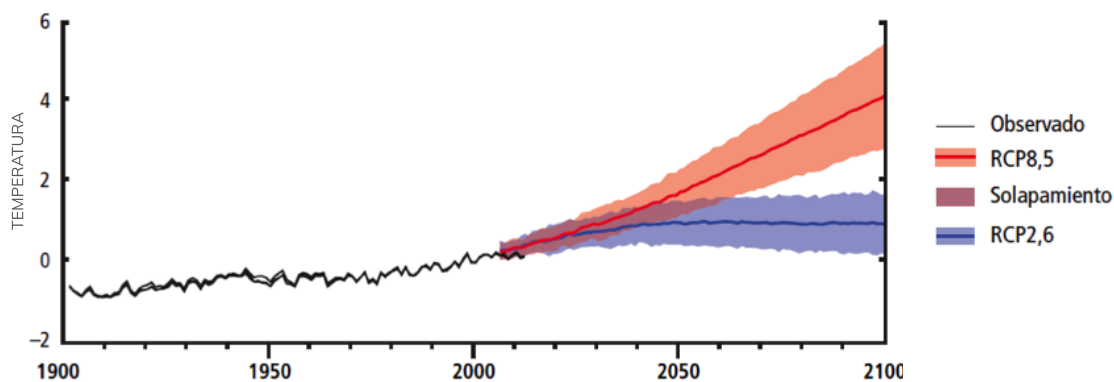


Figura 3-2 Cambio en la temperatura media global de la superficie para los escenarios RCP2.6 y RCP 8.5. En el eje y se presenta el cambio de temperatura en grados Celsius. En el eje x se muestran los años. El escenario RCP2.6 plantea reducción de emisiones de GEI; mientras que el escenario RCP 8.5 presenta un aumento en las emisiones de GEI. Tomado de IPCC (2014).

4. De acuerdo con la Real Academia Española (RAE, 2017), se refiere a algo que cuenta con cobertura nevada frecuentemente.

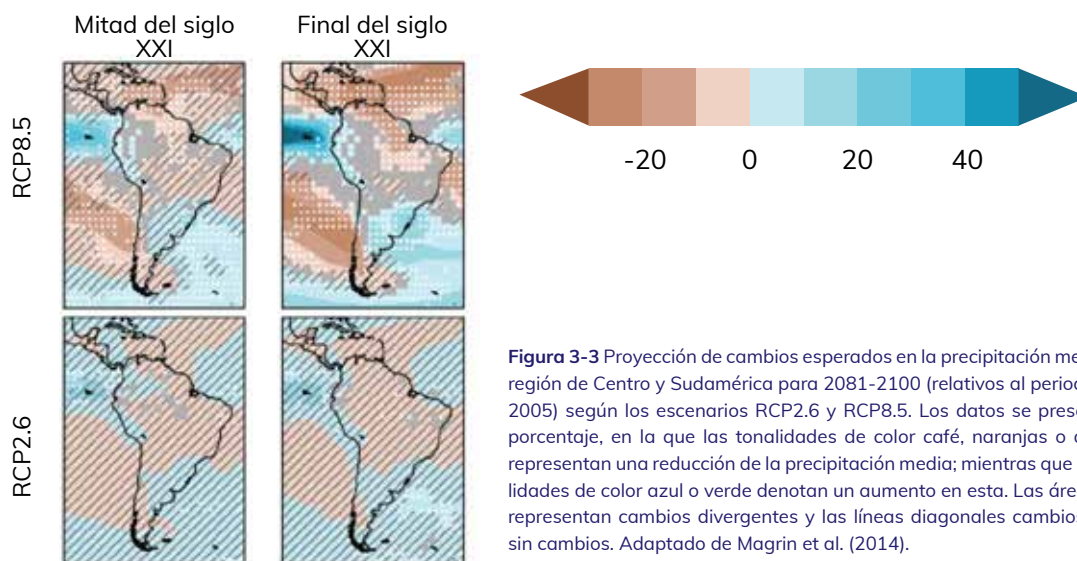


Figura 3-3 Proyección de cambios esperados en la precipitación media de la región de Centro y Sudamérica para 2081-2100 (relativos al periodo 1986-2005) según los escenarios RCP2.6 y RCP8.5. Los datos se presentan en porcentaje, en la que las tonalidades de color café, naranjas o amarillas representan una reducción de la precipitación media; mientras que las tonalidades de color azul o verde denotan un aumento en esta. Las áreas grises representan cambios divergentes y las líneas diagonales cambios leves o sin cambios. Adaptado de Magrin et al. (2014).

3.2 Proyecciones de cambio climático para Guatemala

En este apartado se presentan los distintos estudios realizados por algunas instituciones gubernamentales y académicas relacionadas con las proyecciones de cambio climático para Guatemala.

3.2.1 Balances de energía en la atmósfera terrestre

Inicialmente, el gobierno de Guatemala trabajó los escenarios para la Primera Comunicación Nacional en el año 2001; en esta comunicación utilizó los escenarios del IPCC denominados IS92, que estiman valores de GEI, para luego generar la estimación de la temperatura media global. Los escenarios que se utilizaron fueron el IS92c, el IS92a y el IS92e, que son escenarios de «no intervención»; por lo tanto, no consideran políticas de intervención orientadas a mitigar o reducir el cambio climático. Los escenarios fueron escogidos considerando que dos de ellos (IS92c, IS92e) producen emisiones futuras extremas, mientras que el IS92a es un escenario intermedio que sigue los patrones de la línea base definida para Guatemala, según los estudios del clima realizados en el marco de la Primera Comunicación Nacional de Guatemala. Estos escenarios consideran sensibilidades climáticas alta, media y baja (1.5 °C, 2.5 °C y 4.5 °C respectivamente), y un amplio rango de predicciones de calentamiento global basadas en el incremento de los GEI (MARN, 2001).

Los tres escenarios de cambio climático escogidos para Guatemala (ECCG) intentan cubrir un mayor

rango posible de futuros cambios del clima, siguiendo los patrones de variabilidad climática del país. Los escenarios fueron denominados Central (ECCG_C), Optimista (ECCG_HA Húmedo Alto) y Pesimista (ECCG_SA Seco Alto) (MARN, 2001).

Los modelos utilizados en la Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático fueron el HADCM2, el UKHI y el ECHAM3TR; los tres toman en cuenta los resultados de las proyecciones obtenidas de los Modelos Climáticos Globales para generar los escenarios de emisiones IS92c, IS92a e IS92e, con sensibilidades climáticas baja y alta. Los escenarios de cambio climático identificados para la evaluación de los impactos están representados por cinco situaciones: un escenario húmedo de poco cambio (ECCG_HB); un escenario húmedo de mucho cambio (ECCG_HA); un escenario seco de poco cambio (ECCG_SB); un escenario seco de mucho cambio (ECCG_SA); y un escenario central (ECCG_C) (MARN, 2001).

Los escenarios que muestran un mayor o menor calentamiento para el país son aquellos que están asociados con los resultados de los modelos ECCG_SA y ECCG_HA respectivamente. Los escenarios son consistentes en señalar un incremento de la temperatura, manteniendo sin grandes alteraciones la estructura del patrón de variación anual (Figura 3-4). Solo bajo el escenario ECCG_C, el patrón se deforma ligeramente como resultado de un menor calentamiento en los meses de junio y julio (MARN, 2001). El patrón de variación anual para la precipitación futura presenta características semejantes en todos los escenarios seleccionados (Figura 3-5).

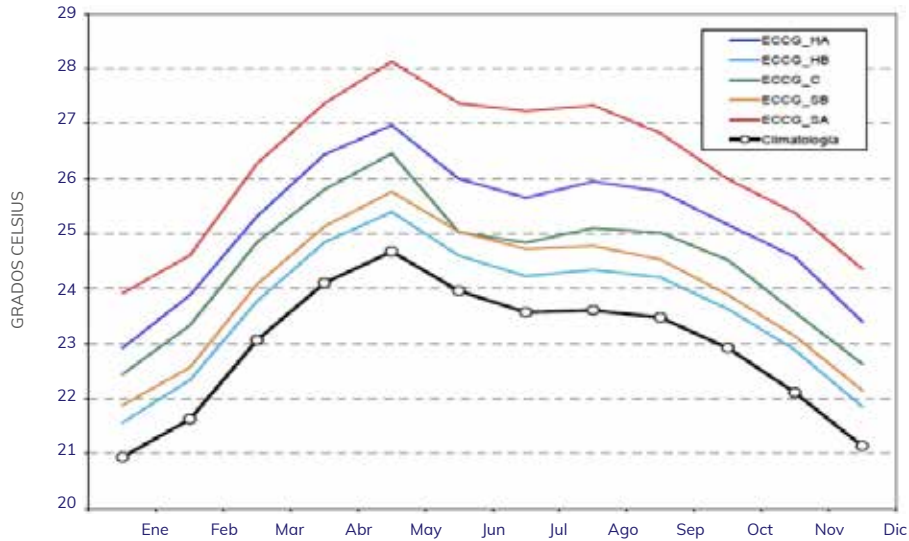


Figura 3-4 Proyección de la temperatura del aire para el año 2050 en Guatemala para los escenarios ECGG_HA, ECGG_HB, ECGG_C, ECGG_SB, ECGG_SA. En el eje y se muestra la temperatura del aire en grados Celsius, mientras que en el eje x el mes del año. ECGG_HA = Escenario húmedo de mucho cambio. ECGG_HB = escenario húmedo de poco cambio. ECGG_C = Escenario central. ECGG_SB = Escenario seco de poco cambio. ECGG_SA = escenario seco de poco cambio. Adaptado de MARN (2001).

48

Las estimaciones apuntan hacia una reducción más o menos intensa de las precipitaciones en el trimestre julio-septiembre y mayor y más evidente en agosto. Este resultado implica la intensificación del fenómeno conocido como «veranillo» o «canícula» que puede tener serias implicaciones para la agricultura. Las variaciones más notables se producen para

el escenario ECGG_SA; en los otros escenarios, los cambios de precipitación son modestos. La pronunciada reducción de las precipitaciones anuales en el escenario ECGG_SA es importante, debido a que la zona de lluvias deficitarias que hoy se encuentran confinadas al valle del Motagua se ampliaría hacia el occidente y al suroriente del país (MARN, 2001).

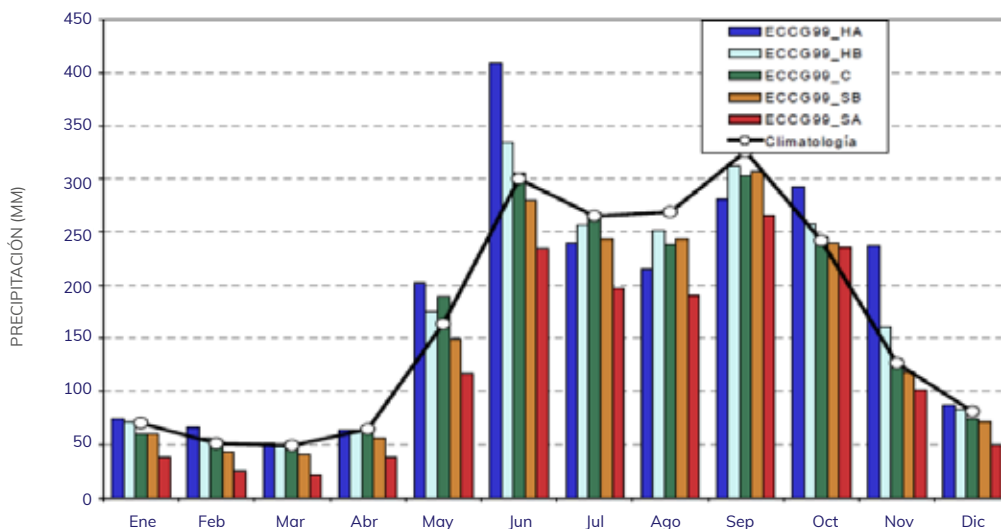


Figura 3-5 Proyección de variación anual de la precipitación para el año 2050 en Guatemala para los escenarios ECGG_HA, ECGG_HB, ECGG_C, ECGG_SB, ECGG_SA. En el eje y se muestra la variación de precipitación anual, mientras que en el eje x el mes del año. ECGG_HA = Escenario húmedo de mucho cambio. ECGG_HB = escenario húmedo de poco cambio. ECGG_C = Escenario central. ECGG_SB = Escenario seco de poco cambio. ECGG_SA = escenario seco de poco cambio. Adaptado de MARN (2001).

3.2.2 Modelos de cambio climático para estimar impactos en la diversidad biológica y economía en Centroamérica, México y República Dominicana

El Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC, 2008) hizo un estudio de los Impactos Potenciales del Cambio Climático sobre la Biodiversidad en Centroamérica, México y

República Dominicana, considerando proyecciones de escenarios en el mejor de los casos (B2) y en el caso más extremo (A2) (Figura 3-6 y Figura 3-7).

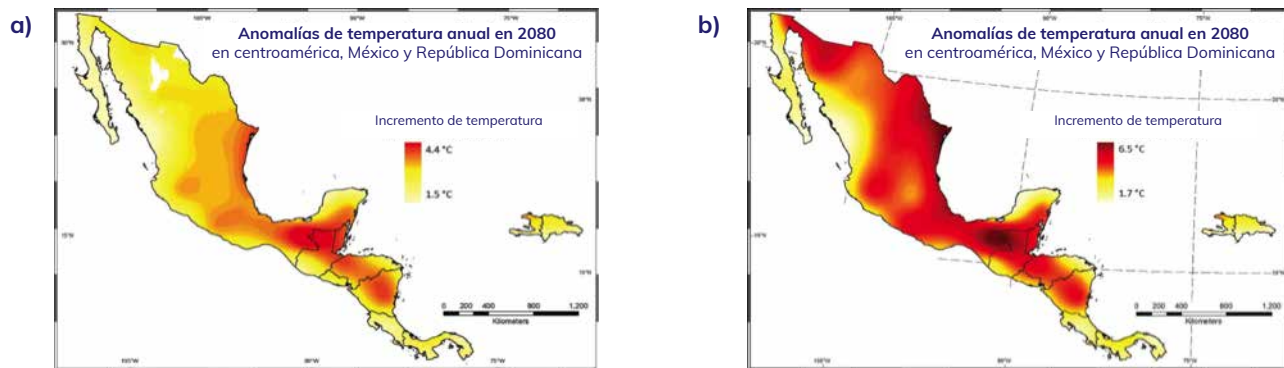


Figura 3-6 Anomalías de temperatura anual proyectadas para el año 2080 en Centroamérica, México y República Dominicana: a) escenario B2, que considera una disminución de la generación de gases de efecto invernadero a nivel mundial; b) escenario A2, que considera un aumento de la generación de gases de efecto invernadero a nivel mundial. Adaptado de CATHALAC (2008).

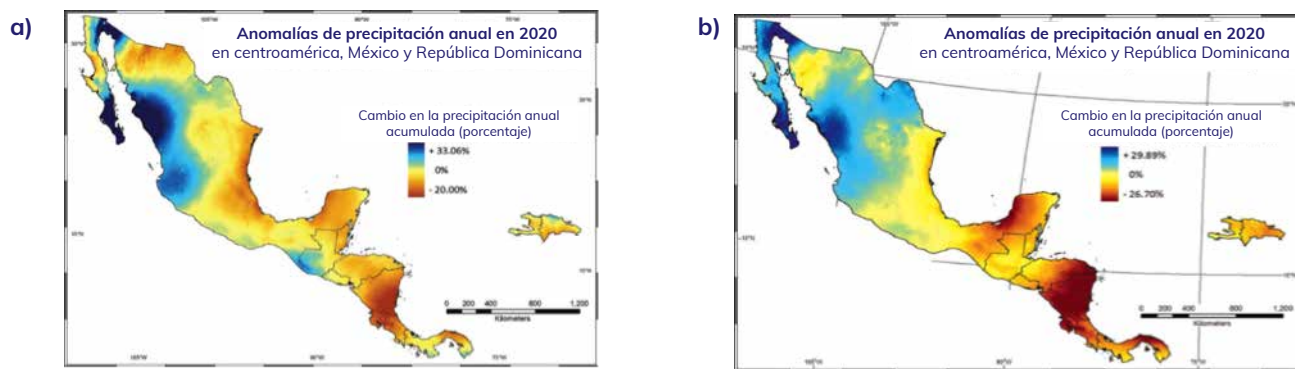


Figura 3-7 Anomalías en la precipitación anual proyectadas para el año 2020 en México, Centroamérica y República Dominicana: a) escenario B2, que considera una disminución de la generación de gases de efecto invernadero a nivel mundial; b) escenario A2, que considera un aumento de la generación de gases de efecto invernadero a nivel mundial. Adaptado de CATHALAC (2008).

También se generaron proyecciones climáticas regionales usando los escenarios propuestos por el Tercer Reporte de Evaluación del IPCC sobre emisiones y el programa MAGICC/SCENGEN (Hulme et al., 2000; Hulme & Sheard, 1999). La Figura 3-8 muestra la información sobre precipitaciones, proyectando variaciones dentro de la región para cada escenario, de tal forma que será probable encontrar aumentos de precipitación anual en ciertas zonas, como el sureste del istmo, de entre 2 % y 6 % para 2050 y de 3 % a 9 % en 2080, según el escenario. El ejercicio arrojó la probabilidad de

que en el resto del istmo se registren reducciones sustanciales de precipitación anual entre 8 % y 18 % en 2050 y entre 8 % y 27 % en 2080. La Figura 3-9 presenta la distribución espacial de los escenarios climáticos ante distintos escenarios de emisiones globales A1, B1, A2 y B2, señalando los cambios proyectados en la temperatura anual para los años 2050 y 2080, con respecto al periodo 1961-1990. El análisis sugiere que la temperatura de la región podría aumentar entre 0.9 °C y 2.8 °C para 2050 y 1.2 °C y 4.1 °C para 2080 (CEPAL, 2011).

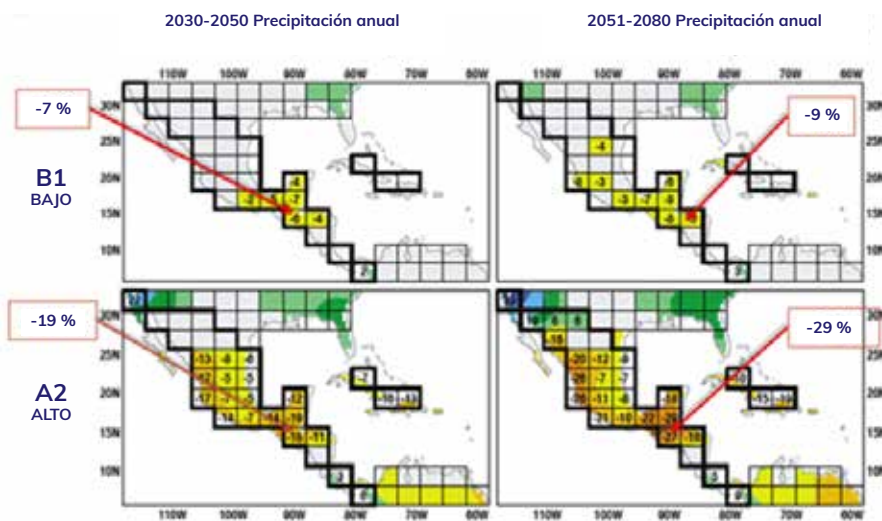


Figura 3-8 Cambios en la precipitación anual proyectados para los años 2030-2050 y 2051-2080 en Centroamérica, México y República Dominicana: a) escenario B2, que considera una disminución de la generación de gases de efecto invernadero a nivel mundial; b) escenario A2, que considera un aumento de la generación de gases de efecto invernadero a nivel mundial. Adaptado de CEPAL (2011).

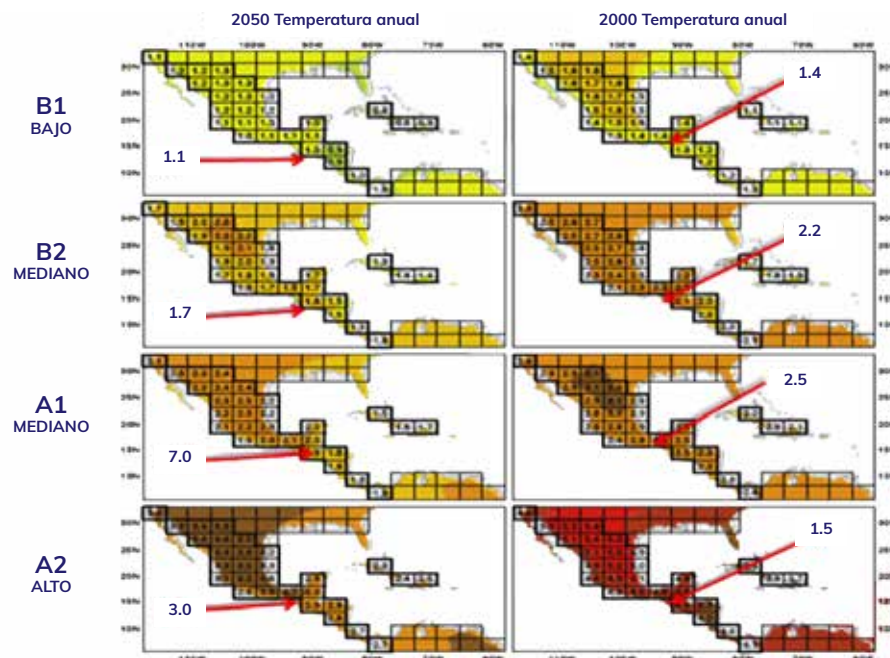


Figura 3-9 Cambios de temperatura superficial proyectados para el 2050 y el 2080 en Centroamérica, México y República Dominicana: a) escenario B2, que considera una disminución de la generación de gases de efecto invernadero a nivel mundial; b) escenario B1, que considera que el nivel de generación de gases de efecto invernadero se mantiene estable; c) escenario A1, que considera un aumento de la generación de gases de efecto invernadero a nivel mundial; d) escenario A2, que considera un mayor aumento de la generación de gases de efecto invernadero a nivel mundial. Adaptado de CEPAL (2011).

3.2.3 Cambio climático y diversidad biológica: elementos para analizar sus interacciones en Guatemala con un enfoque ecosistémico

En el año 2011, el Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (IARNA) analizó los escenarios A2 y B2; en estos se asume que el cambio climático en Guatemala se enfrentará de una manera aislada, es decir de una forma local. Los dos escenarios que fueron analizados usaron los horizontes de tiempo de los años 2020, 2050 y 2080 (Iarna-URL, 2011).

Para proyectar la temperatura y precipitación media anual que se espera para cada escenario, se usó el modelo matemático elaborado por el Centro Hadley de Investigación y Predicción Climática denominado HCCPR-HADCM3. Este modelo fue seleccionado debido a que se le considera el modelo que recoge, de mejor manera, las características climáticas de la región mesoamericana. Teniendo los datos de temperatura y precipitación pluvial proyectados, según escenarios y horizontes de tiempo, se elaboraron los mapas de las posibles distribuciones que van a tener las zonas de vida en el corto (año 2020), mediano (año 2050) y largo plazo (año 2080) (Iarna-URL, 2012).

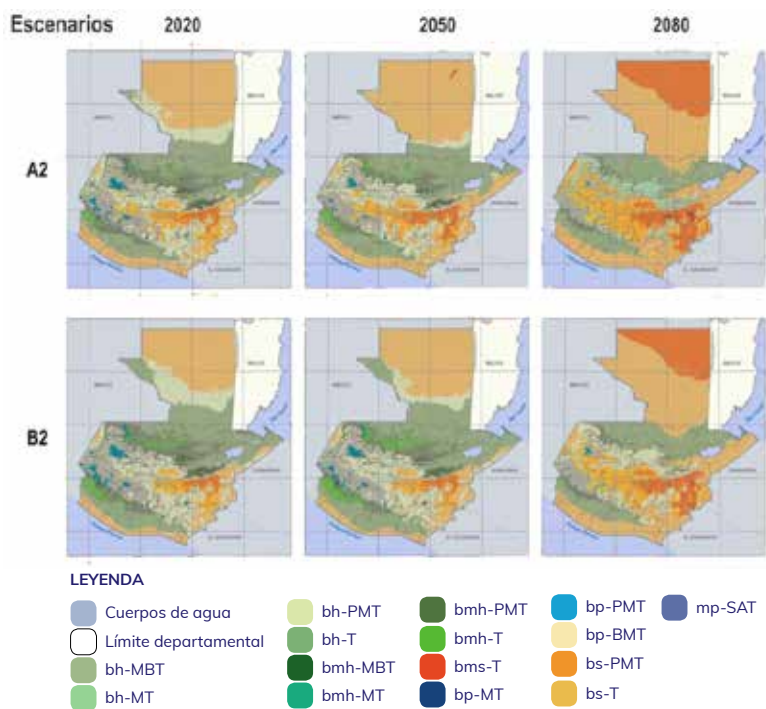


Figura 3-10 Los escenarios del cambio climático en Guatemala a nivel de zonas de vida con base en dos escenarios y tres horizontes de tiempo (años 2020, 2050 y 2080). El escenario A2 muestra un escenario «tendencial» en el que se aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero; el escenario B2 muestra un escenario «optimista» donde se priorizó la protección del ambiente. Los colores representan las zonas de vida y su distribución (bh-MBT= bosque húmedo-montano bajo tropical, bh-MT= bosque húmedo-montano tropical, bh-PMT= bosque húmedo-premontano tropical, bh-T= bosque húmedo-tropical, bmh-MBT= bosque muy húmedo-montano bajo tropical, bmh-MT= bosque muy húmedo-montano tropical, bmh-PMT= bosque muy húmedo-premontano tropical, bmh-T= bosque muy húmedo, bms-T= bosque muy seco tropical, bp-MT= bosque pluvial-montano tropical, bp-PMT= bosque pluvial-premontano tropical, bs-MBT= bosque seco-montano bajo tropical, bs-PMT= bosque seco-premontano tropical, bs-T= bosque seco-tropical y mp-SAT= monte pluvial-subandino tropical). Adaptado de Iarna-URL (2012).

Estos escenarios se enfocaron en proyectar los cambios en las zonas de vida para Guatemala hasta el año 2080. Este estudio menciona que el territorio nacional se encamina a transformarse en una zona con significativo déficit de agua para ese horizonte (Iarna-URL, 2011).

Para el año 2000, Guatemala generaba agua de manera excedentaria, tal como lo demuestra la dominancia de las provincias húmedas, muy húmedas y pluviales. Para el 2080, seremos un país predominantemente seco, debido a que la

evapotranspiración potencial va a ser mayor que la precipitación pluvial. En otras palabras, Guatemala va a pasar a ser un país deficitario en recursos hídricos (Iarna-URL, 2011).

Para el año 2050 se espera un aumento de la temperatura de 0.5 °C a 2.5 °C. Se prevé una disminución de la precipitación de entre el 0 y 10 % en la región sur, el altiplano occidental, los departamentos de Huehuetenango y Quiché, el norte de Baja Verapaz y la región occidental de Alta Verapaz; y de entre 10 y 20 % en la región central

(Chimaltenango, Sacatepéquez y Guatemala) y nororiente del país, decreciendo hacia el norte de Petén. Por tanto, se esperan cambios drásticos en el territorio, que se pueden expresar en nuevas definiciones potenciales de zonas de vida (Iarna-URL, 2011).

3.2.4 Segunda Comunicación Nacional de Guatemala la sobre Cambio Climático

En el año 2015 se publicó la Segunda Comunicación Nacional de Guatemala sobre Cambio Climático, en la cual se trabajaron los escenarios propuestos por el cuarto informe sobre cambio climático del IPCC. Para ello, se utilizaron las proyecciones generadas por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH) para los años 2030, 2050, 2070 y 2090 a partir de

las salidas del modelo de circulación general HadAM3P bajo los SRES A2 y B1 (Figura 3-11 y Figura 3-12) (MARN, 2015).

En estas proyecciones se observa una tendencia al incremento de la precipitación anual entre la década de 2010 a 2020. Sin embargo, de la década de 2030 a 2090 se observa una variabilidad bien marcada, ya que entre la década de 2030 a 2040 se observa un decremento de la lluvia anual nacional; entre la década de 2040 a 2050 se observa un incremento de esta; entre las décadas de 2050 a 2070 se observa un decremento de lluvia y, posteriormente, entre las décadas de 2070 a 2080 la lluvia vuelve a aumentar. El mismo comportamiento se observa en ambas proyecciones, pero en el escenario A2 los cambios son más bruscos comparados con el escenario B1 (MARN, 2015).



Figura 3-11 Proyecciones de precipitación anual para los escenarios B1 y A2 por década en Guatemala. El escenario B1 considera que la generación de emisiones de gases de efecto invernadero se mantiene estable, mientras que el escenario A2 considera un aumento en las emisiones. Adaptado de MARN (2015).

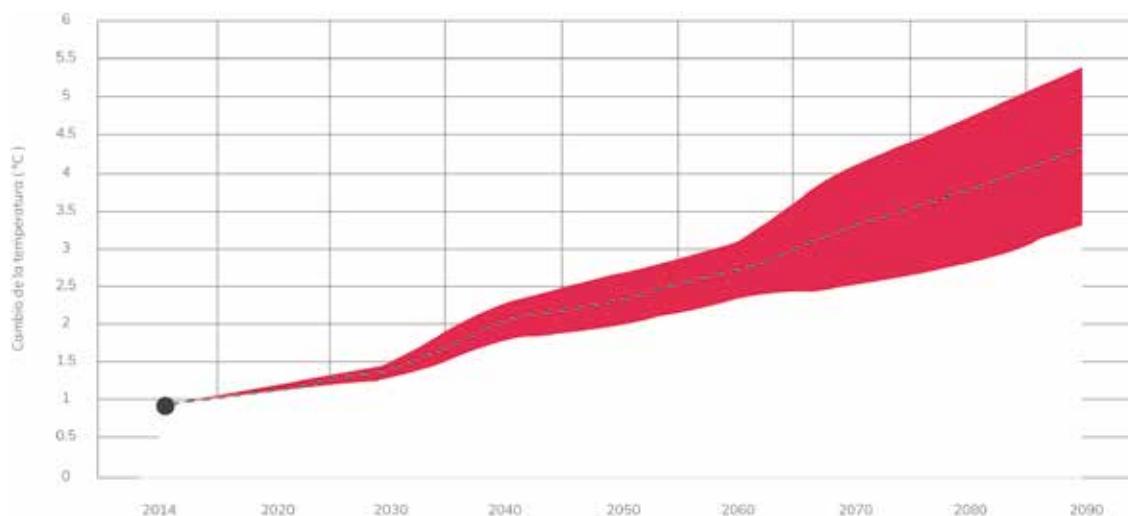


Figura 3-12 Proyecciones de temperatura para los escenarios B1 y A2 por década en Guatemala. El escenario B1 considera que la generación de emisiones de gases de efecto invernadero se mantiene estable, mientras que el escenario A2 considera un aumento en las emisiones. Tomado de MARN (2015).

Las proyecciones de temperatura presentan una tendencia creciente en ambos escenarios. El escenario A2 presenta un cambio mayor comparado con el escenario B1. En los últimos 14 años, el incremento de temperatura a nivel nacional ha sido de 0.94 °C, comparado con el periodo base (1971-2000). Las tendencias muestran cambios de temperatura entre 1.1 y 1.2 °C para la década del 2020, entre 1.3 y 1.5 °C para la década de 2030, entre 2 y 2.7 °C para la década de 2050, entre 2.5 y 4.1 °C para la década de 2070, y entre 3.3 y 5.4 °C para la década de 2090. Estos escenarios se proyectaron hasta el año 2090 (MARN, 2015).

3.2.5 Impactos climáticos para Guatemala: resultados preliminares de los modelos climáticos regionales y globales IPCC AR5

En el año 2015, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) publicó junto a la Universidad de Nebraska de Estados Unidos unos escenarios, para los cuales utilizó los escenarios propuestos en el quinto informe del IPCC. Dentro de los aspectos

generales de ese estudio se puede mencionar que la escala espacial de resolución fue reducida a cuatro kilómetros y la escala temporal fue en meses. Esto se basó en el escenario global de emisiones RCP8.5, que es el escenario más pesimista sobre emisiones de GEI, generado para el informe AR5 del IPCC. Se verificaron las salidas del modelo de Nebraska con los registros nacionales de varias estaciones entre los años 1971 y 2010 (Figura 3-13 y Figura 3-14) (Oglesby & Rowe, 2014).

En general se proyecta un aumento de temperatura entre los 1 y 2 °C en su mayoría; entre 2.5 y 3 °C para algunos sectores en específico, para la década del 2060 al 2070 respecto a la climatología de los años 2011-2020 (Oglesby & Rowe, 2014).

Para todos los meses de la década del 2060 al 2070 se espera reducción de lluvias en la mayoría del territorio, alrededor de 50 a 100 mm por mes, lo que implicaría una reducción de casi un 25 %. También se estima un cambio en las distribuciones de intensidad (Oglesby & Rowe, 2014).

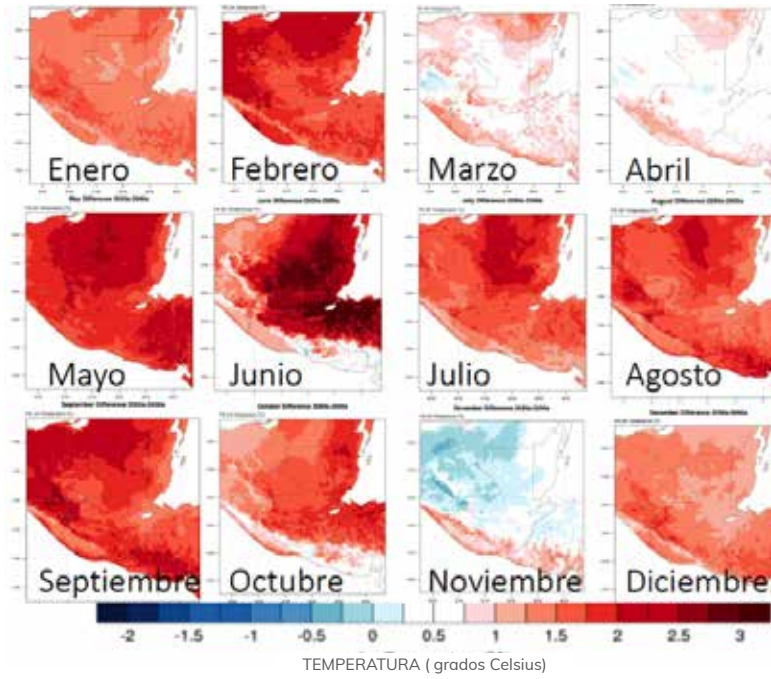


Figura 3-13 Proyecciones de cambios de temperatura por mes para los años del 2060 al 2070, basadas en el escenario RCP8.5 para Guatemala. El escenario RCP8.5 proyecta un aumento en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, siendo el más pesimista. La temperatura se expresa en el cambio (aumento o disminución) en grados Celsius, siendo las tonalidades azules un enfriamiento y las rojas un calentamiento. Adaptado de Oglesby & Rowe (2014).

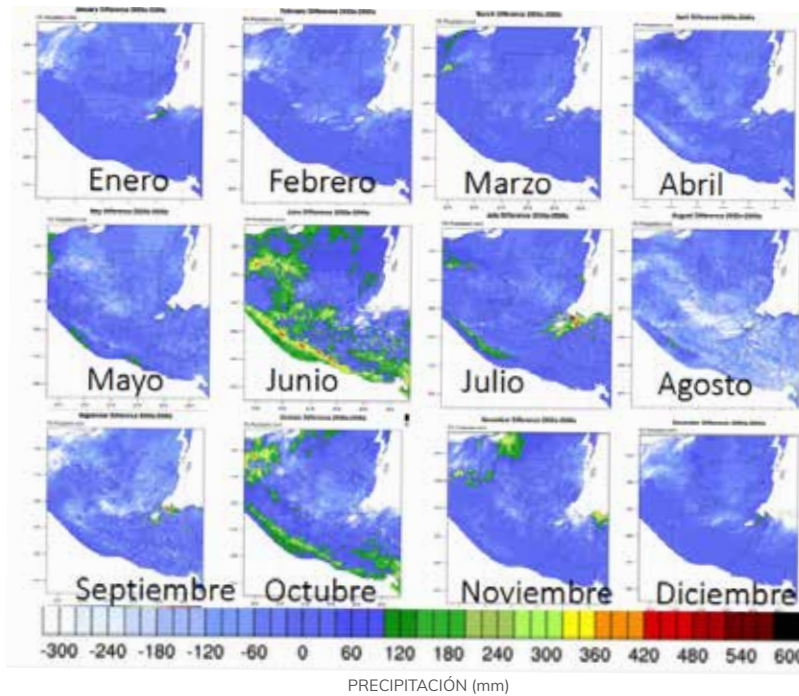


Figura 3-14 Proyecciones de cambios de precipitación por mes para los años del 2060 al 2070, basadas en el escenario RCP8.5 para Guatemala. El escenario RCP8.5 proyecta un aumento en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, siendo el más pesimista. La precipitación se expresa en el cambio (aumento o disminución) en milímetros acumulados, donde las tonalidades blancas representan una disminución mientras que las verdes y rojas un aumento. Tomado de Oglesby & Rowe (2014).

3.2.5.1 Comparaciones y validación de estos modelos

Navarro (2015) validó las proyecciones generadas por la Universidad de Nebraska y determinó su grado de incertidumbre para tener mejor certeza de las mediciones que estos realizan. Las variables de interés para la validación fueron temperatura media y precipitación mensuales. El área de estudio fue la vertiente del Pacífico de Guatemala.

○ **Temperatura media:** Los resultados demuestran que, para la variable de temperatura media, las proyecciones de los escenarios son muy acertadas a tal punto que únicamente presentan un 17 % de incertidumbre. A pesar del bajo nivel de incertidumbre, los resultados reflejan que los escenarios de cambio climático subestiman (en algunos casos) los datos de temperatura media, al ser comparados con los datos reales obtenidos de las estaciones meteorológicas distribuidas en la vertiente del Pacífico de Guatemala (Figura 3-15) (Navarro, 2015).

○ **Precipitación:** Las proyecciones de estos escenarios parecen no ser tan acertadas, debido a que los análisis estadísticos demuestran que presentan un grado de incertidumbre del 63 %. Los resultados demuestran que los escenarios de cambio climático sobrestiman los datos de precipitación, al ser comparados con los datos reales obtenidos de las estaciones meteorológicas de la vertiente del Pacífico de Guatemala. Es importante mencionar que la escala temporal de los escenarios de cambio climático tiene mucho que ver con las predicciones que estos tengan, debido a que el análisis también se realizó a nivel de regiones (a nivel más local). En ese análisis se aprecia que al reducir el área de estudio, los escenarios de cambio climático varían en sus predicciones y el grado de incertidumbre aumenta; por lo tanto, es aconsejable utilizarlos únicamente a una escala más global (nivel de vertientes o de país) (Figura 3-16) (Navarro, 2015).

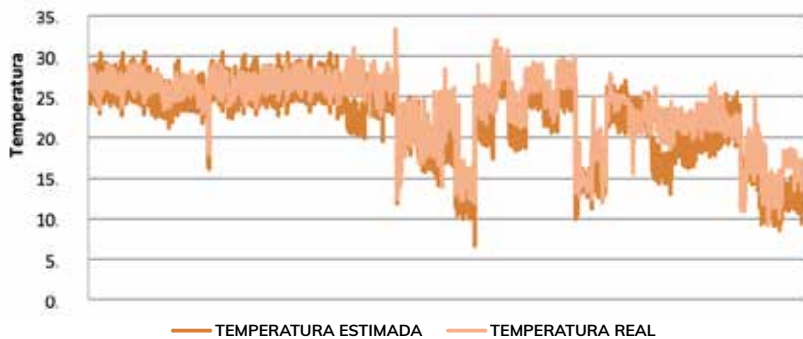


Figura 3-15 Comparación de la temperatura estimada por las proyecciones de los escenarios de cambio climático planteadas por la Universidad de Nebraska y la temperatura real registrada para la vertiente del Pacífico. En el eje y se muestran los valores de temperatura (en grados Celsius) para la serie de datos (eje x) que corresponde a meses del periodo 2001-2013. Adaptado de Navarro (2015).

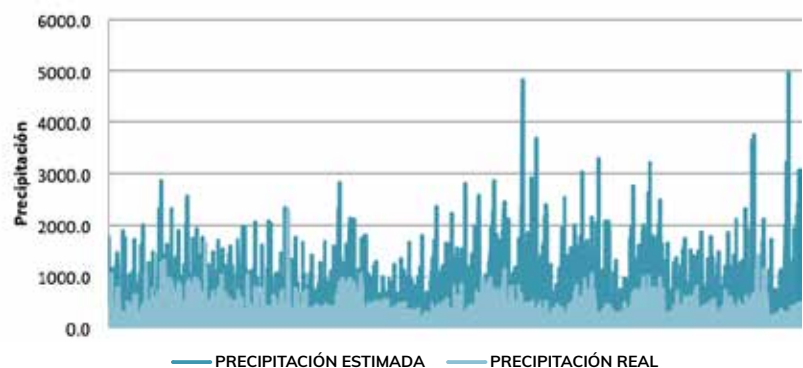


Figura 3-16 Comparación de la precipitación estimada por las proyecciones de los escenarios de cambio climático planteadas por la Universidad de Nebraska y la precipitación real registrada para la vertiente del Pacífico. En el eje y se muestran los valores de precipitación (en milímetros) para la serie de datos (eje x) que corresponde a meses del periodo 2001-2013. Adaptado de Navarro (2015).

3.2.6 Escenarios de aridez para Guatemala para los años 2030, 2050 y 2070

Pons y colaboradores (2018) utilizaron un modelo de circulación general para determinar la relación futura de la temperatura y precipitación para Guatemala en los años 2030, 2050 y 2070; encontraron un incremento en el déficit hídrico hacia finales de siglo en

regiones secas del país, que también sugiere cambios sustanciales en regiones tradicionalmente húmedas, donde se concentra la mayoría de la agricultura de subsistencia (sur de Petén) y la agroindustria (costa sur) (Figura 3-17).

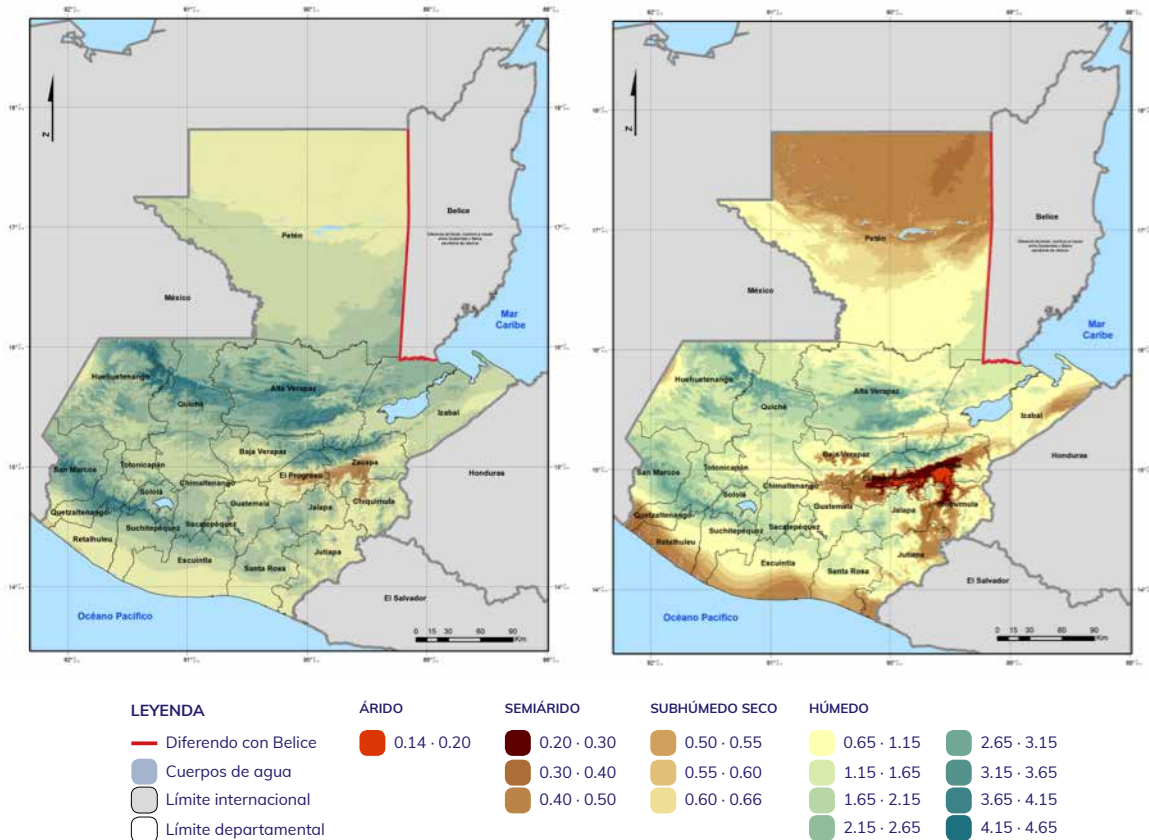


Figura 3-17 Proyecciones de cambios en el índice de aridez para Guatemala: a) Línea base años 1960-1990; b) Proyección al año 2070 para el escenario RCP8.5. El escenario RCP8.5 proyecta un aumento en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, siendo el más pesimista. Adaptado de Pons et al. (2018).

3.2.7 Resumen de proyecciones climáticas para Guatemala

Se consultaron diversos estudios realizados para Guatemala y se generó una tabla resumen para los valores de aumento de temperatura en grados

Celsius y los valores de aumento o disminución de precipitación en porcentaje, para los distintos años futuros (Cuadro 3-2).

Cuadro 3-2 Nomenclatura y listado de documentos consultados

Estudio	Documentos de escenarios para Guatemala	Escenario	Línea base	Año
MARN1_o	Primera comunicación sobre cambio climático en Guatemala MARN	Optimista	1961-1990	2001
MARN1_p	Primera comunicación sobre cambio climático en Guatemala MARN	Pesimista	1961-1990	2001
CATHALAC_B2	Impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad en Centroamérica, México y la República Dominicana CATHALAC	B2	1961-1990	2008
CATHALAC_A2	Impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad en Centroamérica, México y la República Dominicana CATHALAC	A2	1961-1990	2008
IARNA_B2	Cambio climático y biodiversidad IARNA-URL	B2	1950-2000	2011
IARNA_A2	Cambio climático y biodiversidad IARNA-URL	A2	1950-2000	2011
CEPAL_B2	La economía del cambio climático en Centroamérica, informe técnico CEPAL	B2	1950-2000	2011
CEPAL_A2	La economía del cambio climático en Centroamérica, informe técnico CEPAL	A2	1950-2000	2011
CEPA_Otros_A2	Cambio climático en Centroamérica: Impactos potenciales y opciones de política pública CEPAL, COSEFIN, CCAD/SICA, UKAID Y DANIDA	A2	1950-2000	2011
MARN_INSIVUMEH_B1	Segunda comunicación sobre cambio climático en Guatemala MARN-INSIVUMEH	B1	1961-1990	2015
MARN_INSIVUMEH_A2	Segunda comunicación sobre cambio climático en Guatemala MARN-INSIVUMEH	A2	1961-1990	2015
BID_MARN_RCP8.5	Impactos climáticos para Guatemala: Resultados preliminares de los modelos climáticos regionales y globales IPCC AR5	RCP8.5	1971-2010	2015

Nota: La primera columna se refiere a la institución que realizó el estudio, la segunda columna al documento donde se encuentra el escenario, la tercera columna al escenario (pesimistas en color rojo y optimistas en color verde), la cuarta columna a la línea base (periodo) de cada estudio y la última a la fecha de publicación. Elaboración propia, basado en CATHALAC (2008), CEPAL (2011), IARNA-URL (2011, 2012), MARN (2001, 2015) y Oglesby & Rowe (2014).

En la Figura 3-18 y el Cuadro 3-3 se puede observar que en el peor de los casos se espera que, para Guatemala, la temperatura aumente seis grados para el año 2100 y se espera una reducción de

precipitación de más del 30 % (Figura 3-19 y Cuadro 3-4). En el mejor de los casos, la temperatura podría aumentar 2.5 grados y la precipitación se reduciría a solo un 12 % aproximadamente.

Cuadro 3-3 Tendencias del conjunto de proyecciones de aumento de temperatura en distintos estudios en Guatemala

	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
MARN1_o			1.2		2.5					
MARN1_p			2.4		3.3					
CATHALAC_B2	0.3	1.0						2.0		
CATHALAC_A2	1.2	2.0						3.0		
IARNA_B2		0.1			2.0					
IARNA_A2		1.0			2.5					
CEPAL_B2					1.1			1.4		2.2
CEPAL_A2					3.0			4.5		4.7
VAR_A2		0.0			3.0					6.0
MARN_INSIVUMEH_B1		1.1	1.3		2.0		2.5		3.3	
MARN2+_INIVUMEH_A2		1.2	1.5		2.7		4.1		5.4	
BID_MARN_RCP8.5					2.5	3.0				
Aumento máximo	1.2	2.0	2.4	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	5.4	6.0
Aumento mínimo	0.3	0.0	1.2	1.2	1.1	1.8	2.5	1.4	3.3	2.2
Promedio general	0.8	0.9	1.4	1.9	2.4	2.8	3.3	2.7	4.4	4.3
Promedio max - min	0.8	1.0	1.8	2.0	2.2	2.8	3.3	3.0	4.4	4.1

Nota: La primera columna se refiere al estudio que generó la proyección de aumento de temperatura que se presenta en el cuadro. El aumento de temperatura se presenta en grados Celsius. Los datos que se encuentran en rojo son producto de la interpolación entre la década previa y la década posterior. La fila de promedio general se refiere al promedio de todas las proyecciones de temperatura para esa década; mientras que la fila de promedio max-min consta del promedio entre el aumento máximo y el aumento mínimo. Elaboración propia, basado en CATHALAC (2008), CEPAL (2011), IARNA-URL (2011, 2012), MARN (2001, 2015) y Oglesby & Rowe (2014).

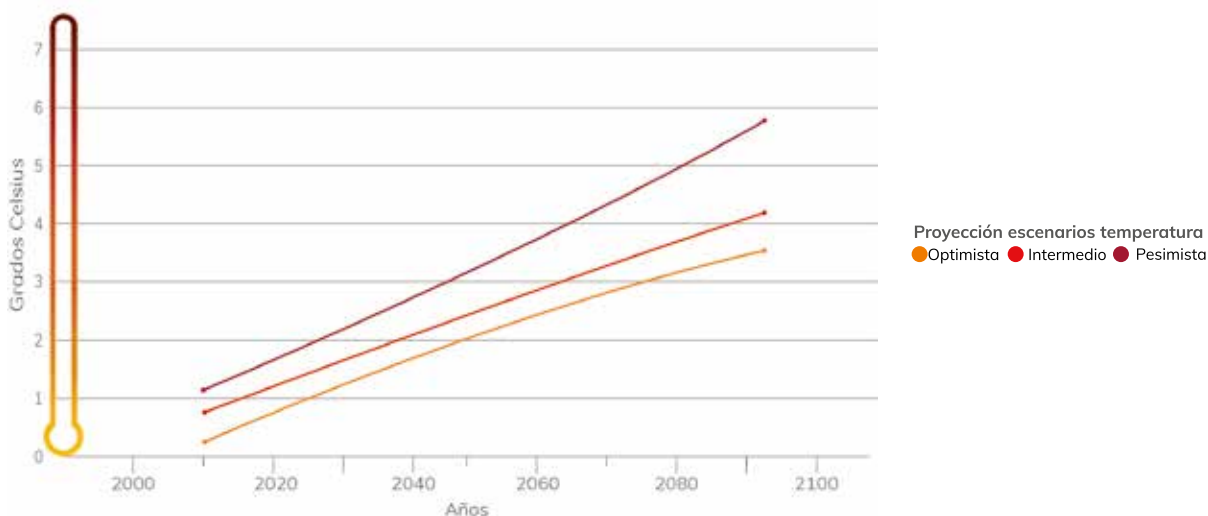


Figura 3-18 Tendencias del conjunto de proyecciones de temperatura de distintos estudios en Guatemala periodo 2010-2100. En el eje y se muestra el aumento de temperatura de las proyecciones respecto a la línea base promedio de los estudios consultados en grados Celsius. Elaboración propia, basado en CATHALAC (2008), CEPAL (2011), IARNA-URL (2011, 2012), MARN (2001, 2015) y Oglesby & Rowe (2014).

Cuadro 3-4 Tendencias del conjunto de proyecciones de reducción de precipitación en distintos estudios en Guatemala

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
MARN1_o		-1.00		-2.00					
MARN1_p		-18.00		-28.00					
CATHALAC_A2	-10.00						-30.00		
IARNA_B2				-10.00					
IARNA_A2				-20.00					
CEPAL_B2				-7.00			-9.00		-7.00
CEPAL_A2				-19.00			-29.00		-32.00
VAR_A2	-3.00	-9.00		-13.00					-27.00
MARN_INSIVUMEH_B1		-8.00		-9.00		-18.00		-19.00	
MARN_INSIVUMEH_A2		-9.00		-12.00		-29.00		-31.00	
MARN_Nka_RCP8.5					-15.00	-25.00			
Reducción mínima	-0.03	-0.01	-0.02	-0.02	-0.15	-0.18	-0.09	-0.19	-0.07
Reducción máxima	-0.1	-0.18	-0.23	-0.28	-0.15	-0.29	-0.3	-0.31	-0.32
Promedio general	-0.07	-0.09	-0.11	-0.13	-0.15	-0.24	-0.23	-0.25	-0.22
Promedio min - max	-0.10	-0.10	-0.12	-0.15	-0.15	-0.24	-0.20	-0.25	-0.20

Nota: La primera columna se refiere al estudio que generó la proyección de reducción de precipitación que se presenta en el cuadro. La reducción de la precipitación está dada en porcentaje. Los datos que se encuentran en rojo son producto de la interpolación entre la década previa y la década posterior. La fila de promedio general se refiere al promedio de todas las proyecciones de precipitación para esa década; mientras que la fila de promedio máximo consta del promedio entre la reducción mínima y la reducción máxima. Elaboración propia, basado en CATHALAC (2008), CEPAL (2011), Iarna-URL (2011, 2012), MARN (2001, 2015) y Oglesby & Rowe (2014).

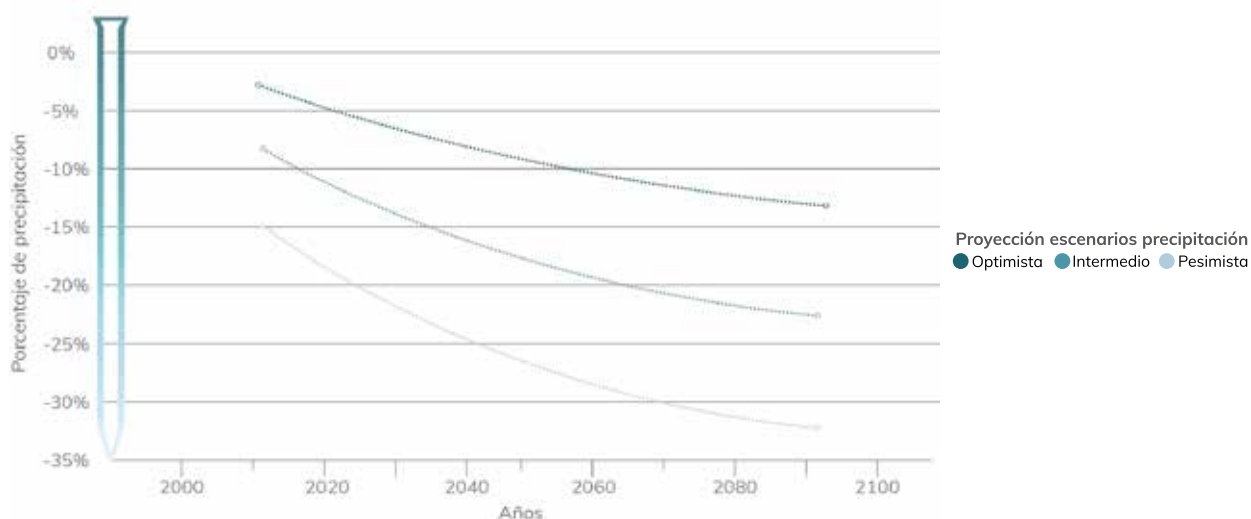


Figura 3-19 Tendencias del conjunto de proyecciones de reducción de precipitación en porcentaje de distintos estudios en Guatemala, periodo 2010-2100. El eje y muestra los cambios en la precipitación proyectados (valores positivos representan aumentos de precipitación, mientras que los valores negativos representan reducciones) con respecto a la línea base promedio de todos los estudios. Elaboración propia, basado en CATHALAC (2008), CEPAL (2011), Iarna-URL (2011, 2012), MARN (2001, 2015) y Oglesby & Rowe (2014).

3.3 Conclusiones

Los escenarios de cambio climático a futuro indican que la temperatura podría incrementarse entre 0.5° C hasta 3.5° C para 2050 y hasta 6° C para fines de siglo en Guatemala. Se estiman disminuciones en la precipitación; así que, para finales del siglo, la disminución podría llegar a un 30 %.

Guatemala no solo es vulnerable ante un posible cambio climático, sino que también es vulnerable a la variabilidad climática. La vulnerabilidad, ante la variabilidad del clima de las distintas regiones del país, podría verse incrementada por el cambio climático.

A nivel nacional y comunitario, la información climática y socioeconómica se debe evaluar para identificar las vulnerabilidades y riesgos, para analizar los posibles impactos del clima sobre las comunidades.

Se necesita también información socioeconómica sobre la exposición y vulnerabilidad de la población a los cambios del clima. Estos factores dependen de características tales como los ingresos, el nivel educativo, la sanidad, o el acceso a los servicios públicos.

3.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC). (2008). Biodiversidad y cambio climático. Recuperado de <http://www.servir.net/servir-en-accion/analisis-ambientales/142-biodiversidad-y-cambio-climatico.html>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2011). *La economía del cambio climático en Centroamérica*. Reporte técnico 2011, 437. Recuperado de <http://www20.iadb.org/intal/catalogo/PE/2012/12205.pdf>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2001). *Tercer informe de evaluación. Cambio climático 2001: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico*. Ginebra. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). *Cambio climático 2007: informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. (Equipo de redacción principal, R. Pachauri, & A. Reisinger, Eds.). Ginebra. <https://doi.org/10.1038/446727a>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). *Cambio climático 2013: bases físicas. Resumen para responsables de políticas, Resumen técnico y preguntas frecuentes*. (T. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. Allen, J. Boschung, ... P. Midgley, Eds.). Ginebra. Recuperado de http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014). *Cambio climático 2014: informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. (Equipo principal de redacción, R. Pachauri, & L. Meyer, Eds.). Ginebra.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (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 pathway, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukia, ... T. Waterfield, Eds.).
- Harvey, D., Gregory, J., Hoffert, M., Jain, A., Lal, M., Leemans, R., ... Wolde, J. (1997). *Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el segundo informe de evaluación del IPCC*.

- Hulme, M., Centella-Artola, A., Barrow, E., Wigley, T. M., Raper, S., Smith, S., & Chipanshi, A. (2000). *Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook*. Norwich, UK: Climatic Research Unit.
- Hulme, M., & Sheard, N. (1999). *Escenarios de cambio climático para Mesoamérica*. Reino Unido: Unidad de Investigación Climática, Universidad de Norwich.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad de la Universidad Rafael Landívar (Iarna-URL). (2011). *Cambio climático y biodiversidad: elementos para analizar sus interacciones en Guatemala con un enfoque ecosistémico*. (Universidad Rafael Landívar, Ed.). Ciudad de Guatemala. Recuperado de <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.aspx?id=40423>
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad de la Universidad Rafael Landívar (Iarna-URL). (2012). Cambio climático y biodiversidad: un análisis de sus interacciones para Guatemala. *Observatorio Ambiental*, Año 2(No. 6), 16.
- Magrin, G. O., Marengo, J. A., Boulanger, J.-P., Buckeridge, M. S., Castellanos, E., Poveda, G., ... Vicuña, S. (2014). Central and South America. En V. R. Barros, C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir, ... L. L. White (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1499–1566). Cambridge, United Kingdom and New York, USA. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.007>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2001). *Primera comunicación nacional sobre cambio climático*. Guatemala. Recuperado de [http://www.gefonline.org/ProjectDocs/Climate Change/Guatemala - Enabling Guatemala to Prepare its First National Communication in Response to its Commitments to UNFCCC/ First National Communication to UNFCCC.pdf](http://www.gefonline.org/ProjectDocs/Climate%20Change/Guatemala-Enabling%20Guatemala%20to%20Prepare%20its%20First%20National%20Communication%20in%20Response%20to%20its%20Commitments%20to%20UNFCCC/First%20National%20Communication%20to%20UNFCCC.pdf)
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2015). *Segunda comunicación nacional sobre cambio climático Guatemala*. Guatemala.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAAMA). (2015). *Guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC: Grupo de trabajo III*. Madrid.
- Navarro, M. (2015). *Validación de escenarios de cambio climático con base en el modelo CMIP5 y el escenario de emisiones RCP 8.5 para la Vertiente del Pacífico de Guatemala para los periodos 2001 al 2013*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Oglesby, R., & Rowe, C. (2014). *Impactos climáticos para Guatemala: resultados preliminares de los modelos climáticos regionales y globales IPCC AR5*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Guatemala.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (1992). *International meteorological vocabulary*. Ginebra.
- Oviedo, B., & León, G. (2010). *Guía de procedimiento para la generación de escenarios de cambio climático regional y local a partir de los modelos globales*. Bogotá, Colombia.
- Pons, D., Castellanos, E., Conde, D., Brincker, J., Incer, D., & López, A. (2018). Escenarios de aridez para Guatemala para los años 2030, 2050 y 2070 utilizando modelos de cambio climático. *Revista Yu'am*, 2(4), 4–16.
- Real Academia Española (RAE). (2017). Nivoso. Recuperado el 1 de diciembre de 2018, de <https://drae.es/palabras/nivoso>