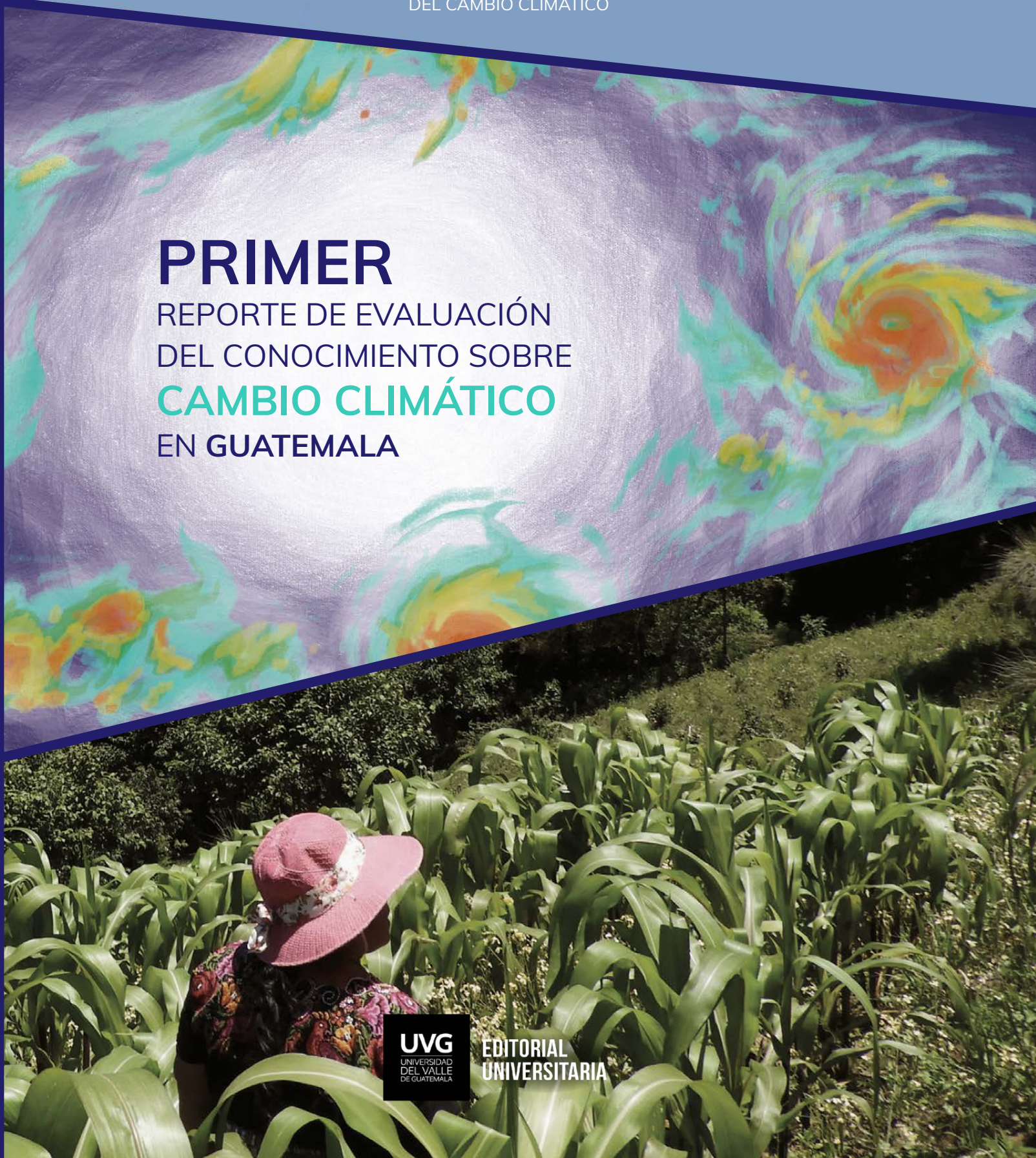
CONTENIDO ACADÉMICO

SGCCC

SISTEMA GUATEMALTECO DE CIENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

PRIMER REPORTE DE EVALUACIÓN DEL CONOCIMIENTO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO EN GUATEMALA



UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
EDITORIAL UNIVERSITARIA

AUTORES (EN ORDEN ALFABÉTICO)
Gabriela Alfaro Marroquín, Walter Arnoldo Bardales Espinoza, Manuel Basterrechea, Ramiro Batzín, Jaime Luis Carrera, Claudio Castañón, Edwin J. Castellanos; Isabel Cifuentes Soberanis, Luis E. Escobar, Omar G. Flores Beltetón, Gabriela Fuentes Braeuner, Alejandro Gándara, Víctor Manuel García Lemus, Rosario Gómez, Alex Guerra Noriega, José Luis Herrera Herrera, Marco Aurelio Juárez Calderón, Virginia Mosquera Salles, Wener Ochoa, José Roberto Ortiz, Silja Morgana Ramírez Yela, Paris Francisco Rivera Ramos y Ana Lucía Solano Garrido

AUTORES CONTRIBUYENTES (EN ORDEN ALFABÉTICO)
Daniel Ariano Sánchez, Ernesto Arredondo Leiva, Tomás Barrientos Q., Jaime Luis Carrera, Marvin Chirix, Juan Cusanero, Silvel Elías, Juan Carlos Godoy Herrera, José Luis Herrera Herrera, Amarilis Gómez, Ramiro López Ramírez, Carlos Mansilla M., Gustavo Adolfo Mayén Herrera, Melvin Navarro González, Javier Rivas Romero, Félix Sarazúa; Yeshing Upún y Óscar Estuardo Villagrán García

EDITORES
Edwin J. Castellanos; Andrea Paiz Estévez; José Escribá;
Mónica Rosales Alconero y Alejandro Santizo (libro y resumen)
Efraín Bámaca (resumen para tomadores de decisión)

REVISIÓN Y EDICIÓN DE ESTILO
Silvio Herrera

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN
Diana Cruz

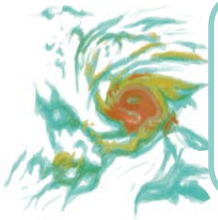
ISBN: 978-9929-8186-5-1
PRIMERA EDICIÓN, AÑO 2019

FOTOGRAFÍAS
Portada: Carlos Enrique Godoy
Internas: Andrea Paiz Estévez (a excepción de sección 3, donde se indica)

© Sistema Guatemalteco de Ciencias de Cambio Climático 2019
Se permite la copia parcial de los textos con fines educativos y su difusión sin fines de lucro, citando la fuente.

Con el apoyo económico de

Este reporte ha sido posible gracias al generoso apoyo del Pueblo de los Estados Unidos a través de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID) por medio de sus proyectos: Observatorio Económico Sostenible y Desarrollo con Bajas Emisiones. El contenido de este reporte es responsabilidad exclusiva del Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático y el mismo no necesariamente refleja el punto de vista de USAID ni del Gobierno de los Estados Unidos de América.



Para citar el documento completo: Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático (SGCCC). (2019). Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala. Castellanos, E.; Paiz-Estévez, A.; Escribá, J.; Rosales-Alconero, M. y Santizo, A. (eds). Ciudad de Guatemala: Editorial Universitaria UVG.
https://sgccc.org.gt/category/reporte-de-cambio-climatico-guatemala/
Si desea citar información específica de un capítulo: véase al inicio de este la sugerencia de cita.

PRIMER REPORTE

DE EVALUACIÓN DEL CONOCIMIENTO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO EN GUATEMALA 2019

SISTEMA GUATEMALTECO DE CIENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

EDITORES

Edwin Castellanos
Coordinador y editor general

Andrea Paiz Estévez José Escribá Mónica Rosales Alconero Alejandro Santizo

ÍNDICE GENERAL

Presentación i
Agradecimientos iii
Siglas y Acrónimos v
Resumen para tomadores de desición vii

Sección 1: Ciencia del clima 1

Capítulo 1: Antecedentes y contexto del cambio climático en Guatemala 2
Capítulo 2: Clima de Guatemala, tendencias observadas e índices de cambio climático 20
Capítulo 3: Escenarios futuros de cambio climático para Guatemala 40

Sección 2: Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático 63

Capítulo 4: ¿Qué tan vulnerables somos? Elementos para entender la vulnerabilidad de Guatemala 64
Capítulo 5: Recursos hídricos 86
Capítulo 6: Agricultura y seguridad alimentaria 108
Capítulo 7: Diversidad biológica y ecosistemas terrestres 142
Capítulo 8: Océanos y ecosistemas marino-costeros 170
Capítulo 9: Asentamientos humanos e infraestructura 192
Capítulo 10: Salud humana 212

Sección 3: Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero 227

Capítulo 11: Emisiones históricas de gases de efecto invernadero y sus tendencias 228
Capítulo 12: Acciones de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero 264

Sección 4: Conocimiento Indígena 299

Capítulo 13: Conocimiento indígena y cambio climático 300

Anexos 331

Glosario 332
Autores 352
Revisores 366
Aclaraciones 370

PRESENTACIÓN

El Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático (SGCCC) es una entidad que reúne a expertos nacionales involucrados en la investigación, planificación e implementación de medidas en torno a temas ambientales, sociales y de cambio climático. Su función principal es revisar y generar información científica relacionada con la ciencia del clima, la vulnerabilidad, la adaptación y la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para trasladarla a los tomadores de decisiones.

El SGCCC fue fundado en el año 2014 por diez instituciones que forman parte de entidades académicas, de investigación y de gobierno.

- Entidades académicas: Universidad de San Carlos de Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, Universidad Mariano Gálvez, Universidad Galileo y Universidad Rafael Landívar.
- Entidades de investigación: Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Asociación de Investigación y Estudios Sociales y Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Entidades gubernamentales: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

En el año 2017, el SGCCC inició la construcción del «Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala» como respuesta a la necesidad de reunir la información sobre este tema, que actualmente se encuentra dispersa.

Guatemala es un país altamente vulnerable a los efectos del cambio climático debido a su topografía, ubicación geográfica y situación socioeconómica. Por lo tanto, es necesario contar con información sistematizada sobre el clima y conocer las medidas que han funcionado o fracasado para reducir la vulnerabilidad y la emisión de gases de efecto invernadero. El objetivo de este reporte es presentar dicha información como insumo disponible en Guatemala para fortalecer la ciencia y las políticas públicas, y formular planes de acción con el fin de enfrentar la problemática global del cambio climático y llevar a cabo acciones correctamente orientadas a reducir el riesgo.

Este documento no es necesariamente un compendio exhaustivo de todo lo que se conoce sobre el cambio climático en el país, sino una presentación imparcial de los temas relevantes para la toma de decisión. Su enfoque es proveer información pertinente para los tomadores de decisión a nivel nacional y local.

El reporte fue elaborado por veinticuatro autores principales provenientes de once instituciones y catorce autores contribuyentes que brindaron su tiempo para la recopilación, análisis y redacción de los contenidos. La información empleada para su construcción se sustenta en alrededor de 700 documentos, entre publicaciones científicas e informes institucionales disponibles para el país. Además de la información citada, los capítulos dos (Clima de Guatemala, tendencias observadas e índices de cambio climático), once (Emisiones históricas de gases de efecto invernadero y sus tendencias) y trece (Conocimiento indígena y cambio climático) presentan datos generados por los autores y la recopilación de experiencias de campo que no habían sido documentadas anteriormente.

Los capítulos del reporte fueron sujetos a dos procesos de revisión externa. El primero fue realizado por veintitrés revisores académicos (entre dos a tres revisores por capítulo); el segundo, por veintisiete revisores provenientes de distintas instituciones tanto de la academia como de los sectores público

y privado, así como de la sociedad civil. Durante las revisiones se recibieron 1439 comentarios que fueron revisados y atendidos por los autores y la unidad técnica (editores) del reporte. Además, se realizaron dos talleres de revisión interna, cuatro eventos públicos regionales (en Quetzaltenango, Guatemala, Cobán y Santa Lucía Cotzumalguapa) y presentaciones en el Tercer Congreso Nacional de Cambio Climático realizado en Chiquimula en octubre de 2018. Durante todos estos eventos se presentaron avances del reporte y se obtuvo retroalimentación por parte de los participantes. El resumen para tomadores de decisión fue revisado en un taller por veintisiete participantes de distintos sectores del país.

La estructura de este reporte se basa en la que utiliza el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en sus informes, y responde a las directrices y guías mundialmente utilizadas para abordar el tema. Asimismo, se centra en cuatro temas divididos en cuatro secciones y trece capítulos expresados a continuación.

i. El conocimiento sobre el clima: contexto del clima y conceptos generales (capítulo 1), tendencias en el clima y variabilidad climática (capítulo 2) y proyecciones sobre cambio climático para el país (capítulo 3).
ii. Elementos para entender la vulnerabilidad y que, además, determinan el riesgo en el país (capítulo 4); análisis sectorial de los impactos, vulnerabilidad y medidas de adaptación ante el cambio climático en cuanto al recurso hídrico (capítulo 5), agricultura y seguridad alimentaria (capítulo 6), diversidad biológica y ecosistemas terrestres (capítulo 7), océanos y ecosistemas marino-costeros (capítulo 8), asentamientos humanos e infraestructura (capítulo 9), y salud (capítulo 10).
iii. Las tendencias en las emisiones de gases de efecto invernadero en Guatemala (capítulo 11) y medidas para contrarrestarlas (capítulo 12).
iv. La visión y conocimiento de los pueblos indígenas y su relación con el cambio climático (capítulo 13).

El reporte, además, cuenta con un resumen para tomadores de decisiones, que reúne la información de las cuatro secciones y la presenta con el fin de orientarlos.

Esperamos que este reporte ayude a encontrar soluciones para comprender mejor el fenómeno del cambio climático en Guatemala, reducir la vulnerabilidad a sus impactos, encontrar soluciones efectivas para adaptarnos a los cambios inminentes y reducir nuestro impacto para contribuir a los esfuerzos mundiales contra esta problemática. Se espera que los insumos presentados por este reporte planteen la necesidad de un esquema incluyente, enfocado en solucionar los problemas de los grupos más vulnerables del país (jóvenes, mujeres y pueblos indígenas), respetando la visión y cosmovisión de los pueblos indígenas.

Lylian Elizabeth Toledo de Girón
Secretaria técnica
SGCCC

Instituciones fundadoras SGCCC

Guatemala 2019

AGRADECIMIENTOS

El Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático desea agradecer a todas las instituciones y personas que colaboraron en la realización de este reporte.

Al Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala, en especial a Gabriela Fuentes, Jackeline Brincker, Diego Incer y Lourdes Jauregui, por su apoyo en la gestión, logística y asesoría; así como a Andrea Nájera del Observatorio Económico Sostenible y Sandy Sánchez de la decanatura del Instituto de Investigaciones de la misma universidad.

Al Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático por su apoyo en la gestión del proyecto y acompañamiento logístico.

A las instituciones que brindaron su apoyo económico y logístico:

- Observatorio Económico Sostenible, por la contratación de tres especialistas de la unidad técnica, y el desarrollo de actividades y eventos divulgativos
- Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, por la contratación de la coordinadora de la unidad técnica
- Universidad del Valle de Guatemala, por la contratación del corrector de estilo y la diseñadora del documento, y por la impresión del resumen para tomadores de decisión

A las instituciones que proporcionaron datos y atendieron las consultas para alimentar el contenido de los capítulos:

- Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad de la Universidad Rafael Landívar
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
- Instituto Nacional de Bosques
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

A los autores principales y contribuyentes de este reporte, así como a las instituciones que dispusieron del tiempo de sus investigadores para que escribieran los capítulos y participaran en las reuniones y eventos:

- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad de la Universidad Rafael Landívar
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala
- Universidad de San Carlos de Guatemala
- Universidad del Valle de Guatemala
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático
- Organización Sotz'il

De la misma manera agradecemos el apoyo voluntario y sin remuneración de los revisores de este reporte.

A las instituciones y personas colaboradoras en los eventos regionales divulgativos:

- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, en especial a Pablo Yax, Sharon Arias y Alex Guerra
- Señor Sebastián Charchalac
- Organizadores del III Congreso Nacional de Cambio Climático, en especial a Alan Galván y al Comité Científico Organizador conformado por Jackeline Brincker, Rosario Rodas, José Moro y Manuel Castellanos
- Organizadores de la CONVERCIENCIA 2018, en especial a Óscar Cóbar y Nancy Carrillo

Por último, agradecemos el apoyo de las siguientes personas que participaron en la construcción y retroalimentación del resumen para tomadores de decisión:

- Efraín Bámaca por su apoyo en la concepción del resumen, asesoría y revisión de lenguaje
- Participantes del taller de revisión del resumen:

Nombre	Sector	Institución
Mariano Martínez	Gobierno	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
Obdulio Fuentes	Gobierno	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres
Antonio Guoron	Gobierno	Instituto Nacional de Bosques
Andrea Samayoa	Gobierno	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala
Héctor Hernández	Gobierno	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
Kenset Rosales	Gobierno	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Saúl Pérez	Gobierno	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Elisa Colom	Gobierno	Ministerio de Relaciones Exteriores
Esmaylin Gómez	Gobierno	Ministerio de Relaciones Exteriores
Víctor Araujo	Privado	Analítica Consultores
Carlos Mansilla	Privado	Consultor independiente
Igor De la Roca	Privado	Consultor independiente
Ludwin Álvarez	Privado	Cementos Progreso
Jerson Quevedo	Privado	RTI International
Jonathan Schwarz	Privado	RTI International
Ever Sánchez	Sociedad civil	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Nombre	Sector	Institución
Cristofer López	Sociedad civil	Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación
Ana Victoria Rodríguez	Sociedad civil	World Wildlife Fund, Guatemala
Omar Flores	Academia	Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, Universidad de San Carlos de Guatemala
Ivonne Colindres	Academia	Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala
Ana Lucía Solano	Academia	Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala
Andrea Nájera	Academia	Observatorio Económico Sostenible
Jezyka González	Academia	Observatorio Económico Sostenible
Mónica Orozco	Academia	Observatorio Económico Sostenible
Sigfrido Lee	Academia	Observatorio Económico Sostenible
Lylian Toledo	Academia	Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático
Erwing Sosa	Sociedad civil	

LEYENDA SECTOR

- Gobierno
- Privado
- Sociedad civil
- Academia

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AbE	Adaptación basada en Ecosistemas
AMSA	Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán
AMSCLAE	Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno
ANACAFE	Asociación Nacional del Café
ASOUT	Sector de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CATHALAC	Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CH_4	Metano
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNCC	Consejo Nacional de Cambio Climático
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono
CO_{2-eq}	Dióxido de carbono equivalente
CODV	Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres
COP	Conferencia de las Partes
CUTS	Cambio de uso de la tierra y silvicultura
ENCOVI	Encuesta Nacional de Condiciones de Vida
ENOS	El Niño Oscilación del Sur
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GEI	Gases de efecto invernadero
GIMBUT	Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra
H_2O	Agua
HFC	Hidrofluorocarbonos
IANAS	Red Interamericana de Academias de Ciencias
IARNA	Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad
ICC	Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático
INAB	Instituto Nacional de Bosques
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
INE	Instituto Nacional de Estadística
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

MEM	Ministerio de Energía y Minas
MICCG	Mesa Indígena de Cambio Climático de Guatemala
MIDES	Ministerio de Desarrollo Social
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
N_2O	Óxido nitroso
NAMA	Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropiadas
NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional
NDF	Fondo Nórdico de Desarrollo
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (EEUU)
NO_x	Óxidos de nitrógeno
O_3	Ozono
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PANCC	Plan de Acción Nacional de Cambio Climático
PFC	Perfluorocarbonos
PIB	Producto interno bruto
PINFOR	Programa de incentivos forestales
PINPEP	Programa de incentivos para pequeños poseedores de tierras de vocación forestal o agroforestal
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
REDD+	Reducción de las emisiones de la deforestación
REDFIA	Red Nacional de Formación e Investigación Ambiental
SEGEPLAN	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia
SGCCC	Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático
SO_2	Dióxido de azufre
TNC	The Nature Conservancy
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
UVG	Universidad del Valle de Guatemala

RESUMEN PARA TOMADORES DE DECISIÓN

¿Por qué es importante hablar de cambio climático?

El **cambio climático** es un problema real y actual que nos está afectando y que nos afectará aún más, debido fundamentalmente a la emisión de gases que contaminan la atmósfera (llamados gases de efecto invernadero o GEI). Los GEI son producidos principalmente por los países desarrollados, pero afectan mucho a países en vías de desarrollo como el nuestro, puesto que aumentan la variabilidad natural del clima. Guatemala es uno de los países más propensos a padecer las consecuencias del cambio climático. Este es un problema que afecta a muchas personas en todos los aspectos de su vida diaria.

Este reporte presenta el resumen de los efectos que ya han sido observados en los recursos vulnerables y en varios sectores de gran importancia para la productividad y el desarrollo de Guatemala, tales como la agricultura, salud, infraestructura, agua, diversidad biológica y áreas marino-costeras, entre otros. También sugiere algunas acciones para reducir nuestra vulnerabilidad ante los cambios extremos de clima ya observados y, por lo tanto, adaptarnos mejor al aumento de temperaturas y a la reducción de las lluvias en los próximos 20 años. Finalmente, en el reporte se ofrecen varias acciones posibles para contribuir a la reducción global de gases de efecto invernadero; de manera que se reduzca también el aumento actual de la temperatura, favoreciendo una mejor calidad de vida para todos.

Diferencia entre cambio climático natural y antropogénico

El cambio climático es un fenómeno que ha sucedido de manera natural en nuestro planeta. Sin embargo, los gases de efecto invernadero producidos por la humanidad desde la era industrial (1750) han contribuido sustancialmente al calentamiento global en un periodo corto de tiempo. Este cambio climático acelerado producto de las actividades humanas se conoce como cambio climático antropogénico.

El cambio climático es un problema que nos afecta a todos; sin embargo, las mujeres, los pueblos indígenas y las poblaciones en áreas urbanas marginadas son los grupos sociales que presentan un mayor riesgo de ser afectados. El cambio climático viene a exacerbar la precaria situación de estos grupos vulnerables.

¿Qué determina que seamos una población en alto riesgo?

Sección: Impactos, vulnerabilidad y adaptación.
Capítulo 4. ¿Qué tan vulnerables somos?
Elementos para entender la vulnerabilidad de Guatemala.

Ser impactados de manera negativa por un desastre resulta de la combinación de tres factores. Primero, la presencia de un evento extremo, que en relación al clima puede ser una sequía o una lluvia demasiado intensa; también puede ser un extremo de calor o una helada. Estos eventos extremos ya son frecuentes en el país, porque se encuentra en una región con clima muy variado. En las últimas décadas, estos eventos extremos han aumentado e intensificado, a causa de los efectos del cambio climático. La mejor forma de disminuir la ocurrencia e intensidad de estos eventos extremos es limitando la emisión de GEI a través de procesos de mitigación que nos permitan seguir creciendo económicamente, pero con bajas emisiones de estos gases.

La ocurrencia de un evento extremo no necesariamente resulta en un desastre, para ello necesita de la intervención de otros dos factores: la exposición y la vulnerabilidad (Figura 1). La exposición se refiere a la existencia de sistemas importantes para la vida humana, así como a los humanos mismos, en el lugar o ruta del evento extremo.

La vulnerabilidad se refiere a la predisposición que se tiene a ser afectados, y esta relacionada a la sensibilidad que se tenga ante el evento extremo. Por ejemplo, un agricultor es muy sensible a cambios en los patrones de lluvia, tales como la disminución de lluvias observada en los últimos cinco años en nuestro país. La vulnerabilidad también tiene que ver con la capacidad de una población de enfrentar un evento extremo negativo y recuperar la condición de vida previa u otra condición aceptable, lo que se conoce como resiliencia.

La exposición y vulnerabilidad son factores relacionados con la condición socioeconómica de la población; por lo tanto, una población pobre, con poca educación y bajos indicadores de salud y nutrición tendrá menos posibilidad de enfrentar eventos extremos de clima y recuperar una condición aceptable de

vida, si estos ocurren. Los desastres son un problema de desarrollo ya que su impacto es condicionado por los arreglos sociales y políticos de las poblaciones.

Lo expresado anteriormente resalta la necesidad de buscar un crecimiento económico que alcance a todos los sectores de la población, particularmente pueblos indígenas y poblaciones marginadas de las áreas urbanas y rurales, con el fin de reducir su vulnerabilidad, usando fuentes de energía que no contaminen. Guatemala tiene una amplia disponibilidad de energías limpias, tales como la hidráulica, solar, de viento y geotérmica; las cuales pueden ser aprovechadas con un enfoque en derechos humanos, evitando situaciones conflictivas con las comunidades.

Figura 1 Riesgos a desastres derivados del cambio climático. Adaptado de IPCC (2014).

¿Cómo ha cambiado el clima de Guatemala y cómo se espera que siga cambiando?

Sección: Ciencia del clima.
Capítulos 1, 2 y 3: Antecedentes y contexto.
Clima y su tendencia. Escenarios de cambio climático

Con base en el análisis de los últimos dos mil años de historia del planeta se ha observado que el calentamiento en los últimos 50 años es mayor y más rápido que en cualquier periodo similar. La tendencia al calentamiento global medida por aumento promedio de temperatura del planeta es clara. Este calentamiento es producto de los gases de efecto invernadero generados por la actividad humana, que alteran la composición de la atmósfera, aumentando su capacidad de capturar calor.

El calentamiento global ha aumentado, a su vez, la variabilidad natural del clima. La variabilidad es una condición que depende de factores externos como la temperatura de los océanos o internos como la variación de altura en el territorio. Esta variabilidad es responsable de los cambios entre las estaciones seca y lluviosa, y también entre las regiones de oriente y occidente del país.

En los últimos 40 años, los resultados obtenidos en Guatemala muestran que la temperatura ha aumentado al menos un grado Celsius y que la precipitación es más intensa. Aunque la lluvia tiene tendencia a un leve aumento anual, lo más significativo es el cambio de distribución temporal muy evidente por el retraso del inicio de las lluvias de mayo en los últimos siete años. Se ha detectado déficit en la primera o segunda parte de la época lluviosa e intensificación de la de canícula, con periodos sin lluvia que han superado los 40 días en lugares dentro de la zona semiárida de Guatemala en los últimos nueve años.

El clima es proyectado a futuro para la evaluación de sus posibles impactos, generando lo que se conoce como escenarios de cambio climático. Para ello, los científicos se valen de modelos climáticos globales que simulan el clima a través de sus componentes y la interacción entre ellos, además de supuestos del comportamiento del mundo futuro, tomando diferentes niveles posibles de emisiones de GEI. Estos escenarios se representan como la diferencia entre un escenario climático futuro y el clima actual. Los escenarios de cambio climático para Guatemala muestran un aumento de temperatura de entre tres a seis grados Celsius para finales de siglo, y una disminución de entre 10 a 30 % de las lluvias (Figura 2).

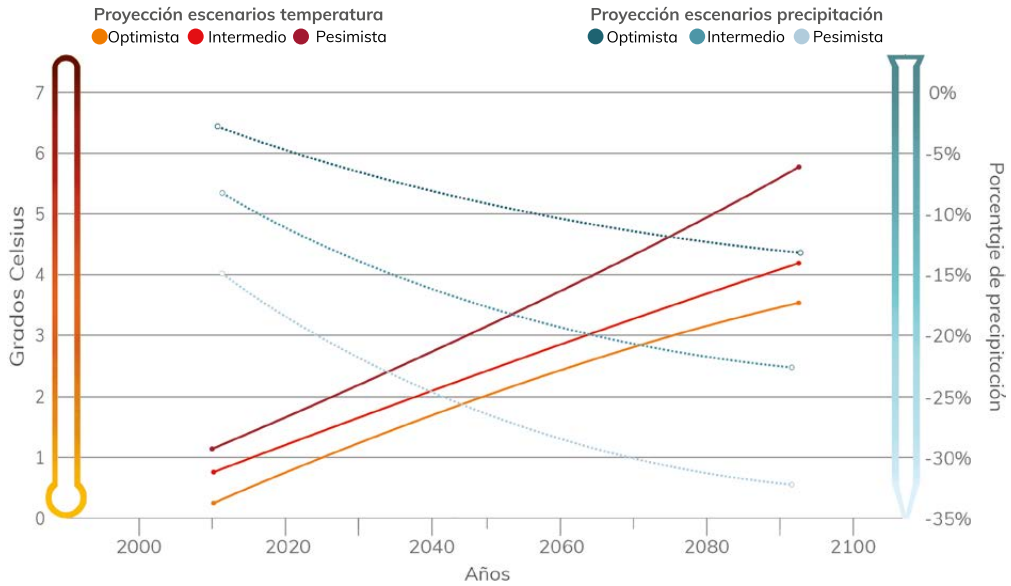


Figura 2 Tendencias en el aumento de temperatura (color rojo) y reducción de la lluvia (color azul según los escenarios de cambio climático para Guatemala). Se muestra la tendencia de los valores proyectados con diferentes metodologías (optimista, intermedio y pesimista). Elaboración propia, basado en CATHALAC (2008), CEPAL (2011), IARNA (2012), MARN (2001) y Oglesby & Rowe (2014).

¿Qué tan expuestos y vulnerables estamos ante los eventos extremos del clima y cómo podemos adaptarnos?

Sección: Impactos, vulnerabilidad y adaptación.
Capítulo 4: ¿Qué tan vulnerables somos?
Elementos para entender la vulnerabilidad de Guatemala.

Actualmente, en todo el territorio guatemalteco hay poblaciones; medios de subsistencia; infraestructura; ecosistemas; y recursos económicos, sociales y culturales que son vulnerables. Esta situación será exacerbada negativamente por el cambio climático. Las poblaciones y sectores económicos más vulnerables son aquellos más sensibles a los cambios de las condiciones climáticas y aquellos que poseen menos capacidades (financieras, humanas, técnicas, institucionales, organizativas, educativas y de conocimiento) para establecer estrategias efectivas de adaptación.

La vulnerabilidad de Guatemala está determinada, entre otras razones, por la alta dependencia de la economía nacional a la producción agrícola y sus encadenamientos (24 % del PIB), un sector importante como fuente de ingresos, empleo y alimentos para el 29 % de la población económicamente activa (aun así, el 72 % de los hogares que se dedican a la agricultura viven en pobreza); los altos índices de pobreza, desigualdad y exclusión (60 % de pobreza a nivel nacional, 47 % de desnutrición crónica infantil en menores de cinco años); el alto grado de deterioro y agotamiento del sistema natural (la pérdida del 50 % del bosque en los últimos 65 años o la contaminación generalizada de los cuerpos de agua son dos ejemplos); y un sistema gubernamental débil e ineficiente.

- 24 % del PIB responde a la agricultura
- 7 de cada 10 hogares que se dedican a la agricultura viven en situación de pobreza
- 47 % de los niños y niñas menores de cinco años padecen de desnutrición crónica
- La mitad de los bosques del país ha desaparecido en los últimos 65 años

La adaptación requiere de un esfuerzo colectivo que busque: a) la generación sistemática y continua de conocimiento sobre las tendencias del clima y sus impactos potenciales a nivel nacional, sectorial y territorial; b) el establecimiento de estrategias de adaptación con base en la mejor información disponible, financiadas adecuada y oportunamente; c) el empuje de políticas dirigidas al desarrollo integral de las personas y a la garantía de los derechos fundamentales, con el propósito de reducir la vulnerabilidad sistémica y profunda del país. Sobre todo, la adaptación requiere de una población más educada, que comprenda mejor los retos y las necesidades actuales que han de aumentar en el futuro próximo.

Los sectores que se ven más afectados en la actualidad son la agricultura, infraestructura y diversidad biológica. Tomando como base los efectos del cambio climático ya percibidos, y los escenarios a futuro, se manifiesta la alta vulnerabilidad actual de Guatemala ante estos efectos y su tendencia a exacerbarse si no se mejoran las condiciones actuales (Figura 3).

¿Qué se espera que ocurra con el agua del país?

Sección: Impactos, vulnerabilidad y adaptación.
Capítulo 5: Recursos hídricos.

Ante la vulnerabilidad actual del país y en el marco de los escenarios de cambio climático es bastante probable que se tengan cambios negativos en la calidad y cantidad del agua, aumento de inundaciones y que se afecten diversos medios de vida. También habrá pérdida de humedad en el suelo, lo cual afectará la productividad de los cultivos y hará aumentar la inseguridad alimentaria. Asimismo, se estima un déficit y pérdida de recarga hídrica que afectará la provisión de agua.

El impacto dependerá de la capacidad para adaptarnos y las estrategias para gestionar el recurso hídrico ante el cambio climático. Las decisiones acerca de la gestión de los recursos hídricos frente al cambio climático llevan a reconsiderar el diseño y construcción de infraestructura para almacenar y suministrar agua, evaluar el tipo y área de cultivos, y definir cuotas de agua y operación de embalses; todo eso dependiente de las condiciones climáticas.

Figura 3 Estado de riesgo de los principales sectores del país ante los cambios en el clima, determinado por la exposición (ubicación del sector en zonas de riesgo), sensibilidad (predisposición del sector a ser afectado) y capacidad adaptativa (capacidad de respuesta y recuperación ante efectos del cambio climático) para el escenario intermedio. Elaboración propia, basado en criterio de expertos (autores de los capítulos de la sección 2 del reporte).

NOMBRE DEL SECTOR	CATEGORÍA DE RIESGO ACTUAL		
	EXPOSICIÓN	SENSIBILIDAD	CAPACIDAD ADAPTATIVA
RECURSOS HÍDRICOS			
AGRICULTURA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA			
SALUD			
INFRAESTRUCTURA			
DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y ECOSISTEMAS TERRESTRES			
ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS			

Se requiere un manejo eficiente y efectivo del recurso hídrico por parte de los tomadores de decisión a nivel local y nacional.

El recurso hídrico participa en el 70 % de las actividades que conforman el PIB. El agua para riego sirve como insumo para el 18 % del total de las exportaciones. La generación directa del valor agregado del agua es equivalente al 6 % del PIB. Por lo tanto, es urgente atender los retos que enfrenta la seguridad hídrica del país, actuando en las siguientes áreas:

- Certeza jurídica y financiamiento para políticas de agua
- Generación de información actualizada y conocimiento sobre los recursos hídricos
- Planificación hídrica a nivel nacional, regional y local
- Organización comunal, municipal y social alrededor del agua
- Infraestructura verde y gris para gestionar el agua
- Inversión en el manejo del agua
- Tratamiento y reúso de aguas residuales

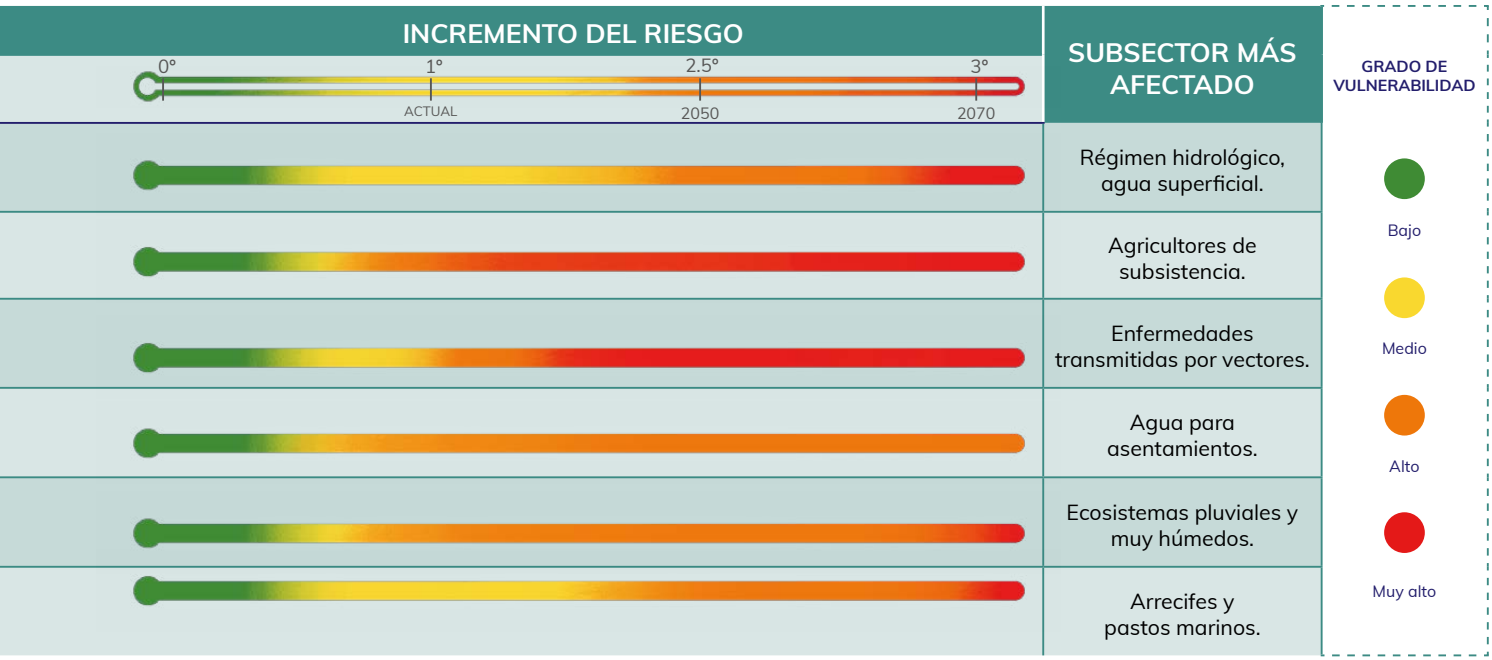
En este contexto es que el recurso hídrico se vuelve estratégico, sobre todo porque **alrededor del agua gira la vida.**

¿Cómo impacta a la producción de alimentos para garantizar la seguridad alimentaria del país?

Sección: Impactos, vulnerabilidad y adaptación.
Capítulo 6: Agricultura y seguridad alimentaria.

El sector agrícola representa una de las principales fuentes de empleo en el país y aporta aproximadamente la tercera parte de las divisas nacionales a través de las exportaciones. En Guatemala se identifican por lo menos tres modalidades de producción agrícola: de subsistencia campesina, semicomercial y de exportación. Todas presentan un desafío al cambio climático, aunque se diferencian en su nivel de vulnerabilidad.

La agricultura presenta las capacidades financieras y técnicas más bajas para adaptarse y la mayor sensibilidad al depender de la lluvia para suministro de agua a las plantaciones. Los impactos del cambio climático aumentan la variabilidad y posibilidad de que ocurran eventos extremos como sequías, inundaciones y heladas, los cuales amenazan los medios de vida de miles de familias y la base de la alimentación del país. Además de los efectos actuales y previstos del cambio climático, existen condiciones que aumentan la vulnerabilidad del sistema productivo como la pobreza, bajos niveles de educación, incertidumbre en tenencia de



la tierra, poco acceso al agua, exposición a plagas, desnutrición crónica, etc.

La tendencia mundial muestra que la agricultura debe evolucionar a sistemas que estén más armonizados con el funcionamiento de los ecosistemas que contribuyan a la seguridad alimentaria, la gestión sostenible de la tierra y el agua, y la conservación de la agrobiodiversidad, la cual es la base biológica para la adaptación de la agricultura al cambio climático. Es fundamental un sistema de gobernanza nacional que revalúe las políticas agropecuarias actuales y promueva los mercados agroecológicos.

Se hace necesario trabajar de manera más articulada entre todas las entidades del Estado, fortalecer la organización local en los territorios y la cultura de planificación; así también generar una visión a largo plazo. Junto a la producción de alimentos se debe abordar el problema de inseguridad alimentaria con un enfoque sistémico e integral. Las acciones aisladas que no contemplen intervenciones en varios puntos del problema verán limitada su efectividad.

Algunas medidas puntuales de adaptación para este sector consisten en:

- Adaptación basada en ecosistemas
- Agricultura climáticamente inteligente
- Agricultura orgánica
- Mayor acceso a mercados, en especial para pequeños agricultores
- Diversificación de cultivos e ingresos
- Manejo correcto de plagas y enfermedades
- Manejo integrado del agua y suelo
- Innovación

¿Cómo están siendo afectadas las ciudades y la infraestructura del país?

Sección: Impactos, vulnerabilidad y adaptación.
Capítulo 9: Asentamientos humanos e infraestructura.

El cambio climático complica las condiciones de vida en las ciudades y otros asentamientos humanos, debido a un proceso poco planificado y acelerado de urbanización, tanto en la ciudad capital como en las ciudades intermedias de Quetzaltenango, Escuintla, Cobán, Chiquimula, entre otras. Por ejemplo, la ausencia de planificación urbana ha ocasionado problemas de congestionamiento y transporte, que afectan la calidad de vida y generan altas emisiones por el uso de combustible en vehículos. En la Ciudad de Guatemala, la existencia

de más de 400 asentamientos y barrios marginales con altos niveles de pobreza crea situaciones de alta vulnerabilidad y exposición, lo cual coloca en riesgo alto a su población en momentos de eventos extremos de lluvia; por tanto, una lluvia torrencial de un par de horas puede causar incluso la muerte de personas, debido a deslaves en laderas que no debieron haber sido pobladas.

Los aspectos con mayor riesgo para las ciudades son: a) los sistemas de abastecimiento de agua; b) los sistemas de aguas servidas (drenajes); c) los sistemas energéticos; d) los sistemas de comunicación y transporte; e) la vivienda; f) la infraestructura básica para la salud y la educación.

Entre las medidas que pueden llevarse a cabo para adaptarnos al cambio climático se encuentran:

- Reubicación de poblaciones para reducir su exposición
- Construcción de diques, muros de contención, bordas, barreras contra oleaje
- Protección con barreras naturales, por ejemplo, humedales para frenar crecimiento del nivel del mar e inundaciones
- Normas y reglamentos que integren estudios sobre cambio climático dentro del diseño, políticas de uso del suelo, códigos de edificación
- Aprovechamiento del agua de lluvia, técnicas de almacenamiento, reutilización y conservación del recurso hídrico
- Reajuste/reubicación en carreteras, estándares de diseño y planificación, infraestructura para atender el drenaje
- Infraestructura energética, fortalecimiento en obras de transmisión y distribución, cableado subterráneo, eficiencia energética, uso de fuentes renovables, entre otras.

¿Hay indicios de impactos en la salud humana?

Sección: Impactos, vulnerabilidad y adaptación.
Capítulo 10: Salud.

El cambio climático afecta la salud humana, incluyendo la alteración en la transmisión de enfermedades infecciosas y muertes debido a eventos extremos. Hay una estrecha relación entre el incremento de enfermedades vectoriales y los escenarios de cambio climático. El cambio climático aumenta las presiones existentes sobre la vivienda, seguridad alimentaria, agua, pobreza y otros determinantes de buena salud.

Sabiendo que el sistema de salud pública en Guatemala funciona de manera reactiva en lugar de preventiva, el país ha mostrado limitada habilidad para responder a epidemias y erradicar enfermedades infecciosas, con unas pocas excepciones. Las epidemias en contexto de cambio climático pueden fatigar rápidamente al sistema de salud en sus condiciones actuales. El Ministerio de Salud no tiene como prioridad la vigilancia y adaptación climática del sistema de salud, ya que no se ha contemplado la variable climática como un eje de análisis de morbimortalidad y distribución de la red de servicios. Se debe establecer una unidad especializada de clima y salud e iniciar la formación del recurso humano.

La generación de datos debe ser una prioridad, especialmente la colecta de metadatos a partir de brotes y epidemias, así como la generación de datos a partir de la vigilancia epidemiológica activa. Esto permitirá determinar en poco tiempo si existen cambios en la epidemiología de algunas enfermedades debido al cambio climático, con el fin de mejorar la capacidad de registrar el brote de enfermedades asociadas al cambio climático y así poder planificar intervenciones apropiadas.

Otras acciones de adaptación incluyen aumentar la inversión en estrategias de adaptación específicas del sector salud; aumentar la vigilancia epidemiológica más allá de las enfermedades por vectores (por ejemplo, zancudos y garrapatas); dar a conocer a la población las políticas públicas, normativas y financiamiento relacionadas con cambio climático; y fortalecer la investigación de los vínculos del clima con la salud pública.

¿Qué está pasando con los ecosistemas terrestres y marino-costeros?

Sección: Impactos, vulnerabilidad y adaptación.
Capítulo 7 y 8: Diversidad biológica y ecositemas terrestres. Océanos y ecosistemas marino-costeros.

Los ecosistemas terrestres y marino-costeros están cambiando y se proyectan cambios más drásticos para los próximos 80 años. Entre otros cambios, se espera una transición de ecosistemas húmedos y con alta disponibilidad de agua a ecosistemas secos y muy secos, lo que continuará activando procesos de adaptación a nivel de las especies y modificaciones en los bienes y servicios ecosistémicos provistos hacia la sociedad (disponibilidad de agua, alimentos, polinización, etc.). Entre los ecosistemas marino-costeros, los que presentan mayor susceptibilidad a los efectos del cambio climático son los arrecifes de coral, debido principalmente al aumento de la temperatura superficial de los océanos y a la acidificación de los mismos que resultan de mayores cantidades de dióxido de carbono disuelto en el agua.

Diversos estudios han registrado cambios en la distribución y comportamiento de diferentes especies, principalmente en ecosistemas terrestres. Algunos casos documentados para el país y la región incluyen la migración de varias especies de anfibios, principalmente ranas y salamandras, hacia áreas que presentan condiciones climáticas más propicias para su sobrevivencia, así como su desaparición de algunas regiones donde años atrás eran consideradas abundantes. En el contexto de una intensificación de cambios en las condiciones y dinámicas del clima, es altamente probable que se observe la reducción de algunas especies e incluso la extinción de otras.

Además de reducir los impactos directos e indirectos de las actividades humanas en los sistemas naturales, las acciones para reducir la intensidad y gravedad de los efectos potenciales del cambio climático en la biodiversidad y los ecosistemas pueden resumirse en:

- Estrategias de conservación y manejo de los ecosistemas que permitan la movilidad de las especies (áreas protegidas, manejo forestal sostenible, corredores biológicos)
- Restauración de ecosistemas deteriorados
- Adaptación de la gestión con base en criterios de cambio climático
- Adopción de enfoques basados en los ecosistemas para la gestión del agua, la planificación del territorio, el desarrollo de producciones agrícolas, entre otros.

¿Por qué es importante contribuir a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero?

Sección: Mitigación de gases de efecto invernadero.
Capítulos 11 y 12: Emisiones históricas de GEI y sus tendencias. Acciones de mitigación de emisiones de GEI.

Porque es la única forma de abordar a largo plazo el problema de calentamiento global que estamos observando. Reducir o eliminar las emisiones de GEI (también llamado mitigación) es la mejor vía para limitar el calentamiento global. La comunidad científica internacional coincide en decir que el aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero, independientemente de la región o país en donde se generaron, es la principal causa del aumento de las temperaturas medias observadas en las últimas décadas. En 2017, las concentraciones de GEI en la atmósfera aumentaron en 146 % para el dióxido de carbono (CO_2), 257 % para el metano (CH_4) y 122 % para el óxido nitroso (N_2O), con relación a las concentraciones que existían en la era preindustrial (antes del año 1750). Por esta razón, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático busca estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera, en un plazo que le permita a las personas y los ecosistemas adaptarse naturalmente al cambio climático.

Existen dos formas de abordar el cambio climático: la adaptación y la mitigación. La adaptación busca reducir la vulnerabilidad de las personas y sus medios de vida, la infraestructura, los ecosistemas y otros; así, de esa forma, reducir o minimizar los efectos y los impactos del cambio y la variabilidad climática. La mitigación busca reducir la cantidad de emisiones de GEI, que son la causa principal del cambio climático. Estas dos formas de abordar el cambio climático son complementarias entre sí y no deben

considerarse como excluyentes. Se debe buscar implementar acciones sinérgicas, que contribuyan tanto a la adaptación como a la mitigación.

Entre más emisiones de GEI podamos reducir o eliminar, la necesidad de acciones de adaptación será menor, ya que al limitar el calentamiento global se observaría menor cantidad de daños y pérdidas sociales y económicas. Esta es la razón principal por la cual los diferentes países y diversos sectores (gobiernos, industrias, empresas, autoridades locales y hogares) deben hacer sus mayores esfuerzos, dependiendo de sus capacidades y responsabilidades, para modificar su esquema actual y buscar soluciones de desarrollo que reduzcan al máximo sus emisiones de GEI. Esta no es una tarea únicamente de los gobiernos, tomando en cuenta que las acciones más eficientes y duraderas empiezan a nivel individual y en los hogares.

La mitigación también genera otros beneficios que pueden contribuir a reducir la vulnerabilidad y mejorar la adaptación al cambio climático. Por ejemplo, al reducir la deforestación y la degradación de los bosques se obtienen otros impactos positivos, como la reducción en la erosión de los suelos, el mantenimiento en la capacidad de regulación del ciclo del agua, la restauración del paisaje forestal y la protección a la diversidad biológica, por citar algunos beneficios. Esta es otra de las razones por las cuales el país debe considerar aumentar las acciones e inversiones para reforzar las medidas de mitigación que se han identificado, principalmente aquellas cuyos beneficios a obtener superan fuertemente sus costos de implementación.

¿Qué cantidad de emisiones tiene el país en sus diversos sectores?

Sección: Mitigación de gases de efecto invernadero.
Capítulo 11: Emisiones históricas de GEI y sus tendencias.

Las emisiones de GEI de Guatemala son muy bajas en comparación con las emisiones mundiales. Al 2012 las emisiones del país equivalían únicamente al 0.06 % de las emisiones mundiales. Sin embargo, estas emisiones han aumentado, pasando de 18.1 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-eq}}$) en 1990 a 31.4 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ en el 2005, de acuerdo a los inventarios oficiales publicados.

Al mismo tiempo, la capacidad de absorción de CO_2 de los bosques del país se redujo de 42.9 millones de toneladas de CO_2 en 1990 a 24.4 millones de toneladas de CO_2 en el 2005, debido principalmente a la pérdida de bosques en el país (Figura 4).

Estimaciones a futuro muestran que la tendencia de las emisiones de GEI del país se mantendrá al alza, tanto a mediano y largo plazo.

Una tonelada de $CO_{2\text{-eq}}$ equivale a 113 galones de gasolina o 41 cilindros de gas propano consumidos. Esta cantidad de dióxido de carbono puede ser absorbida aproximadamente en un año por un bosque de pino del tamaño de medio campo de futbol.

De acuerdo con la información del último inventario oficial disponible del año 2005, son cinco las actividades que generan tres cuartas partes de las emisiones de GEI en el país: la conversión de bosques a cultivos o ganadería (26 %), la quema de combustibles para el transporte de personas, productos y mercancías (18 %), el manejo de los suelos agrícolas (14 %), la ganadería (9 %) y la quema de combustibles para la producción energética (9 %) **(Figura 4)**. Existen otros inventarios sectoriales de GEI, adicionales a los inventarios nacionales, pero estos no son comparables entre sí, debido a diferencias metodológicas y de fuentes de información. Adicionalmente, existen vacíos de información que reducen la disponibilidad y certidumbre de los inventarios nacionales. Por esta razón se recomienda revisar los inventarios publicados e instalar un sistema para la recopilación e intercambio de información, que permita contar con estadísticas nacionales y de inventario de emisiones, con mayor periodicidad, menor incertidumbre y mejor comparabilidad.

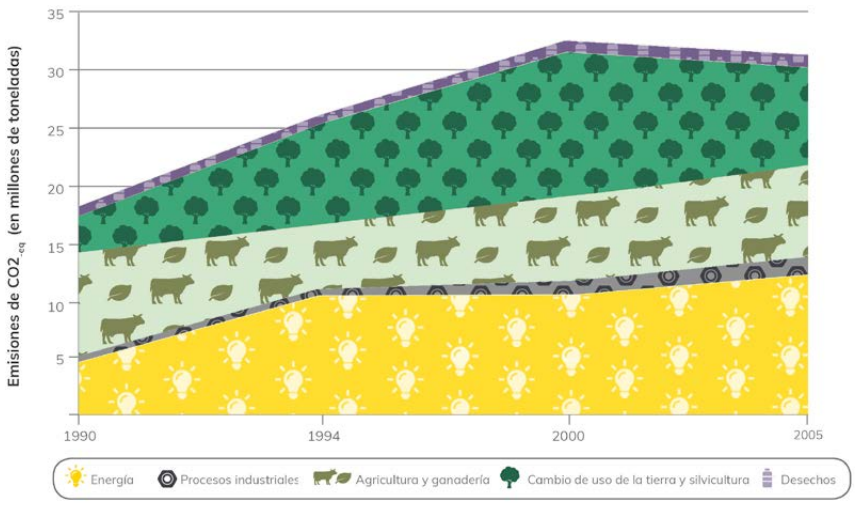


Figura 4 Actividades que generan el 75 % de las emisiones de gases de efecto invernadero de Guatemala. Elaboración propia, basado en MARN (2015).

¿Qué compromisos ha adquirido Guatemala para mitigar sus emisiones de gases de efecto invernadero?

Sección: Mitigación de gases de efecto invernadero.
Capítulo 12: Acciones de mitigación de emisiones de GEI.

Como signatario del Acuerdo de París (ratificado por el Congreso de la República mediante Decreto 48-2016), el país está comprometido a reducir sus emisiones de GEI, observando el principio de responsabilidades compartidas pero diferenciadas. Para cumplir este compromiso, propuso una Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés), donde se comprometía a reducir, con recursos propios, el 11.2 % de las emisiones de GEI proyectadas al año 2030.

En caso de contar con apoyo técnico y financiero adicionales, el país podría comprometerse a reducir hasta el 22.6 % de las emisiones proyectadas al 2030.

Los principales avances se pueden observar en el ámbito político. En el 2013 se instaló el Consejo Nacional sobre Cambio Climático (CNCC) y en el 2016 se elaboró el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC). El PANCC es un documento clave que a la fecha no ha podido orientar la política pública, particularmente las asignaciones presupuestarias necesarias para abordar la temática de mitigación.

Es importante resaltar que el marco jurídico nacional establece como prioridad la reducción de emisiones de GEI. El Decreto 7-2013 que define el marco legal de cambio climático en Guatemala, manda a establecer un plan de crecimiento energético basado en recursos renovables y promueve la eficiencia y ahorro energético para reducir la emisión de GEI. También manda a compensar las emisiones producidas por la quema de combustibles fósiles y a reducir las emisiones por cambios en el uso de la tierra. Es urgente operativizar este marco legal, estableciendo los reglamentos necesarios para aumentar las acciones de mitigación a nivel nacional.

A pesar de que el país tiene una historia superior a 20 años en acciones de mitigación, los resultados obtenidos no han logrado reducir nuestras emisiones de GEI de forma sustancial.

Se han desarrollado varias propuestas nacionales como la Estrategia de Desarrollo con Bajas Emisiones; las Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropiadas (NAMA por sus siglas en inglés) de uso sostenible y eficiente de leña; la NAMA de ganadería sostenible; la Estrategia Nacional para el Abordaje de la Deforestación y Degradación de los Bosques; y otras acciones de carácter local. Hay otras iniciativas, en su mayoría promovidas por organizaciones locales, que incluyen los proyectos de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+), así como acciones diversas de mitigación que participan dentro del mercado regulado (Mecanismo de Desarrollo Limpio), y otras surgidas de los mercados voluntarios (Verified Carbon Standard, VCS).

¿Cuál es la relación del cambio climático con los pueblos indígenas?

Sección: Conocimiento indígena y cambio climático.
Capítulo 13: Conocimiento indígena y cambio climático

Las disciplinas como la Arqueología, la Historia y la Paleoclimatología han identificado el impacto de los cambios en el clima antes de la era industrial en culturas y sociedades antiguas alrededor del mundo, identificando varios eventos de cambio climático natural (no antropogénico) en el territorio maya. Uno de ellos sucedió al final del Periodo Preclásico (200 d.C.) que produjo el abandono de algunas ciudades, pero además propició el desarrollo de sistemas agrícolas más eficientes y mejor captación de agua, permitiendo así el esplendor político, científico y artístico del Periodo Clásico.

El cambio climático antropogénico es un fenómeno que impacta a los pueblos indígenas actuales, quienes desde su pensamiento cosmogónico han desarrollado procesos de adaptación y mitigación, fundamentados en el principio de que todo tiene vida y que la convivencia armónica y equilibrio entre el ser humano, madre naturaleza y universo es la base del Ütz K'aslemal (idioma maya Kaqchikel) o buen vivir.

Los pueblos indígenas de Guatemala tienen una visión e interpretación propia del universo, de la madre tierra y la naturaleza. Sus conocimientos, prácticas tradicionales y ancestrales de adaptación y mitigación al cambio climático representan un aporte a las estrategias de mitigación y adaptación de los impactos del cambio climático a nivel local, nacional, regional y global.

Los procesos de adaptación y mitigación indígenas se desarrollan tomando como base los calendarios mayas Cholq'ij, Cholab' y Choltun, que constituyen sistemas de registro del tiempo, de acontecimientos cíclicos, a través de los cuales se sistematiza el movimiento del sol, la luna, las estrellas y constelaciones, que además rigen los sistemas políticos, económicos, sociales y culturales de los pueblos indígenas. Estos principios se basan en conocimientos de Matemática, Química, Arquitectura, Ingeniería, Astronomía, Vulcanología, Biología, Botánica, Gastronomía, entre otras ciencias, producto de la observación a la naturaleza, señales en el cuerpo y en el desarrollo de las ceremonias indígenas interpretadas por los Ajq'ij o guías espirituales.

Los sistemas de adaptación tradicional responden a la observación de los ciclos de la luna para identificar periodos de lluvia, clima, cosecha, heladas; las señales de las aves en la construcción de sus nidos, como indicadores de intensidad de lluvia; los azacuanes (aves rapaces) como indicadores de los periodos de lluvia; los aullidos de los coyotes, como indicadores de dificultades sociales y climáticas; los colores y forma de las nubes como anuncio de eventos sísmicos, frío y heladas, entre otros.

Los impactos del cambio climático en los territorios indígenas han sido más fuertes y acelerados en los últimos años, presentando mayores desafíos de adaptación. Los pueblos indígenas han logrado afrontar dichos impactos a través de algunas prácticas como el intercambio de semillas, implementación de prácticas y técnicas ancestrales de labranza, ajustes en los calendarios (particularmente el agrícola), implementación de diferentes sistemas de cultivos como el sistema milpa basado en la producción de maíz (*ixim*) y frijol (*kinäq'*), entre otros.

En los territorios indígenas se desarrollan numerosas prácticas agrícolas tradicionales de bajas emisiones, principalmente en los sistemas agroforestales, agroecológicos y huertos de traspatio. Los pueblos indígenas poseen sus propios sistemas de indicadores, monitoreo y evaluación del uso, manejo y conservación de los recursos naturales, que les permiten la obtención de evidencias sobre los aspectos que favorecen o amenazan los ecosistemas, y les permiten saber si su bosque está bien manejado o presenta problemas que ameritan intervención con el fin de mejorar.

¿Qué acciones debemos tomar ante el problema del cambio climático?

- Cambiar la forma como abordamos los eventos extremos, pasar del modelo actual (reactivo) a un modelo basado en prevención y previsión; priorizando acciones enfocadas en las poblaciones, sectores y territorios más vulnerables.

- Promover un nuevo modelo de desarrollo más incluyente, basado en la innovación, eficiencia y que valorice los conocimientos tradicionales; para que el uso de los recursos naturales y servicios ambientales sea realmente sostenible y que no comprometa el bienestar de las generaciones futuras.

- La problemática de cambio climático debe ser abordada de forma transversal a todos los sectores del país (gobierno central y local, empresas, hogares, comunidades), buscando su institucionalización y una sociedad más organizada, educada y concientizada para afrontar los nuevos retos que plantea.

- Deben desarrollarse esquemas incluyentes de planificación, asignación de inversiones y financiamiento, enfocados en la reducción de vulnerabilidad y maximización de los beneficios para la sociedad. Resulta más económico invertir en prevención y previsión, que en los costos y daños que se pueden sufrir por los impactos del cambio climático. Esto debe hacerse en un marco ético y transparente que garantice la eficiencia en el uso de los recursos.

- Es vital contar con una base sólida de información generada a través de la investigación, que sirva para la implementación y monitoreo de las acciones anteriormente descritas.

- Guatemala ha avanzado y cuenta con una base jurídica que incluye una política, una ley marco, un plan de acción y un fondo nacional de financiamiento específicos para abordar la problemática del cambio climático. Es urgente y necesario operativizar estos instrumentos.

Conclusión

El cambio climático ya está causando considerables pérdidas económicas a Guatemala, así también pérdidas humanas y retraso en el desarrollo socioeconómico de nuestra población. La situación precaria del país está siendo exacerbada por los aumentos en la variabilidad del clima, especialmente de la lluvia y las sequías, derivados del cambio climático. Los escenarios futuros muestran que la situación irá empeorando, especialmente en cuanto a la disponibilidad del agua.

La mejor manera de actuar ante los cambios de clima en las siguientes décadas es buscar adaptarnos a lo que ya observamos en la actualidad: mayores temperaturas y lluvias más impredecibles, entre otros. Si no buscamos adaptarnos, pondremos en riesgo nuestro desarrollo como nación. La adaptación es un reto para enfrentar de manera coordinada entre todos los sectores del país, con liderazgo sólido del gobierno local y nacional.

Necesitamos invertir en infraestructura para almacenar y distribuir agua; esto es fundamental para los agricultores en condición de subsistencia que necesitan sistemas de riego para no depender de las lluvias cada vez más impredecibles. Es necesario reubicar poblaciones con altos niveles de exposición a riesgos y proveer barreras de contención mientras la reubicación no sea posible. La construcción de edificios e infraestructura debe seguir estándares más estrictos que prevean un clima más extremo al actual.

Invertir más en el sector salud, pensando en un aumento de las enfermedades cuya transmisión está relacionada con variables de clima. Las estrategias de conservación de ecosistemas y los servicios básicos que estos brindan a la población deben considerar el aumento de temperatura y reducción de lluvia previstos para las décadas venideras.

Todo esto requiere una considerable inversión que deberá asignarse en los presupuestos nacionales y fortalecerse con los financiamientos climáticos disponibles internacionalmente. El Estado debe organizarse para poder acceder más agresivamente a estos fondos internacionales.

Debemos buscar un nuevo modelo de desarrollo, que permita continuar creciendo económicamente pero sin aumentar nuestras emisiones de gases de efecto invernadero, encontrando todas las sinergias posibles para la adaptación y la mitigación simultáneamente, evitando que las medidas de mitigación reduzcan el bienestar y la productividad de Guatemala.

El cambio climático nos da la oportunidad de buscar un modelo de sociedad donde la erradicación de la pobreza y la reducción de las desigualdades sea una prioridad en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El trabajo conjunto entre el gobierno y la sociedad civil es crucial para acceder a los recursos financieros internacionales disponibles que nos ayuden a implementar las acciones de adaptación y mitigación discutidas en este reporte. Así podremos alejarnos de nuestra situación actual de riesgo, la cual nos ubica entre los países más vulnerables del mundo. El momento de actuar es ahora.

SECCIÓN 1

CIENCIA DEL CLIMA

1

ANTECEDENTES Y CONTEXTO
DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN GUATEMALA

Autores: Gabriela Alfaro Marroquín[1] y Rosario Gómez[2]
Autores contribuyentes: José Luis Herrera Herrera[3] y Juan Carlos Godoy Herrera[4]

[1] Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad, Universidad del Valle de Guatemala, galfaro@uvg.edu.gt
[2] Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala, rgomez@insivumeh.gob.gt

[3] Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de San Carlos de Guatemala
[4] Coordinador de la Comisión Nacional de Medio Ambiente (año 1996) y viceministro de MARN (año 2001)

Forma de citar este capítulo:
Alfaro Marroquín, G., & Gómez, R. (2019). Antecedentes y contexto del cambio climático en 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. 2–19). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Mensajes clave:

- Los cambios drásticos del clima en los últimos cien años se atribuyen al exceso de gases de efecto invernadero producidos por actividades del ser humano y se conocen como cambio climático antropogénico.

- La región de Centroamérica, en particular Guatemala, es muy vulnerable a los efectos del cambio climático. Esta condición se debe al aumento considerable de eventos extremos como tormentas, inundaciones, sequías y heladas en la región, además de su situación socioeconómica que hace a la población más sensible a estos eventos.

- Es importante predecir el comportamiento del clima en el futuro para estar preparados ante los efectos del cambio climático. Para ello, se necesita una línea de base con información climática de al menos 30 años. El INSIVUMEH y otras instituciones han hecho esfuerzos para recopilar y analizar esa información, sin embargo, aún es necesario el fortalecimiento en términos de número de estaciones climáticas, así como el mejoramiento del registro y análisis de datos.

RESUMEN

Los cambios en las variables climáticas a nivel mundial han sido muy drásticos en los últimos 100 años, especialmente en lo que respecta al aumento de la temperatura de la tierra. Una de las consecuencias más evidentes de estos cambios en el clima de nuestro país es la creciente dificultad de predecir el inicio y finalización de la época lluviosa, debido a los cambios en la distribución y cantidad de la precipitación. Los productores en condición de subsistencia e infrasubsistencia son los más afectados porque dependen de la lluvia para irrigar sus cultivos. Por lo tanto, cuando las lluvias son escasas, se pone en riesgo la seguridad alimentaria a nivel nacional.

Existen evidencias científicas de que los cambios en el clima han sido ocasionados por el exceso de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de la quema de combustibles fósiles, así como de la ganadería y el desmedido uso de fertilizantes para la agricultura. El exceso de GEI puede ser atribuido directamente al ser humano, lo que ha generado un cambio climático antropogénico. Para enfrentar esta problemática, Guatemala está adscrita a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que se ha propuesto la estabilización del aumento en la temperatura a no más de 1.5 °C para finales de siglo.

Durante la Conferencia de las Partes de París se acordó que todos los países que forman parte de la Convención están obligados a mitigar sus GEI, incluyendo a los países en vías de desarrollo. Para responder a los compromisos que ha adquirido en esta convención, Guatemala cuenta con la Ley Marco sobre Cambio Climático, el Plan de Acción Nacional sobre Cambio Climático, las dos comunicaciones nacionales sobre cambio climático, el Sistema Nacional de Información sobre Cambio Climático y ha fortalecido la institucionalidad a través del Consejo Nacional sobre Cambio Climático. El Sistema Guatemalteco de Ciencias de Cambio Climático también contribuye como una iniciativa de la sociedad civil.

Para estar preparados y adaptados ante los efectos negativos del cambio climático, es importante saber predecir el comportamiento del clima en el futuro. Por lo tanto, se debe contar con una línea base de información climática de al menos 30 años. En ese sentido, se han hecho recientes esfuerzos para recopilar datos históricos de precipitación y temperatura de la red de estaciones meteorológicas a cargo del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala; así como de la Asociación Nacional del Café y del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, entre otras instituciones. A través de este esfuerzo ha sido posible la generación de modelos climáticos utilizando datos locales y, por lo tanto, información más certera para nuestro país. Sin embargo, hace falta fortalecer la red de estaciones a nivel nacional y mejorar el registro y análisis de datos meteorológicos de fuentes de gobierno y de otros sectores en forma conjunta. Así, se podrá continuar generando información que alimente los modelos climáticos para que la evaluación de escenarios futuros sea más adecuada y se puedan establecer necesidades de adaptación en todos los sectores del país.

CONTENIDO

1.1 Cambios climáticos históricos y cambio climático antropogénico 6

1.2 Conceptos generales sobre variabilidad y cambio climático 7

1.3 Contexto regional y nacional 8
- 1.3.1 Contexto regional 8
- 1.3.2 Contexto nacional 8

1.4 Descripción climática 9
- 1.4.1 Época lluviosa 9
- 1.4.2 Época seca 9
- 1.4.3 Clasificación climática para Guatemala 10

1.5 Hidrología y cambio climático 12

1.6 Marco legal e institucional 12
- 1.6.1 Convenios internacionales 12
- 1.6.2 Marco legal nacional 13
- 1.6.3 Institucionalidad para la gobernanza en cambio climático 13
- 1.6.4 Iniciativas de la sociedad civil en relación con el cambio climático 14
- 1.6.5 Instituciones que generan y gestionan datos climáticos en Guatemala 14

1.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 17

1.1 Cambios climáticos históricos y cambio climático antropogénico

Desde su formación, la tierra ha pasado por cinco glaciaciones y su clima siempre ha cambiado; actualmente se encuentra en la era interglaciar del Holoceno del periodo cuaternario. Las glaciaciones y los intervalos interglaciares han ocasionado grandes alteraciones en el sistema climático. Los registros históricos indican que durante el Pleistoceno (hace 2.6 millones de años), el aumento en la temperatura global se daba a un rango aproximado de un grado Celsius cada 1000 años (Aragón, 2017). Los cambios climáticos históricos han ocurrido por causas naturales, especialmente por variaciones en la órbita y rotación de la Tierra alrededor del Sol. Sin embargo, en los últimos 100 años se ha observado un aumento de temperatura de aproximadamente un grado Celsius con respecto al promedio histórico de 1850 a 2012, como se observa en la Figura 1-1. Esta velocidad de calentamiento es muy rápida para poder explicarse usando variables naturales.

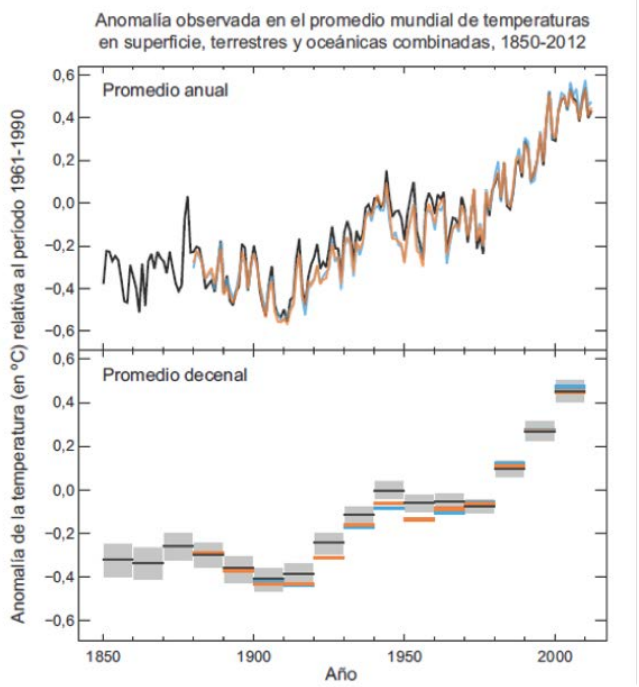


Figura 1-1 Anomalías observadas en el promedio mundial de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas combinadas, desde 1850 hasta 2012, a partir de tres conjuntos de datos. Gráfica superior: Valores medios anuales. La gráfico inferior: Valores medios decenales, incluida la estimación de la incertidumbre para un conjunto de datos. Las anomalías son relativas a la media del periodo 1961-1990. Nótese que para los periodos recientes los incrementos son mayores, lo cual indica un calentamiento acelerado. Tomado de IPCC (2013a).

Es importante mencionar que en nuestra región existen evidencias de que las sociedades prehispánicas que habitaron el territorio conocido como «Tierras Bajas Mayas» atravesaron al menos cinco sequías que las obligaron a abandonar algunas ciudades; pero, a la vez, dieron lugar a mejoras en las técnicas agrícolas que les permitieron desarrollarse y llegar a su máximo esplendor en el periodo clásico. Este esplendor finalizó con un abandono casi total de sus tierras en Petén, debido a un periodo seco que duró más de 100 años y que coincidió con una sobreexplotación de los recursos naturales, así como una serie de conflictos políticos **(capítulo 13)** (Canuto et al., 2018; Douglas, Demarest, Brenner, & Canuto, 2016).

Solamente a través de una amplia comprensión del clima histórico (idealmente de un periodo de 100 años) es posible entender mejor las variaciones climáticas del presente, para distinguir si esos cambios pueden considerarse «normales» o si pueden atribuirse a un cambio climático. La aplicación de modelos para la generación de escenarios a futuro, que predigan mejor el posible comportamiento de las variables climáticas, se basa, en parte, en datos climáticos históricos derivados de las mediciones en estaciones climatológicas. De esta forma será posible la toma de mejores decisiones sobre medidas de adaptación viables; lo que justifica la importancia de contar con datos históricos a corto plazo (de al menos 30 a 50 años), ya que esos datos son necesarios para evaluar la variabilidad actual observada y para calibrar los modelos climáticos a futuro en la generación de escenarios (IPCC, 2013b).

Recientemente, en el país, se ha iniciado un esfuerzo de reconstrucción climática histórica a través de estudios de dendrocronología, la ciencia que se ocupa de estudiar la secuencia del crecimiento de los anillos de árboles de forma cronológica (Ferguson, 1970). A la fecha, se han identificado tres especies arbóreas potenciales que pueden generar información climatológica anual de hasta 400 años; información sumamente valiosa para el estudio y el reconocimiento del cambio en las variables climáticas a lo largo de los años (Anchukaitis et al., 2013).

En Guatemala se cuenta con registros climáticos históricos obtenidos a través del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidro-

logía (INSIVUMEH) desde la década de los setenta. Asimismo, en el país funciona una red de estaciones hidrometeorológicas distribuidas en las distintas regiones climáticas, aunque la cantidad no es la ideal de acuerdo con la variabilidad de microclimas existentes. Es importante fortalecer los procesos de generación de información climática útil para los diferentes sectores del país (agricultura, recurso hídrico, industria, turismo, energía, salud, entre otros), que facilite la toma de decisiones encaminadas a reducir los efectos negativos del cambio climático, así como la propuesta de acciones de mitigación y adaptación de acuerdo con la problemática nacional (INSIVUMEH, 2018).

1.2 Conceptos generales sobre variabilidad y cambio climático

Para comprender mejor los conceptos sobre variabilidad y cambio climático es importante conocer algunos conceptos básicos, como la diferencia entre tiempo y clima, ya que con frecuencia se confunde el tiempo atmosférico con el clima de un lugar. Al hablar de tiempo atmosférico nos referimos a las condiciones meteorológicas que definen el estado de la atmósfera en un momento y lugar determinados. Por lo tanto, se comprende que el tiempo atmosférico cambia rápidamente, pues no hace la misma temperatura a las doce del mediodía que a las seis de la tarde. Mientras que el clima se establece recogiendo las observaciones realizadas día a día en las diversas estaciones meteorológicas durante una serie de años; tomando en cuenta que son promedios de variables, como temperatura y precipitación, por ejemplo. Por tanto, el clima es el tiempo promedio para un determinado lugar (CIIFEN, 2017).

La concentración de GEI en la atmósfera es uno de los factores que determina la temperatura de la tierra. Es más, su composición y concentración en la atmósfera hicieron posible la vida tal y como la conocemos. Sin embargo, después de la revolución industrial, las concentraciones de tres gases importantes con alta capacidad de retención calorífica aumentaron significativamente (dióxido de carbono [CO_2], metano [CH_4] y óxido nitroso [N_2O]). El dióxido de carbono aumentó por la quema de combustibles fósiles, el metano por la ganadería y el óxido nitroso por el uso de fertilizantes en la agricultura. Más recientemente, otros gases también han aumentado sus concentraciones atmosféricas. Este exceso de GEI ha ocasionado el aumento en la temperatura media del planeta a un ritmo no antes visto en la historia climática conocida del planeta, lo que ha resultado en un calentamiento global (IPCC, 2014).

Este aumento en la temperatura por causas antropogénicas ha intensificado la variabilidad climática del planeta, la cual es una variación en las condiciones climáticas que se da en un momento determinado, en cualquier parte del mundo y que no se puede predecir; tal es el caso de una lluvia intensa en medio de la canícula, debido a la influencia de un huracán. Además, el incremento de los GEI nos ha llevado a un aumento de la temperatura del planeta que ha persistido en los últimos 100 años, a lo que se le denomina cambio climático; el cual es una variación en el promedio de un parámetro meteorológico que persiste a lo largo de mucho tiempo, al menos 30 años. Este cambio climático antropogénico está sobrepuesto a cualquier cambio climático natural que se da por alteraciones normales en las variables que determinan el clima del planeta (IPCC, 2007).

Una de las evidencias del cambio climático es el aumento de los eventos extremos, los cuales se definen como eventos inusuales que se salen del promedio general; por ejemplo, un huracán, una helada o precipitación intensa en medio de la canícula, o bien una sequía que se prolonga más de lo usual en un año en específico (IPCC, 2012).

Otro concepto sumamente importante de entender es el del fenómeno de El Niño que ocurre naturalmente y que afecta directa o indirectamente a Guatemala, alterando su variabilidad natural; ya que implica el aumento de las temperaturas del océano en el Pacífico ecuatorial, ocasionando una disminución de la lluvia en la región. Ocurre el mismo ciclo, solo que opuesto, cuando el Pacífico se enfría, dando como resultado el fenómeno de La Niña que trae lluvias abundantes a la región. Cuando las temperaturas en la zona ecuatorial del Pacífico están cerca de la media, ocurre el fenómeno conocido como El Niño Oscilación del Sur (ENOS) neutro; lo que significa que la oscilación no está ni en una fase caliente ni fría (CIIFEN, s/f). Aunque el ENOS es uno de los fenómenos climáticos más estudiados, existen otras fluctuacio-

nes, como las teleconexiones climáticas[1] que fuerzan el clima en el país y pueden provocar alteraciones en los acumulados de lluvia y en el comportamiento de las temperaturas. Las teleconexiones climáticas pueden ser: la Corriente de Chorro (Jet Stream) de bajos niveles de latitudes medias, la Oscilación Decadal del Pacífico, la Oscilación Multidecadal del Atlántico, la Oscilación Madden-Julian, las ondas del Este, la migración anual de la Zona de Convergencia Intertropical, la zona de Alta Presión Subtropical del Atlántico Norte y el régimen del Viento Alisio (INSIVUMEH, 2018).

A nivel mundial, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) en su quinto informe (2014) ha identificado cuatro líneas de evidencia del cambio climático: aumento en las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero; aumento en la temperatura de la superficie de la tierra y nivel del mar; disminución en la cubierta de nieve, capas de hielo y glaciares; aumento en la variabilidad climática y en los eventos climáticos extremos. En cuanto a la temperatura media de la tierra, durante el periodo 1880-2012, la temperatura ha aumentado 0.85 °C; el mayor aumento se ha dado en latitudes medias y altas de los continentes del norte. Se espera que el aumento de la temperatura media de la tierra produzca cambios en las precipitaciones y en la humedad atmosférica, un ciclo hidrológico más activo y un aumento de la capacidad atmosférica de retención de agua.

1.3 Contexto regional y nacional

1.3.1 Contexto regional

Según Magrin et al. (2014), Centroamérica representa una región con alta exposición a riesgos geoclimáticos debido a su localización y topografía, lo cual se complica aún más por la vulnerabilidad de los asentamientos humanos como consecuencia de la falta de planificación territorial. Asimismo, corresponde a una de las regiones más sensibles al cambio climático, lo cual se evidencia con el incremento, en los últimos 30 años, de eventos extremos tales como tormentas, inundaciones, sequías y heladas **(capítulo 2)**. El impacto de estos eventos genera pérdidas millonarias, afectando en mayor medida a la población de escasos recursos **(capítulo 4)**.

Centroamérica posee alta diversidad biológica debido a la gran variedad de microclimas con los que cuenta **(capítulo 7)**. Sin embargo, esta se encuentra cada vez en mayor riesgo debido a diferentes presiones, entre la cuales se pueden mencionar el rápido crecimiento poblacional que conlleva a una explotación masiva de los recursos naturales, cuyas causas principales son el cambio de uso del suelo para agricultura y/o ganadería, la expansión urbana y la industrialización. Por estas razones, resulta muy importante la generación de información confiable y de estrategias que puedan ser convertidas en políticas nacionales para poder tomar medidas que ayuden a reducir los efectos negativos del cambio climático (Magrin et al., 2014).

1.3.2 Contexto nacional

Desde la firma de los Acuerdos de Paz, Guatemala es reconocida como una nación pluricultural, multiétnica y multilingüe, compuesta por tres pueblos indígenas (maya, xinca y garífuna) y un pueblo ladino o mestizo. Los pueblos indígenas representan aproximadamente el 39 % de la población guatemalteca y se encuentran organizados en 24 comunidades lingüísticas. Al año 2014 se estimaba una población de 15.6 millones de personas, con una tasa de crecimiento anual del 2.1 % (INE, 2015, 2016a).

Guatemala tiene elevados índices de pobreza y pobreza extrema, fenómeno que se acentúa más en las áreas rurales, particularmente en el altiplano del país (con un índice arriba del 54 %) donde el porcentaje de población indígena es mayor **(capítulo 13)**. Alta Verapaz fue el departamento que presentó la tasa más alta de pobreza total en 2011 (89.6 %). Adicional a esto, la desnutrición es un problema grave en Guatemala, el sexto país del mundo con los peores índices de desnutrición. El crecimiento económico del país, altamente influenciado por la situación internacional, ha sido bastante irregular en la última década. La economía nacional presenta grandes contrastes debido a que existen sectores de la región metropolitana con elevados índices de desarrollo humano, mientras que en el sector rural este índice es muy bajo; lo que indica alta desigualdad. Según

1 Relación existente entre interacciones directas del océano-atmósfera en una región, que modifican los patrones climáticos en otra.

el Instituto Nacional de Estadística (INE), el sector agrícola fue el que generó mayor empleo en el país durante el 2016 con una participación del 29 % de la población ocupada y contribuyó con el 21 % del producto interno bruto (PIB) total nacional. Sin embargo, es uno de los sectores más propensos al cambio climático, por lo que su contribución a la generación de empleo se ve afectada **(capítulo 6)**. Las variables socioeconómicas mencionadas anteriormente (crecimiento poblacional, pobreza, desnutrición, desigualdad) y otras como el analfabetismo, hacen del país una zona altamente vulnerable y con mayor exposición a eventos climáticos extremos, lo que dificulta en gran medida que la población esté preparada y pueda adaptarse a los efectos negativos del cambio climático (Banco de Guatemala, 2017; CGIAR, 2015; INE, 2013, 2016b; MARN, 2015; PNUD, 2003).

Las características topográficas y la posición geográfica de Guatemala hacen que posea naturalmente gran cantidad de microclimas y alta variabilidad climática. Sin embargo, esa variabilidad ha aumentado en los últimos años debido a que el país es afectado constantemente por eventos climáticos extremos, como sequías y huracanes, incrementados a causa de los efectos del cambio climático. La economía del país depende en gran parte del sector agrícola, uno de los sectores más afectados por la variabilidad climática, si se toma en cuenta que cada vez es menos predecible el inicio y fin de la temporada lluviosa. Esto es el reflejo de las alteraciones en la precipitación que, incluso, han modificado los periodos de cosecha y siembra; poniendo en riesgo la seguridad alimentaria del 52 % de la población rural que depende de los cultivos de maíz y frijol, dos de los sistemas más sensibles a la variabilidad climática, ahora más propensos a plagas y enfermedades por el aumento de la temperatura. Ante esta variabilidad, es de suma importancia la implementación de medidas de adaptación frente al posible aumento de eventos hidrometeorológicos extremos debido al cambio climático, según los escenarios a futuro, para que no afecten tan fuertemente la economía ni pongan en riesgo constante la seguridad alimentaria (CGIAR, 2015).

1.4 Descripción climática

El clima en Guatemala está asociado a la influencia de los regímenes de vientos del noreste, con aportes de humedad provenientes del mar Caribe y el golfo de México, y los regímenes de viento del suroeste, con aportes de humedad del océano Pacífico. Estos regímenes de viento junto a otros factores climáticos definen los periodos normales de lluvia, las olas de frío y de calor del país. Dentro de las grandes zonas climáticas de la tierra, Guatemala se encuentra ubicada en la franja de los climas cálidos, con predominio de temperaturas elevadas y clima tropical estacional (Herrera, 2017).

Las cuatro estaciones que normalmente se delimitan en el hemisferio norte, no se marcan en Guatemala, sino que se delimitan dos épocas particulares, siendo estas la época lluviosa (mayo a octubre) y la época seca (noviembre a abril). Lo anterior obedece al ángulo de la Tierra respecto al Sol y su movimiento alrededor de este (INSIVUMEH, 2018).

1.4.1 Época lluviosa

El ciclo lluvioso se produce al establecerse el régimen de los vientos alisios del noreste, y subsecuentemente la zona de convergencia intertropical se aproxima a nuestras latitudes. Además, los sistemas nubosos se desprenden desde la costa africana y son trasladados por los vientos alisios (ondas del este) que a su paso van generando lluvia y algunas veces se convierten en ciclones tropicales. La época lluviosa en condiciones normales da inicio en mayo, y en junio suelen presentarse días nublados y lluviosos. En julio y parte de agosto se produce un periodo seco denominado canícula, debido a la inversión de los alisios y al fortalecimiento del anticiclón del golfo de México. Las precipitaciones intensas que completan la temporada lluviosa vuelven posteriormente al debilitamiento y desaparición del anticiclón (septiembre y octubre) (INSIVUMEH, 2018).

1.4.2 Época seca

La época seca da inicio con el aumento de la presión atmosférica y la migración de masas de aire frío proveniente de la zona polar (frentes fríos) causando un decremento de la temperatura e incrementando la

velocidad del viento, por lo general, con predominancia de viento norte. Esta época seca y fría se marca de noviembre a febrero; posteriormente, incrementa la temperatura iniciando las olas de calor, que suelen presentarse de marzo a mayo. Durante esta época se pueden presentar algunas lluvias locales de tipo convectivo o prefrontales por la influencia de frentes fríos (INSIVUMEH, 2018).

1.4.3 Clasificación climática para Guatemala

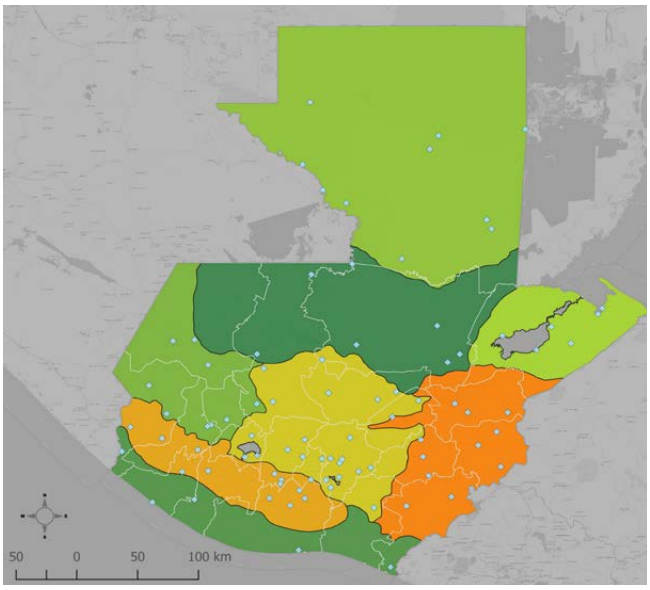
Las condiciones descritas anteriormente son de carácter general. Sin embargo, Guatemala presenta una amplia diversidad de condiciones físicas que requieren una clasificación climática más detallada.

Una de las primeras clasificaciones climáticas de Guatemala fue la realizada por Ricardo Obiols del Cid (1966), quien utilizó la metodología de Charles Warren Thornthwaite. Posteriormente, el INSIVUMEH generó el documento «Aspectos Generales del Clima» basado también en el sistema de clasificación de Thornthwaite, en el cual se realizó un análisis del tipo de distribución de la humedad y variación de la temperatura (Figura 1-2) (INSIVUMEH, 1990).

Entre el 2000 y 2001, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) junto con el INSIVUMEH trabajaron para actualizar y digitalizar un conjunto de variables climáticas con sus promedios mensual y anual (lluvia, temperatura, humedad rela-tiva, evapotranspiración potencial, horas sol, radiación solar, etc.); así como mapas que conformaron el atlas climático, incluido el mapa de clasificación climática del sistema de Thornthwaite a nivel genérico o de tipos de climas, a escala 1:250 000 (MAGA, 2001).

En el 2008, se realizó la actualización del análisis de clasificación climática del sistema Thornthwaite a través de aproximadamente 190 estaciones meteorológicas con registro variable de años, utilizando una base de datos mensuales conformada con temperatura del aire y precipitación dentro del periodo 1961-2007. El laboratorio de Sistemas de Información Geográfica (MAGA, 2009), realizó la primera aproximación del mapa de clasificación climática del sistema Thornthwaite a escala 1:50 000[2]. Este mapa presenta 23 tipos climáticos (Cuadro 1-1) considerando grandes diferencias climáticas entre regiones de planicies, laderas, depresiones orográficas, valles, mesetas, tierras altas y complejos volcánicos.

La temperatura media anual es la que mejor se ajusta para determinar el clima. El rango de lluvia o precipitación pluvial media debe ser considerado con mayor reserva y margen de holgura, a causa de los complejos y distintos factores que determinan la distribución de la lluvia sobre la geografía de Guatemala (Herrera, 2007).



MAPA DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y REGIONES CLIMÁTICAS UTILIZADAS POR INSIVUMEH

LEYENDA

- Estaciones Meteorológicas - INSIVUMEH

Regiones climáticas de Guatemala

- Región Franja Transversal del norte
- Región Occidente
- Región Petén
- Región Pacífico
- Región Caribe
- Región Antiplano Central
- Región Bocacosta
- Región Valles de Oriente
- División Política Departamental

Figura 1-2 Mapa de las estaciones meteorológicas y regiones climáticas utilizadas por INSIVUMEH. Se muestran las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH (rombos celestes). Adaptado de INSIVUMEH, 2018.

2 Adaptación para el proyecto «Taxonomía de Suelos y Capacidad de Uso de la Tierra».

Cuadro 1-1 Tipos de clima en Guatemala de acuerdo con la clasificación climática de Thornthwaite

Tipo de clima	Temperatura media (°C)	Precipitación media (mm)	Elevación (msnm)
Muy cálido, húmedo	> 27.9	2001 - 4000	0 – 650
Muy cálido, subhúmedo		1001 - 2000	
Muy cálido, semiseco		601 - 1000	
Cálido, húmedo	24.4 - 27.8	2001 - 4000	0 – 650
Cálido, subhúmedo		1001 - 2000	
Cálido, semiseco		601 - 1000	
Semicálido, muy húmedo	20.8 - 24.3	4001 - 5000	650 - 1400
Semicálido, húmedo		2001 - 4000	
Semicálido, subhúmedo		1001 - 2000	
Semicálido, semiseco		601 - 1000	
Templado, humedísimo	17.1 - 20.7	> 5001	1400 - 1900
Templado, muy húmedo		4001 - 5000	
Templado, húmedo		2001 - 4000	
Templado, subhúmedo		1001 - 2000	
Templado, semiseco		601 - 1000	
Semifrío, humedísimo	13.3 - 17.0	> 5001	1900 - 2300
Semifrío, muy húmedo		4001 - 5000	
Semifrío, húmedo		2001 - 4000	
Semifrío, subhúmedo		1001 - 2000	
Semifrío, semiseco		601 - 1000	
Frío, muy húmedo	9.4 - 13.2	4001 - 5000	> 2300
Frío, húmedo		2001 - 4000	
Frío, subhúmedo		1001 - 2000	

Nota: Temperatura media = temperatura media del tipo de clima en grados Celsius. Precipitación media = precipitación media del tipo de clima en milímetros. Elevación = altura promedio a la que se encuentra el tipo de clima, dada en metros sobre el nivel del mar. Adaptado de MAGA (2009).

1.5 Hidrología y cambio climático

El aumento generalizado de temperatura podría tener un impacto relevante sobre los avances del agua y los procesos hidrológicos de nuestra región. Algunos cambios se percibirán directamente por las alteraciones en los regímenes de precipitación y la cantidad total de lluvia, según las predicciones y conclusiones realizadas por el IPCC y los últimos avances científicos en la materia. Los cambios hidrológicos inducidos por la alteración del clima afectarán directa o indirectamente sobre las actividades humanas especialmente en la agricultura. El aumento de la temperatura a escala global incrementará las tasas de evaporación y puede ocasionar impactos muy importantes sobre la hidrología y la disponibilidad de recursos hídricos, que se traducen en modificación de la escorrentía superficial y de la recarga de los acuíferos (Hunink, 2013).

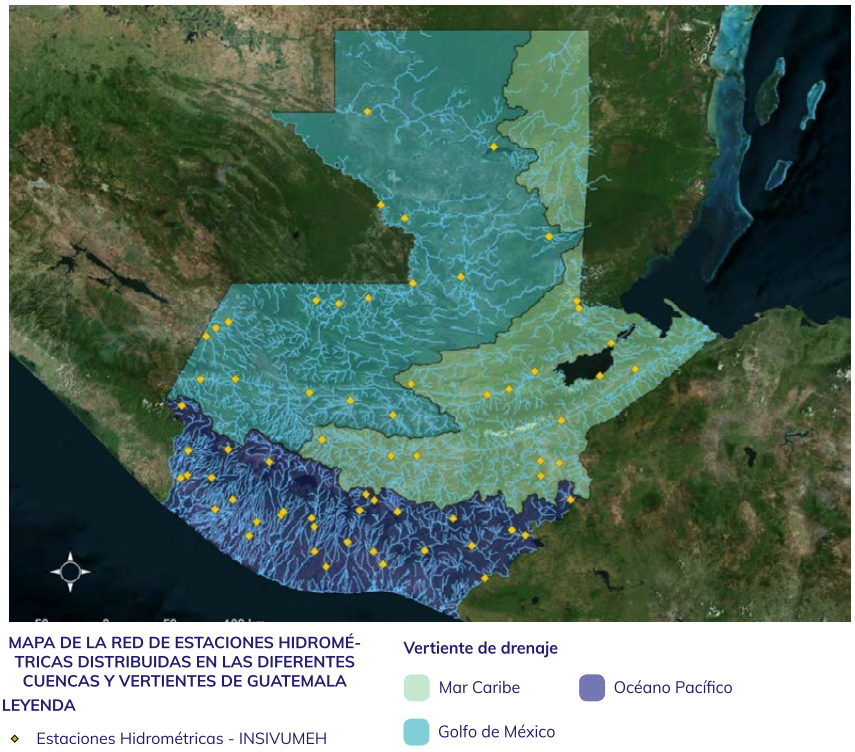


Figura 1-3 Mapa de la red de estaciones hidrométricas distribuidas en las diferentes cuencas y vertientes de Guatemala. Los rombos amarillos muestran las estaciones hidrométricas del INSIVUMEH, el color azul corresponde a la vertiente del Océano Pacífico, verde claro a la vertiente del Mar Caribe y celeste a la vertiente del Golfo de México. Adaptado de INSIVUMEH (2018).

Guatemala cuenta con tres vertientes (Figura 1-3): vertiente del Pacífico, con las 18 cuencas más angostas del país y ríos fuertemente influenciados por la precipitación; vertiente del Caribe, con 10 cuencas, caracterizada por tener los ríos más extensos; y la vertiente del golfo de México, con 10 cuencas, a la cual pertenecen los ríos más caudalosos (Anleu, 2006). Además, el país cuenta con 23 lagos y lagunas y 119 lagunas menores que cubren un área aproximada de 950 km^2 de su territorio. El INSIVUMEH posee 68 estaciones hidrométricas alrededor de las vertientes mencionadas: 33 en la vertiente del Pacífico, 17 en la vertiente del mar Caribe y 18 en la vertiente del golfo de México (INSIVUMEH, s/f-b). Las estaciones funcionan irregularmente debido a problemas presupuestarios en temas de operación y mantenimiento. La precipitación en el país alcanza un promedio anual de aproximadamente 2000 mm, este promedio presenta variaciones según la región del país; en las regiones más secas el promedio es de 700 mm y en las más húmedas de 4000 mm (Iarna-URL, IICA, Gálvez, & Andrews, 2015; INSIVUMEH, s/f-a).

1.6 Marco legal e institucional

1.6.1 Convenios internacionales

Con el fin de abordar la problemática que representa en el país la variabilidad climática y el cambio climático, Guatemala ratificó en 1995 la adición a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (Decreto 15-95, 1995), cuyo objetivo principal es la estabilización de los GEI para permitir la adaptación natural de los ecosistemas al cambio climático. Como complemento, Guatemala ratificó el Protocolo de Kioto (Decreto 23-99, 1999), a través del cual se definió al MARN como Autoridad Nacional Designada ante la CMNUCC y se creó la Oficina Nacional para el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Así mismo, en el 2015 adoptó el Acuerdo de París, ratificándolo en 2016 (Decreto 48- 2016, 2016). A través de este acuerdo, tanto los países desarrollados como los países en vías de desarrollo, se comprometieron a reducir sus emisiones de manera diferenciada, con el objetivo de frenar el aumento

de la temperatura en 1.5 °C respecto a los niveles preindustriales. Además de la CMNUCC, Guatemala es signatario del Convenio Centroamericano sobre Cambios Climáticos y del Convenio de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en Países Afectados por Sequía Grave (Decreto 13-98, 1998; MARN, 2015).

1.6.2 Marco legal nacional

Desde el año 2009, el país cuenta con una Política Nacional de Cambio Climático (MARN, 2009) y en el 2013 fue aprobada la Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación Obligatoria ante los Efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (Decreto 7-2013, 2013). En este contexto se han generado una serie de instrumentos jurídicos y técnicos e instancias de gobernanza que han permitido al país avanzar en la implementación de acciones en respuesta al cambio climático, dentro de las cuales resaltan:

- La creación del Consejo Nacional de Cambio Climático (CNCC), el cual está integrado por instituciones gubernamentales, sociedad civil, gobiernos locales y academia. Las instituciones gubernamentales integrantes son el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN); Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA); Ministerio de Energía y Minas (MEM); Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (MICIVI); y la Secretaría Ejecutiva de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. De la sociedad civil participan: el representante de organizaciones indígenas; organizaciones campesinas; Comité de Asociaciones Comerciales, Industriales y Financieras; Cámara de Industria y Cámara del Agro. De los gobiernos locales participan: el representante de la Asociación Nacional de Municipalidades; Asociación de Alcaldes y Comunidades Indígenas; y la Asociación Nacional de Organizaciones no Gubernamentales de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Los integrantes de la academia son la Universidad de San Carlos de Guatemala y un representante de las universidades privadas (Decreto 7-2013, 2013).

- La elaboración del Plan de Acción Nacional sobre Cambio Climático (PANCC) (CNCC, 2016), enmarcado en el Plan Nacional de Desarrollo K'atun Nuestra Guatemala 2032 (CONADUR, 2014), en el cual se describen las acciones prioritarias para la reducción de la vulnerabilidad, mejorar la adaptación y reducir la emisión de GEI; con el objetivo de orientar la institucionalidad pública y a los diferentes sectores del país para el cumplimiento de la Ley Marco de Cambio Climático (CNCC, 2016).

- Los avances en el establecimiento del Sistema Nacional de Información sobre Cambio Climático, en apoyo al cual se cuenta con el Acuerdo Ministerial número 5-2016 (MARN, 2016), que establece las normas y procedimientos para colectar, sistematizar, analizar y transferir la información que alimentará este Sistema.

- El Viceministerio de Recursos Naturales del MARN pasa a ser Viceministerio de Recursos Naturales y Cambio Climático, creándose también la Dirección de Cambio Climático. De igual forma se crean unidades de cambio climático en distintas instituciones gubernamentales como el MAGA, el Instituto Nacional de Bosques (INAB), el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), el MEM, el Ministerio de Relaciones Exteriores y la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED).

1.6.3 Institucionalidad para la gobernanza en cambio climático

Las acciones nacionales para dar cumplimiento a los compromisos asumidos como parte de la Convención de Cambio Climático se iniciaron con la creación de la Oficina Guatemalteca de Implementación Conjunta (OGIC) en 1997 y más recientemente con la institucionalización del CNCC en 2014. Ambas entidades han aglutinado a los principales actores de la sociedad guatemalteca (sector gobierno, sector privado, organizaciones no gubernamentales y academia) (MARN, 2001).

Con el apoyo financiero del Fondo para el Medio ambiente Mundial y del Programa de Naciones Unidas

para el Desarrollo se llevó a cabo, a partir de 1998, el inventario nacional de GEI, la preparación de escenarios de cambio climático (hasta el año 2100), los estudios de vulnerabilidad y las medidas para la implementación de la Convención de Cambio Climático (MARN, 2001).

Para la Primera Comunicación Nacional de Guatemala sobre Cambio Climático (MARN, 2001) se obtuvo la identificación y cuantificación de los efectos e impactos del cambio climático; el inventario de emisiones y absorciones de GEI; la construcción de los distintos escenarios (climáticos, socioeconómicos y ambientales); la evaluación de impactos del cambio climático en sectores primarios de salud, forestal, granos básicos y recursos hídricos; y finalmente las medidas de implementación.

La Segunda Comunicación Nacional de Guatemala sobre Cambio Climático (MARN, 2015) incorporó nuevos datos del inventario nacional de GEI, medidas de implementación, un análisis de la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, y las acciones orientadas a la adaptación y mitigación. Cabe mencionar que actualmente se encuentra en elaboración la tercera comunicación y paralelamente se está haciendo el primer informe bienal de avances después del acuerdo de París.

1.6.4 Iniciativas de la sociedad civil en relación con el cambio climático

Entre las iniciativas que la sociedad civil ha impulsado para apoyar la institucionalidad alrededor del tema de cambio climático se encuentran:

- La creación del Sistema Guatemalteco de Ciencias de Cambio Climático (SGCCC), ente independiente compuesto por instituciones privadas, públicas y académicas, que está organizado en tres grupos de trabajo: Ciencia del Clima, Adaptación y Vulnerabilidad, y Mitigación e Inventarios de GEI. Una de las funciones principales del SGCCC es asesorar técnica y científicamente al CNCC. Entre los aportes del Sistema se encuentra la generación del documento «Líneas de Investigación en Cambio Climático», que tiene como objetivo la identificación de temas relevantes de investigación a nivel nacional en materia de cambio climático, para que la investigación responda a las necesidades y problemática del país (CNCC, 2017).

- Creación de la Mesa Nacional de Cambio Climático, la cual surge en el 2009 como un esfuerzo de Estado para consensuar y aprobar la política, estrategia y ley nacional de cambio climático (Mesa Nacional de Cambio Climático, 2018).

- La creación de la Mesa Indígena de Cambio Climático, instancia civil que surgió por la necesidad de crear un espacio de diálogo entre organizaciones y comunidades indígenas, y el Estado; cuyo objetivo principal es el diseño y elaboración de leyes y políticas públicas, relacionadas al ambiente y cambio climático, con énfasis en los derechos indígenas y el rescate de prácticas tradicionales. La mesa busca tener incidencia en leyes y políticas, tanto nacionales como internacionales (PNUD, 2015).

1.6.5 Instituciones que generan y gestionan datos climáticos en Guatemala

El INSIVUMEH es una institución técnico-científica que contribuye a la optimización de actividades del sector productivo de la República de Guatemala, asociadas a las ciencias atmosféricas, geofísicas e hidrológicas; coordinando servicios con el sector privado y actuando como asesor técnico del Gobierno en caso de desastres ocasionados por eventos naturales. Esta institución es dependiente del MICIVI y fue creada poco después del terremoto del 4 de febrero de ese mismo año (Acuerdo gubernativo, 1976).

El INSIVUMEH tiene cuatro disciplinas principales: Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. La sección de Meteorología tiene a su cargo todo lo relacionado con el desarrollo de procesos y fenómenos océano-atmosféricos y su incidencia en el territorio nacional. Desde 1976 a la fecha, se ha centrado en proporcionar servicios meteorológicos y climáticos a la navegación aérea, al sector de atención a los desastres, a la agricultura, a la planificación y aprovechamiento de los recursos hídricos del país, al diseño y planificación de las obras de infraestructura y a los diversos proyectos de interés nacional; así como al sector público y privado en general. Cuenta con una

red de 88 estaciones meteorológicas convencionales, 13 sinópticas y 21 automáticas. Actualmente, cuenta con un radar meteorológico modelo: DWSR-8501S, tipo dópler, con un rango de cobertura de 480 km, una frecuencia de banda S, antena de 9 m de diámetro y una altura de 2561 msnm, ubicado en San José Pinula. Este radar está a cargo de la Unidad de Análisis y Operación de Radar Meteorológico, donde se tiene el control remoto del sistema en general (INSIVUMEH, 2018).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) brinda algunos criterios internacionales con relación a la cantidad y ubicación que deben tener las estaciones hidrometeorológicas en los países, como parte de su misión de ayudar a los servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales a contribuir al desarrollo de su país con la mayor eficacia posible y a convertirse en asociados de pleno derecho en las iniciativas de colaboración que se llevan a cabo a nivel mundial. Así pues, es de suma importancia que Guatemala fortalezca la cobertura de estaciones hidrológicas y meteorológicas; ya que se estima que la red hidrológica debería contar por lo menos con 125 estaciones y la meteorológica, con 300 estaciones. Actualmente, el INSIVUMEH realiza esfuerzos para fortalecer las redes y alcanzar los estándares requeridos que le permitan tener una mejor valorización de la hidrometeorología nacional (Cuadro 1-2) (INSIVUMEH, 2018).

En cuanto a los sistemas de almacenamiento de datos, el INSIVUMEH utiliza el DBClima, base de datos en donde se guarda la información de las variables climáticas. Dada la baja densidad de estaciones meteorológicas existentes en el país, el INSIVUMEH promovió la creación del Sistema de Almacenamiento de Datos Meteorológicos, Climáticos e Hidrológicos Interinstitucional (MCH); a través del cual se plantea hacer convenios con las instituciones y universidades del país poseedoras de estaciones hidrometeorológicas que estén generando datos; para que puedan ser incluidas en el MCH, previo a los controles de calidad, y así contribuir al fortalecimiento de la red meteorológica nacional (Figura 1-2) (INSIVUMEH, 2018).

La OMM recomienda el uso de periodos estándares para caracterizar el clima de una región y hacerlos comparables estadísticamente con otros. Estos periodos se conocen como ‹‹normales climatológicas reglamentarias››, que son medias de los datos climatológicos calculadas para periodos consecutivos de 30 años (OMM, 2007). Sin embargo, debido a la mayor disponibilidad de datos y cercanía de tiempo, se están utilizando las del periodo 1971-2000. Actualmente, el INSIVUMEH cuenta con una red climatológica de apenas 37 estaciones que llenan los requisitos para realizar estudios climáticos, las cuales poseen registros históricos desde 30 hasta 43 años (INSIVUMEH, 2018).

Además de la red nacional de estaciones meteorológicas que posee INSIVUMEH, existen otras instituciones y/o universidades que cuentan con sus propias estaciones de monitoreo. Entre ellas se pueden mencionar las de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán, las universidades, el Instituto Nacional de Electrificación, algunas municipalidades, fincas y mancomunidades.

La Asociación Nacional del Café, cuenta con una red de 45 estaciones meteorológicas, de las cuales 10 están en línea. Las variables climáticas que registran son: dirección del viento (en grados), velocidad del viento (mph, km/h), temperatura del aire (°F, °C), humedad relativa (%), punto de rocío (°F, °C), lluvia (mm), radiación solar (W/m²) y evapotranspiración (ANACAFE, 2018).

La red de estaciones meteorológicas del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, cuenta con 28 estaciones automáticas localizadas en la vertiente del Pacífico, las cuales generan información de precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, humedad de la hoja, y velocidad y dirección del viento cada 15 minutos. Dicha información está a disposición de investigadores, académicos, estudiantes y población en general a través del sitio web de esta institución (ICC, 2018).

Cuadro 1-2 Análisis institucional del INSIVUMEH

El INSIVUMEH y su inserción institucional

Actualmente, el INSIVUMEH se encuentra bajo la estructura institucional del MICIVI, el cual ha priorizado la ampliación de carreteras, la reconstrucción de puentes y la realización de dragados. Así que, el INSIVUMEH ha sido de los menos favorecidos con apoyo político durante años; por lo tanto, ha recibido poco apoyo financiero y ha visto muy limitada su capacidad de renovar y aumentar la red de estaciones hidrometeorológicas para el monitoreo y registro de información estratégica.

El fortalecimiento de esta red debería hacerse con base en las necesidades de planificación agropecuaria y el análisis de riesgo frente a los eventos sísmicos, vulcanológicos y meteorológicos que afectan constantemente al país. La información recopilada, a su vez, debería de utilizarse para orientar acciones de protección civil frente a eventos extremos como tormentas tropicales, huracanes, sequías, terremotos, erupciones o huracanes; sin dejar de lado la importancia de la medición de caudales, información clave para la gestión integrada de cuencas, que ayude a reducir la conflictividad en torno a la alta demanda del recurso hídrico cada vez más escaso.

La falta de equipo y personal del INSIVUMEH se evidencia en la poca generación de información climática a nivel local y municipal. Esta información es vital para responder de forma integral a los impactos negativos del cambio climático. Una solución estructural a esta situación sería el traslado del INSIVUMEH a otra institución con mayor vocación ambiental, donde pueda prestar sus servicios a más instancias, sectores y actores. Por ejemplo, en países cercanos, los institutos como el INSIVUMEH están vinculados a los ministerios de ambiente y recursos naturales. En Guatemala, el Instituto podría estar apoyando en la generación de información meteorológica, vulcanológica, sismológica, hidrológica y cartográfica a las instituciones que ven el tema de áreas protegidas y diversidad biológica (CONAP y la Oficina de Control de Áreas de Reservas del Estado), asuntos de gestión forestal y restauración del paisaje (INAB), calidad ambiental (MARN), e intervenciones en la gestión de riesgos (CONRED).

Lamentablemente, el INSIVUMEH que ahora conocemos, es producto de la fragmentación y del debilitamiento del Estado; así como de la poca relevancia que le dan las autoridades locales y gubernamentales a la toma de decisiones, políticas y financieras, informadas y respaldadas científicamente. Por lo tanto, el escenario ideal sería que el tema ambiental fuera prioritario en el país y tuviera mayor apoyo político y financiero, así como una estructura institucional distinta.

1.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo gubernativo. Créase el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología (INSIVUMEH), de la República de Guatemala, como dependencia del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas (1976). Guatemala: Diario de Centroamérica.

- Anchukaitis, K. J., Taylor, M. J., Martin-Fernandez, J., Pons, D., Dell, M., Chopp, C., & Castellanos, E. J. (2013). Annual chronology and climate response in *Abies guatemalensis* Rehder (Pinaceae) in Central America. *The Holocene*, 23(2), 270–277. https://doi.org/10.1177/0959683612455548

- Anleu, R. (2006). *Inventario de cuencas en Guatemala*. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC). Guatemala.

- Aragón, S. (2017). El cambio climático y el futuro de la tierra. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, (35), 32.

- Asociación Nacional del Café (ANACAFE). (2018). Red de estaciones meteorológicas en la Franja Cafetalera. Recuperado el 19 de noviembre de 2018, de https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Especial:WeatherPage&city=guatemala

- Banco de Guatemala. (2017). *Guatemala en cifras 2017*. Guatemala.

- Canuto, M. A., Estrada-Belli, F., Garrison, T. G., Houston, S. D., Acuña, M. J., Kováč, M., ... Shrestha, R. (2018). Ancient lowland Maya complexity as revealed by airborne laser scanning of northern Guatemala. *Science*, 361(6409). https://doi.org/10.1126/science.aau0137

- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN). (s/f). Preguntas frecuentes de ENOS. Recuperado el 19 de noviembre de 2018, de http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=article&id=278&Itemid=366&lang=es

- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN). (2017). Tiempo y Clima. Recuperado el 19 de noviembre de 2018, de http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=article&id=579:-tiempo-y-clima&catid=98&Itemid=131&lang=es

- Consejo Nacional de Cambio Climático (CNCC). (2016). *Plan de acción nacional de cambio climático*. Guatemala. Recuperado de http://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2016/10/Plan-de-Acción-Nacional-de-Cambio-Climático-ver-oct-2016-aprobado-1.pdf

- Consejo Nacional de Cambio Climático (CNCC). (2017). *Líneas de investigación en cambio climático*. Consejo Nacional de Cambio Climático. Guatemala.

- Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural (CONADUR). (2014). *Plan nacional de desarrollo K'atun: nuestra Guatemala 2032*. Guatemala.

- Consortium of International Agricultural Research Centers (CGIAR). (2015). *Estado del arte en cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria en Guatemala*. Guatemala.

- Decreto 13-98. Aprueba la Convención de la Naciones Unidas de lucha contra la desertificación en los países afectados por la sequía grave o desertificación en particular en África, suscrita en París el 17 de junio de 1994 (1998). Guatemala: Diario de Centroamérica.

- Decreto 15-95. Aprueba la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el camibio climático, suscrita por Guatemala en la ciudad de Nueva York, el 9 de mayo de 1992 (1995). Guatemala: Diario de Centroamérica.

- Decreto 23-99. Aprueba Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. El Estado de Guatemala queda inmerso en la labor de prevenir, proteger y conservar el medio ambiente, suscrito por Guatemala el 10/07/1998 (1999). Guatemala: Diario de Centroamérica.

- Decreto 48-2016. Aprueba el Acuerdo de París, hecho en París el 12 de diciembre de 2015 (2016). Guatemala: Diario de Centroamérica. Decreto 7-2013. Ley marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero (2013). Guatemala: Diario de Centroamérica.

- Douglas, P. M. J., Demarest, A. A., Brenner, M., & Canuto, M. A. (2016). Impacts of climate change on the collapse of lowland Maya civilization. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 44(1), 613–645. https://doi.org/10.1146/annurev-earth-060115-012512

- Ferguson, C. W. (1970). Concepts and techniques of dendrochronology. *Scientific Methods in Medieval Archaeology*, 183–200. https://doi.org/10.1111/j.1751-7893.2010.00250.x

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, ... Z. Chen, Eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). IPCC. (2012). Glossary of terms. En C. Field, V. Barros, D. Stocker, D. Qin, K. Dokken, M. Ebi, ... P. Midgley (Eds.), *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation* (pp. 555–564). Cambridge, United Kingdom. https://doi.org/10.1177/1403494813515131

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2013a). *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). (2013b). *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, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, ... P. M. Midgley, Eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2013c). Glosario. En S. Planton (Ed.), *Cambio climático 2013. Bases físicas. Contribución del grupo de trabajo I al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático* (p. 22). Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos de América.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* (Core Writing Team, R. Pachauri, & L. Meyer, Eds.). Geneva, Switzerland. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324

- Herrera, J. L. (2007). *Ensayo sobre formulación y validación de un índice de anomalía de presión atmosférica, para pronóstico a corto y mediano alcance: Puerto Barrios, Izabal, Guatemala.* Guatemala.

- Herrera, J. L. (2017). *Descripción climática de los departamentos de Guatemala.* Guatemala.

- Hunink, J. (2013). Cambio climático e hidrología: herramientas clave para conocer los impactos y evaluar estrategias de adaptación. Recuperado el 19 de noviembre de 2018, de https://www.iagua.es/blogs/johannes-hunink/cambio-climatico-e-hidrologia-herramientas-clave-para-conocer-los-impactos-y-evaluar-estrategias-de

- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2013). *Mapas de pobreza rural en Guatemala 2011.* Guatemala: Instituto Nacional de Estadística. Recuperado de http://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/01/10/ifRRpEnf0cjUfRZGhyXD7RQjf7EQH2Er.pdf

- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2015). *Estadísticas demográficas y vitales 2014.* Guatemala: Instituto Nacional de Estadística. Recuperado de https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/01/13/FijigScCmvJuAdaPlozybqKmr01Xtkjy.pdf

- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2016a). *Encuesta de condiciones de vida 2014.* Guatemala: Instituto Nacional de Estadística.

- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2016b). *ENEI 3-2016. Encuesta nacional de empleo e ingresos.* Guatemala: Instituto Nacional de Estadística.

- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad de la Universidad Rafael Landívar (Iarna-URL), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Gálvez, J., & Andrews, K. (2015). *Perfil del agro y la ruralidad de Guatemala 2014 Situación actual y tendencias.* Guatemala: Cara Parens.

- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (s/f-a). Mapa de isoyetas promedio mensual. Recuperado el 1 de diciembre de 2018, de http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Climatologico/isoyetas.jpg

- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (s/f-b). Ríos de Guatemala. Recuperado el 23 de julio de 2018, de http://www.insivumeh.gob.gt/?page_id=2320

- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (1990). *Aspectos generales del clima: el clima de Guatemala*. Guatemala.

- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2018). *Variabilidad y cambio climático en Guatemala*. Guatemala.

- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). (2018). Estaciones meteorológicas. Recuperado el 19 de noviembre de 2018, de https://redmet.icc.org.gt/

- 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

- Mesa Nacional de Cambio Climático. (2018). Historia. Recuperado el 19 de noviembre de 2018, de http://mncc-guatemala.blogspot.com/p/historia-de-la-mesa-nacional-de-cambio.html

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2001). *Mapas temáticos de la República de Guatemala a escala 1:250,000, Thornthwaite*. Guatemala.

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2009). *Mapa de clasificación climática de la República de Guatemala a escala 1:10,000 adaptado del Sistema Thornthwaite*. Guatemala.

- 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

- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Política nacional de cambio climático. Acuerdo Gubernativo 329-2009 (2009). Guatemala.

- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2015). *Segunda comunicación nacional sobre cambio climático Guatemala*. Guatemala.

- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Acuerdo Ministerial 5-2016 (2016). Guatemala: Diario de Centroamérica.

- Obiols, R. (1966). *Clasificación preliminar de climas en la República de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2007). *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante*. (O. Baddour & H. Kontongomde, Eds.). Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2003). *Guatemala: una agenda para el desarrollo humano*. Guatemala.

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2015). Mesa indígena sobre cambio climático en la COP21 | El PNUD en Guatemala. Recuperado el 12 de julio de 2018, de http://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/presscenter/articles/2015/12/08/mesa-ind-gena-sobre-cambio-clim-tico-en-la-cop2

2

CLIMA DE GUATEMALA
TENDENCIAS OBSERVADAS E ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO

Autores: Walter Arnoldo Bardales Espinoza[1], Claudio Castañón[2] y José Luis Herrera Herrera[3]

[1] Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, bardaleswa@gmail.com
[2] Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, claudiocastanon@gmail.com
[3] Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de San Carlos de Guatemala, herreramet@gmail.com

Forma de citar este capítulo:
Bardales Espinoza, W. A., Castañón, C., & Herrera Herrera, J. L. (2019). Clima de Guatemala, tendencias observadas e índices de cambio climático. 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. 20–39). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Mensajes clave:

- La región centroamericana es afectada por anomalías climáticas que provocan variabilidad, siendo la más conocida y relevante la de El Niño Oscilación Sur.
- En Guatemala, tanto la temperatura como la precipitación muestran una tendencia al aumento en las últimas décadas. Estos cambios se deben a la variabilidad climática, así como al calentamiento global.
- En los últimos años, Guatemala se ha visto afectada más intensamente por eventos extremos. Entre estos eventos destacan las canículas severas y prolongadas, el retraso en el establecimiento de la temporada de lluvias y el aumento de días con lluvias intensas.

RESUMEN

La parte central de este capítulo la constituye el análisis de tendencias históricas en las variables climáticas de Guatemala para buscar si existe algún patrón cambiante por década. La tendencia de la precipitación revela un aumento en el promedio nacional a partir de la década de los noventa, con máximos extremos en los años 1997, 1998, 2010 y 2011. Además, las tendencias en temperatura media muestran un claro aumento (calentamiento) de 1.5 °C en el periodo 1961-2015. Los años con temperaturas mayores corresponden con aquellos en que se produjeron eventos de El Niño. Estas tendencias, al aumento en las últimas tres décadas, pueden ser producto tanto de la variabilidad climática como del calentamiento global de la atmósfera debido al cambio climático antropogénico. Estos resultados se refuerzan con los índices de cambio climático, agregando que, en el caso de la precipitación, el aumento es tanto en cantidad como en intensidad, porque se están registrando más días con lluvias intensas durante el año.

En cuanto a eventos extremos, destaca la alta actividad ciclónica en el periodo 1998-2011 que resultó en grandes pérdidas humanas y económicas para Guatemala. Más recientemente destacan las canículas severas y prolongadas en los años 2012, 2014, 2015 y 2018; también se muestra un retraso en el establecimiento de la temporada de lluvias y una disminución del máximo de lluvia en junio para varios años. En cuanto a ondas de calor, para los años 2015, 2016 y 2017, la mayoría de las estaciones meteorológicas del país superaron el récord de temperatura máxima diaria, esto en concordancia con los registros mundiales que clasificaron esos años como los más cálidos en la historia de los registros climáticos globales.

En su parte introductoria, este capítulo describe los aspectos fundamentales de las fuentes de variabilidad más conocidas en la región y sus principales impactos en Guatemala, así como las relaciones con la actividad ciclónica y la caracterización de las temporadas de frentes fríos, variación de la lluvia anual y temperatura media. Dentro de los eventos extremos meteorológicos analizados, en su contexto conceptual e impactos en Guatemala, se encuentran: eventos extremos de lluvia y tormentas severas (tanto de origen ciclónico como no ciclónico); eventos extremos de temperatura máxima y mínima (olas de calor, heladas y olas de frío); situaciones de sequía (especialmente en las regiones del país que presentan áreas con menor humedad y semiáridas); y eventos extremos de viento en superficie.

CONTENIDO

2.1 Variabilidad climática 24
2.1.1 Fuentes de variabilidad climática para la región centroamericana 24
2.1.2 El Niño Oscilación del Sur (ENOS) 24
2.1.2.1 El Atlántico Tropical Norte 26
2.1.2.2 La Oscilación Decadal del Pacífico 26
2.1.3 Variabilidad climática en Guatemala 26
2.1.4 Tendencias recientes de las variaciones de clima en Guatemala 28
2.1.4.1 Variación y tendencias de la precipitación anual 28
2.1.4.2 Variación y tendencias de la temperatura media 29

2.2 Eventos extremos 31
2.2.1 Eventos extremos de lluvia y tormenta 31
2.2.2 Sequía 33
2.2.3 Eventos extremos de temperatura 34
2.2.3.1 Olas de calor 34
2.2.3.2 Heladas y olas de frío 34

2.3 Índices de cambio climático 35

2.4 Análisis de vacíos 36

2.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 37

2.1 Variabilidad climática

Las variables climáticas cambian continuamente en espacio y tiempo, y son estas las que describen las características del clima de una región. Las variables climáticas tienden a oscilar en el transcurso del tiempo, causando modificaciones temporales en el clima, lo que se denomina «variabilidad climática» (Montealegre, 2009).

Las formas más conocidas de variabilidad climática son las estaciones del año, que representan a aquellas características particulares del clima asociadas al movimiento de traslación de la tierra. Las estaciones son una característica propia del clima que han dejado huella en el desarrollo social e histórico de la humanidad. Existen testimonios anecdóticos y antropológicos que demuestran la adaptación humana a la variabilidad climática que repercute primeramente en la salud y la supervivencia.

Parte de los cambios observados en el país sobre la productividad de los ecosistemas (agropecuarios especialmente) en las últimas décadas, que son discutidos en el **capítulo 6** de este reporte, pueden deberse tanto al cambio climático como a la variabilidad climática; estos fenómenos están estrechamente concatenados y son difícilmente discernibles, particularmente si los datos climáticos históricos disponibles son limitados.

Para cuantificar la variabilidad climática se utilizan distintas escalas de tiempo (intraestacional, estacional, anual y decadal) en las que se desarrollan fenómenos oceánicos y atmosféricos; estos fenómenos producen anomalías positivas (aumentos) o negativas (disminuciones) en las variables climáticas, cuantificadas principalmente en términos de precipitación pluvial (lluvia) y temperatura del aire.

La diferencia en los valores de las variables climáticas, alrededor de un valor de comparación, permite determinar tendencias en las que los valores de las variables mantienen un comportamiento similar. Frecuentemente, este valor de comparación es el mismo promedio de los datos y, en este caso, lo que se mide es una anomalía. Los lapsos en que se miden estas tendencias han sido llamados periodos o fases; por ejemplo, se llama fase positiva y negativa a los periodos de calentamiento y enfriamiento anormal de las aguas superficiales de los océanos, o simplemente fase cálida y fría (Herrera & Pineda, 2002).

La alternación entre dos fases o cambios de fase se llama «oscilación»; por ejemplo, los cambios de presión atmosférica en regiones del Pacífico ecuatorial se llaman Oscilación del Sur. Por otro lado, a dos fases en el mismo sentido o signo se les llama «ciclos»; por ejemplo, la duración de las fases cálidas y frías del Pacífico y Atlántico completan un ciclo. Y para el retorno de condiciones o fenómenos en forma irregular se utiliza el calificativo «acíclico» (Herrera & Pineda, 2002).

2.1.1 Fuentes de variabilidad climática para la región centroamericana

Centroamérica, de manera recurrente y con cierta periodicidad inexacta, es afectada por anomalías climáticas (Jiménez, 2000 citado por Herrera & Pineda, 2002); estas pueden estar relacionadas con señales o fuentes de variabilidad climática directa o las transportadas por efecto de teleconexiones del clima. Estas teleconexiones se refieren a variaciones climáticas que ocurren en una región distante pero que influyen en la región de interés; por ejemplo, el calentamiento del Pacífico ecuatorial influye en el clima de Centroamérica como se describe en el siguiente apartado.

La región centroamericana se ve fuertemente influenciada por los dos océanos que la rodean. El océano Pacífico, que en su parte ecuatorial cubre casi la mitad de la circunferencia terrestre, tiene un papel preponderante en la regulación del clima; así que, toda perturbación en su intercambio con la atmósfera tiene repercusiones sobre el conjunto del planeta. A continuación, se describen las fuentes de variabilidad climática más reconocidas y estudiadas que influyen en el clima de Guatemala.

2.1.2 El Niño Oscilación del Sur (ENOS)

Este patrón climático consiste en la oscilación de parámetros de temperatura del agua cada cierto número de años en el Pacífico ecuatorial, asociado a un fenómeno de cambio de presión atmosférica conocido como Oscilación del Sur. Estos dos fenómenos

mantienen una estrecha relación a través de la circulación océano-atmósfera o el modelo de circulación Walker (Quintana, 1990).

Para cuantificar estos cambios de presión atmosférica, entre Oceanía y el Pacífico sur oriental, se creó un índice llamado «Índice de Oscilación del Sur» (IOS). Este índice, cuando es negativo (fase negativa), corresponde al debilitamiento generalizado de la presión (ocurrencia de El Niño) y aumento hacia el sector de Australia y Oceanía (Figura 2-1); situación opuesta ocurre cuando el índice es positivo (fase positiva), donde se da un fortalecimiento generalizado de la presión (ocurrencia de La Niña) (Quintana, 1990).

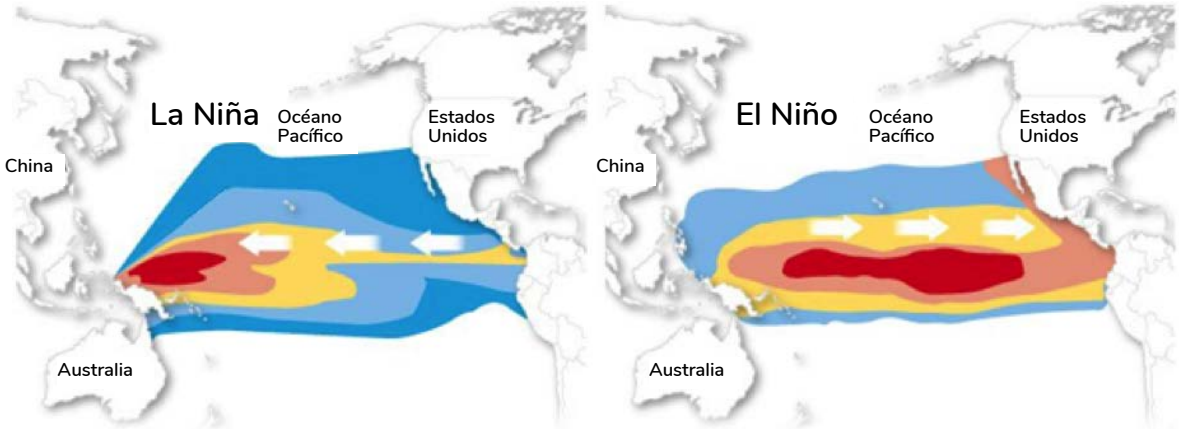


Figura 2-1 Corriente cálida de El Niño y corriente fría de La Niña. Las flechas representan el movimiento de las corrientes en los fenómenos de El Niño y de la Niña. Las coloraciones rojas y naranjas denotan aguas a mayor temperatura; mientras que las coloraciones celestes y azules representan temperaturas más bajas. Adaptado de Harbott & Hosseini (2017).

Este fenómeno de oscilación de presión atmosférica se acopla a una oscilación de la temperatura superficial del mar entre una fase cálida (El Niño) y una fase fría (La Niña) a lo largo del Pacífico tropical. Este fenómeno se considera una de las fuentes de variabilidad climática más estudiadas a nivel mundial, ya que tiende a modificar los patrones de temperatura y lluvia en varias regiones de la tierra (Ropelewski, Halpert (1996), Jones, Trewin (2000), IPCC (2007), citados por Méndez, Ramírez, Cornejo, Zárate, & Cavazos, 2010), especialmente en la región centroamericana, que es una de las regiones con fuerte dependencia a este fenómeno. El Niño trae condiciones más secas para Guatemala y La Niña condiciones de mayor precipitación.

Del año 1950 al 2017 se han registrado 23 fenómenos de El Niño y 20 de La Niña (NOAA, 2018b). Todos los fenómenos son diferentes tanto en el tiempo atmosférico que generan como en magnitud y duración de la anomalía de temperatura superficial del mar (Figura 2-2) (INSIVUMEH, 2000).

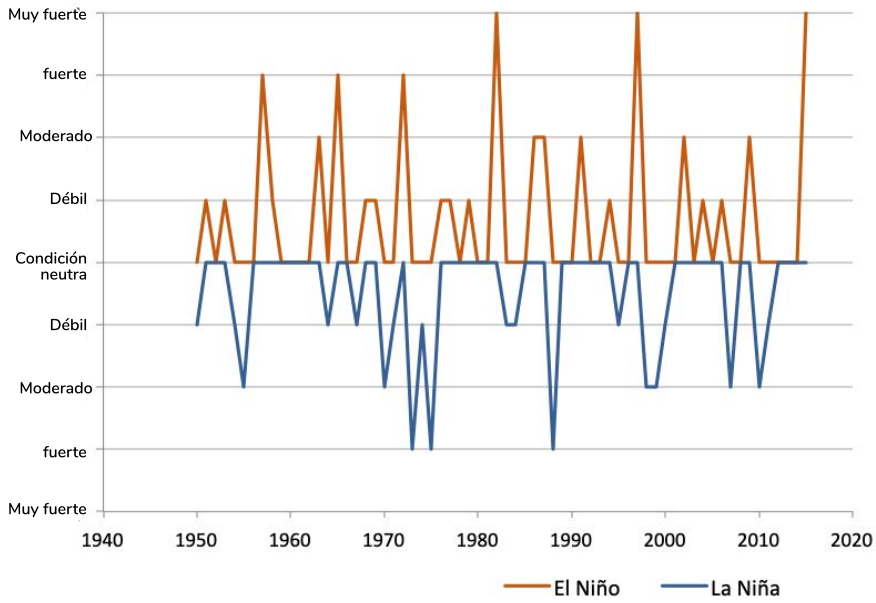


Figura 2-2 Clasificación de El Niño Oscilación Sur (ENOS) por categorías de intensidad y años, con base en la temperatura superficial del mar, periodo 1950-2016. El color naranja muestra la intensidad de efectos de El Niño (fase cálida) y el color azul los de La Niña (fase fría). Adaptado de NOAA (2018b).

2.1.2.1 El Atlántico Tropical Norte

El Atlántico Tropical Norte (ATN) es otra zona de teleconexión que tiene influencia sobre la variable precipitación; Philander citado por Alfaro & Cid (1999) indica que el ATN presenta una variación interanual importante. Knaff citado por Alfaro & Cid (1999) hace mención que existe una relación entre la fase cálida y fría del ATN y la región centroamericana; estas relaciones están en función de que la fase cálida produce un debilitamiento de los vientos alisios asociado al anticiclón subtropical del Atlántico norte. En condiciones de anticiclón, el aire desciende sobre el suelo desde las capas altas de la atmósfera provocando situaciones de tiempo estable y ausencia de precipitaciones.

Existe una estrecha relación entre las oscilaciones del Atlántico Tropical Norte y del Atlántico Norte (OAN). En la fase cálida o positiva de la OAN, el anticiclón se fortalece y su posición es más occidental en el Atlántico norte, produciendo aumento en la velocidad media de los vientos alisios como consecuencia del incremento del gradiente de presión atmosférica. Los vientos alisios que alcanzan Centroamérica frenan la formación de nubes a lo largo del litoral pacífico (Brenes y Saborio [1994] citados en Herrera & Pineda, 2002). En la fase fría o negativa de la OAN, el anticiclón se debilita ocupando una posición más oriental en el Atlántico norte, disminuyendo el gradiente de presión atmosférica sobre el mar Caribe. Alfaro (2005) indica que el Atlántico en fase cálida es más activo en ciclones tropicales; pero en fase fría tiende a ser menos activo.

2.1.2.2 La Oscilación Decadal del Pacífico

La Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) es otra teleconexión asociada a la variabilidad climática de larga duración en el océano Pacífico, que afecta principalmente la cuenca de ese océano. Esta oscilación consta de una fase cálida y una fase fría; sus efectos más importantes en el clima se dan cuando las fases cálidas o frías de la ODP y el ENOS coinciden y se tornan mucho más fuertes, como en el caso de El Niño 1982-1983 y El Niño 1997-1998, este último ha sido el más documentado a nivel de Centroamérica (INSIVUMEH, 2000). La ODP, conocida popularmente como el «fenómeno de La Madre», es manifestada por el calentamiento anormal de las aguas superficiales frente a las costas occidentales de Canadá y Estados Unidos (fase positiva) y periodos de enfriamiento anormal (fase negativa); cada una de estas fases de mayor periodo dura aproximadamente entre 20 y 30 años (Stolz [2000] citado por Herrera & Pineda, 2002). Alfaro (2005) sugiere que la mayor fuente de variabilidad de la actividad ciclónica del Pacífico del este, depende de está oscilación; la frecuencia de ciclones aumenta en fases cálidas y disminuye en fases frías.

2.1.3 Variabilidad climática en Guatemala

El territorio de Guatemala se caracteriza por un accidentado relieve y la influencia oceánica a través de tres vertientes; el componente oceánico es determinante en la variabilidad del clima e impacta de manera diferente según las características fisiográficas de las distintas regiones. Las relaciones entre los componentes de variabilidad del clima y las oscilaciones océano-atmosféricas, de menor y mayor periodo, inducen anomalías respecto a la precipitación pluvial y temperatura del aire como variables fundamentales (Herrera & Pineda, 2002).

En Guatemala, el fenómeno de El Niño se puede manifestar con altas temperaturas antes del inicio de la temporada de lluvias, canículas severas, fuerte déficit o exceso de lluvias en las vertientes del Caribe y Pacífico, e irregularidad en el establecimiento, distribución y terminación de la temporada de lluvias. Por el contrario, el fenómeno de La Niña se encuentra más relacionado con excesos de lluvias y eventos hidrometeorológicos extremos (INSIVUMEH, 2000). Fuertes temporales de lluvia con daños a la infraestructura se registraron en los eventos de La Niña 1999-2000 y 2010-2011.

Las fases del ENOS tienen un efecto significativo en la cantidad de lluvia registrada en cada región climática de Guatemala, pero su efecto más notorio es durante la época lluviosa, la cual se ve afectada en cantidad y distribución de lluvia. Una de las regiones que no se ve afectada por este fenómeno es la región del Caribe y es porque tiene una mayor dependencia de lo que sucede en el océano Atlántico tropical. Al correlacionar los datos de lluvia y las anomalías de

temperatura superficial del mar para la región occidental del Pacífico se obtienen valores negativos en la época lluviosa, lo que indica que al incrementarse la temperatura del mar se espera que la cantidad de lluvia descienda y viceversa (Bardales, Gómez, Campos, Ordóñez, & Machuca, 2016).

Las relaciones o efectos del ENOS también han sido establecidas respecto al número de ciclones o tormentas nombradas en la cuenca del océano Atlántico, mar Caribe y golfo de México (con promedio de 11 ciclones). La actividad ciclónica es inhibida en los años de El Niño, como sucedió en las temporadas de 1982 y 1983, con un mínimo histórico de seis y cuatro ciclones nombrados; o en las de 1986 y 1987 con seis y siete ciclones; también en las temporadas de 1991, 1992 y 1993 con ocho, seis y ocho ciclones respectivamente; la de 1997 con siete ciclones; la de 2009 con nueve ciclones; y la temporada de 2014 con ocho ciclones. Por el contrario, en los años de La Niña, la actividad ciclónica es superior al promedio; por ejemplo, en la temporada de 1998 fueron 14 ciclones nombrados y durante las temporadas de 2010 y 2011 fueron 19 ciclones en cada una (NHC, 2018; NOAA, 2018a). En la cuenca este del Pacífico norte (con promedio de 15 ciclones nombrados) no se logran discernir plenamente los efectos de aumento o disminución de actividad ciclónica con relación al ENOS. Lo más destacable es la amenaza del paso de ciclones sobre Centroamérica y su reactivación o formación sobre los litorales de El Salvador, Guatemala y la zona ciclogenética del golfo de Tehuantepec. Alfaro (2005) sugiere que la mayor fuente de variabilidad de la actividad ciclónica en esta cuenca depende de la ODP (NHC, 2018).

En cuando a los frentes fríos (con un promedio de 11 frentes fríos, de noviembre a febrero), se percibe que estos también son inhibidos por El Niño, porque se registran menos número de frentes fríos que durante el fenómeno de La Niña (Cuadro 2-1) (Herrera, 2007).

Cuadro 2-1 Caracterización de frentes fríos que afectaron la Península de Yucatán y el territorio guatemalteco y su relación con los fenómenos El Niño y La Niña, periodo 1982-2008

Año	Fase predominante	Frentes fríos
1982-1983	El Niño	9
1986-1987	El Niño	6
1988-1989	La Niña	11
1997-1998	El Niño	5
1999-2000	La Niña	13
2000-2001	La Niña	13
2007-2008	La Niña	16

Nota: Fase predominante = fase del fenómeno de oscilación del sur (IOS), en el que «El Niño» indica una mayor presencia de la fase cálida, mientras que «La Niña» se refiere a la dominancia de una fase fría. Adaptado de Herrera (2007).

En Guatemala, el ATN en fase fría tiende a producir una menor cantidad de lluvia, principalmente en los departamentos de Petén, Alta Verapaz e Izabal; esto está asociado a que hay menos energía para la evaporación en el océano Atlántico, por lo que el contenido de humedad disminuye. Las otras regiones también se ven afectadas con disminución de lluvias, pero tiende a ser menos marcado (INSIVUMEH, 2018b).

2.1.4 Tendencias recientes de las variaciones de clima en Guatemala

Para analizar la variación y tendencias de la lluvia y temperatura en Guatemala se comparó la información proveniente de dos análisis diferentes. En la elaboración de este capítulo se realizó una evaluación de la variación de la lluvia y temperatura por estación para el periodo de 1981 a 2016. Estos resultados se compararon con el análisis de Herrera & Pineda (2002), quienes realizaron una caracterización de los históricos de lluvia y temperatura del año 1960 al 2000; esa información se complementó con los registros del estudio del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH, 2018b) para el periodo de 2001 a 2016. Los resultados se presentan a continuación, pero por tratarse de metodologías, periodos y bases de datos distintas, los valores pueden variar, aunque se observaron las mismas tendencias.

2.1.4.1 Variación y tendencias de la precipitación anual

El promedio de lluvia anual a nivel nacional ha aumentado 52 mm desde 1981 según el análisis realizado en este capítulo. El promedio fue de 1753 mm para el periodo de 1981 al 2000; mientras que para el periodo de 2001 a 2016, el promedio fue de 1805 mm. Al evaluar la variación de lluvia por localidad, se observa que el 62 % de las estaciones evaluadas tiene un incremento de lluvia para el periodo de evaluación, presentando una variación de entre uno a 43 % respecto al promedio climático de la estación (de 1981 a 2000); mientras que el 28 % de las estaciones presentó una disminución de la lluvia anual, siendo la variación de entre -1 y -30 % respecto al promedio climático de la estación (Figura 2-3).

El comportamiento histórico de la precipitación pluvial en Guatemala de 1960 a 2016 (Figura 2-4) muestra oscilaciones cuasidecadales, reguladas por fuentes de variabilidad climática de corto y largo periodo en los océanos Pacífico norte, Atlántico norte y Pacífico ecuatorial. La tendencia de la precipitación revela un aumento promedio nacional del 3 %, especialmente en la década de los noventa; en años anormalmente húmedos, las anomalías nacionales alcanzan el 9 % (Herrera & Pineda, 2002; INSIVUMEH, 2018b).

A finales de la década de los sesenta se registró anomalía positiva en la precipitación en las regiones de la meseta y altiplanos, depresión del río Motagua y valles de oriente. Esa anomalía estuvo enmarcada dentro de la fase fría de las oscilaciones decadales del Pacífico norte y Atlántico norte, y con posterioridad a la fase cálida de El Niño 1965-1966. En cambio, en las regiones del golfo de México, mar Caribe y océano Pacífico predominó anomalía negativa (Herrera & Pineda, 2002).

En la década de los setenta dominó la anomalía negativa en la precipitación, en las regiones de la meseta y altiplanos, depresión del río Motagua y valles del oriente; estuvo más acentuada en los años 1975-1977, los cuales están enmarcadas dentro del cambio de fase en el Pacífico norte y Atlántico norte. También se manifestaron las fases cálidas de El Niño en los años 1972-1973 y 1976-1977, y las fases frías de La Niña en los años 1970-1971 y 1974-1975. Por el contrario, en las planicies del océano Pacífico se registró una pro-

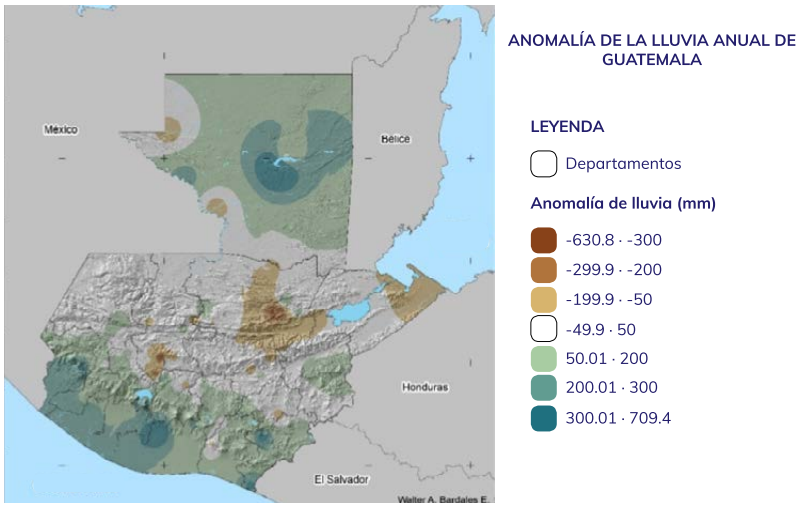


Figura 2-3 Anomalía de lluvia anual en milímetros a nivel local, periodo base 1981-2000, comparado con el periodo de evaluación 2001-2016. Elaboración propia, basado en INSIVUMEH (2017), INDE (2017) y EMPAGUA (2017).

longada anomalía positiva en la precipitación a principios de la década de los setenta (años 1970-1973) (Herrera & Pineda, 2002).

En la década de los ochenta dominó la anomalía negativa en la precipitación en todas las regiones del país, más acentuada en los años de 1984 a 1987. Esta anomalía negativa estuvo enmarcada dentro de la fase cálida de las oscilaciones decadales del Pacífico norte y Atlántico norte; también se manifestó una de las fases cálidas más fuertes, como El Niño 1982-1983 y posteriormente El Niño 1986-1987 (en fase de las oscilaciones decadales y del Pacífico ecuatorial), y la fase fría de La Niña en los años 1988-1989 (Herrera & Pineda, 2002).

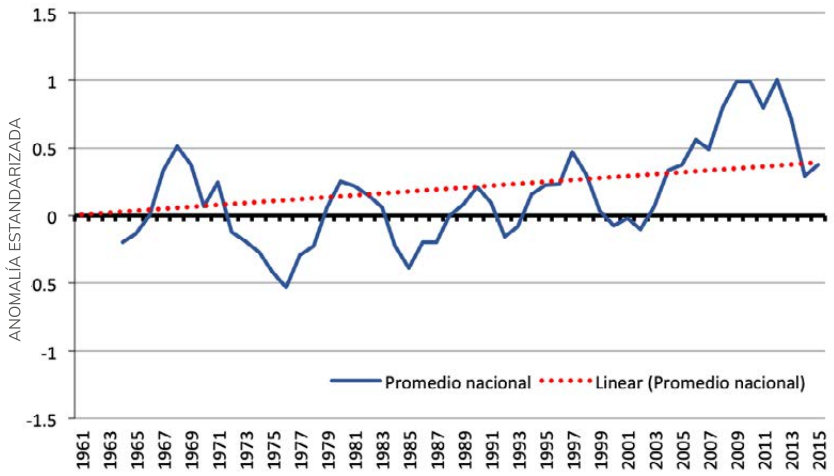


Figura 2-4 Tendencias observadas en la precipitación (en milímetros) en Guatemala, periodo 1961-2017. La línea azul muestra los datos por año del promedio de precipitación nacional, mientras que la línea roja punteada muestra la tendencia en estos datos. Elaboración propia, basado en Herrera & Pineda (2002) e INSIVUMEH (2017).

En la década de los noventa dominaron anomalías positivas en la precipitación en todas las regiones del país, más acentuadas en los años 1995-1998, con indicios de cambio hacia finales de la década; este comportamiento ocurrió con relación a la prolongación de la fase positiva en el Pacífico norte y Atlántico norte. También se manifestaron las fases cálidas de El Niño en los años 1991-1993 y 1997-1998 (en fase de las oscilaciones decadales y del Pacífico ecuatorial), y la prolongada fase fría de La Niña en 1999-2001 (Herrera & Pineda, 2002).

En los años 2000 a 2016, de acuerdo con las estaciones meteorológicas analizadas en el estudio de variabilidad y cambio climático en Guatemala (INSIVUMEH, 2018b), se observó predominio de anomalías positivas a partir del año 2005 y máximo de anomalía en los años 2010 y 2011. En lo que respecta a El Niño 2002-2004, a inicios de los años 2000, se observó reducción en las anomalías. Por el contrario, a inicios de los años 2010 se registró La Niña 2010-2011 con anomalías positivas extremas, en el orden de 300 a 500 %, que provocaron graves daños a la infraestructura del país. A mediados de la década se registró El Niño 2014-2015. Las oscilaciones decadales del Pacífico y Atlántico norte registraron predominio de fase negativa.

2.1.4.2 Variación y tendencias de la temperatura media

La temperatura media anual para Guatemala ha mostrado un incremento promedio de 0.6 °C desde 1971. La temperatura promedio anual en el periodo de 1971 a 2000 fue de 20.9 °C y en el periodo de 2001 a 2016 fue de 21.5 °C, con un incremento promedio de 0.6 °C. Al evaluar la variación de temperatura por localidad, el 77 % de las estaciones evaluadas mostró un incremento de temperatura para el periodo de evaluación, reflejando una variación de la temperatura de entre 0.2 a 13 % respecto al promedio climático de la estación (de 1971 a 2000); mientras que el 23 % de las estaciones presentó una disminución de la temperatura, reflejando una variación de temperatura de entre -1 y -13 % respecto al promedio climático de la estación (Figura 2-5).

El comportamiento histórico de la temperatura en Guatemala muestra una clara tendencia al incremento en sus valores (calentamiento), condicionada por el predominio de anomalías positivas a finales de los años 80. Los años con mayores anomalías positivas aparentemente corresponden con aquellos en los que se produjeron eventos de El Niño. A las tendencias de la temperatura, aparte de la variabilidad climática de corto y largo perio-

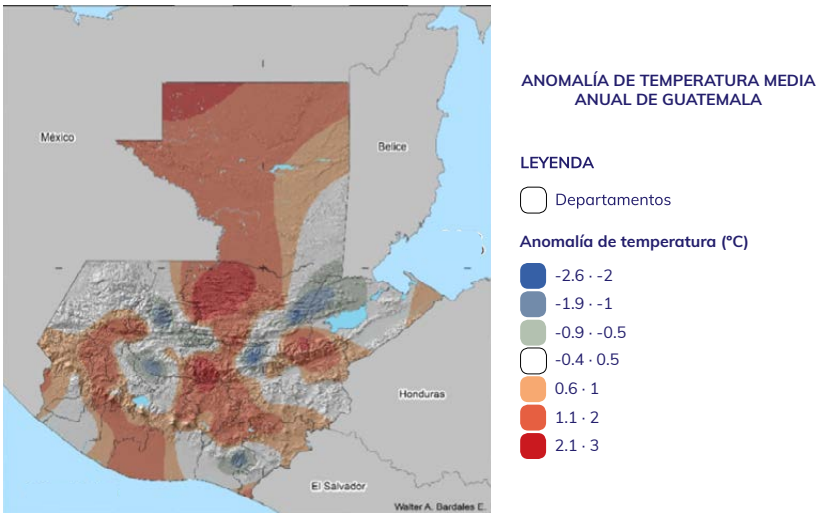


Figura 2-5 Anomalía de la temperatura media anual en grados Celsius a nivel local, periodo base 1971-2000, comparado con el periodo de evaluación 2001-2016. Elaboración propia, basado en INSIVUMEH (2017) e INDE (2017).

do, también se suman los efectos del calentamiento global de la atmósfera, cuyo aumento promedio durante el periodo 1961-2015, a nivel país, fue de 1.5 grados Celsius (Figura 2-6), aún más alto en regiones con mayor sensibilidad climática (Herrera & Pineda, 2002).

En las décadas de los sesenta y setenta se presentó mucha dispersión en las anomalías promedio de temperatura, posiblemente por factores no climáticos. Sin embargo, la generalidad apunta a un periodo de predominancia de anomalías negativas hasta aproximadamente el año 1977, enmarcado en la fase negativa de las oscilaciones del Pacífico norte y Atlántico norte. También se manifestaron las fases cálidas de El Niño en los años 1972-1973, 1976-1977, y las fases frías de La Niña en 1970-1971 y 1974-1975 (Herrera & Pineda, 2002).

En la década de los ochenta predominaron anomalías promedio de temperatura ligeramente por debajo de la norma climática (periodo cercano a la norma), enmarcadas dentro de las fases cálidas del Pacífico norte y Atlántico norte. En esta década se manifestó una de las fases cálidas más fuertes, tal es el caso de El Niño 1982-1983 y posteriormente El Niño 1986-1987 (en fase de las oscilaciones decadales y del Pacífico ecuatorial); así como la fase fría de La Niña en los años 1988-1989 (Herrera & Pineda, 2002).

Durante la década de los noventa se registró una tendencia creciente en las anomalías promedio de temperatura; cuantitativa y cualitativamente resultó ser una de las décadas más calurosas (periodo caluroso), con máximos significativos en los años de 1995 a 2000 que corresponde al quinquenio más cálido del siglo. En esta década se registraron las fases cálidas de El Niño 1991-1993 y 1997-1998 (en fase de las oscilaciones decadales y del Pacífico ecuatorial), y la prolongada fase fría del Pacífico ecuatorial de La Niña 1999-2001 (Herrera & Pineda, 2002).

De los años 2000 a 2016, de acuerdo con las estaciones meteorológicas analizadas en el estudio de variabilidad y cambio climático en Guatemala (INSIVUMEH, 2018b), se observó la tendencia y persistencia de anomalías positivas, con máximos de 1.8 °C en los años de 2002 a 2007 y de 1.4 °C en los años de 2013 a 2014; relacionadas con el registro prolongado de El Niño 2002-2004 y El Niño 2014-2015, que acentuaron las anomalías absolutas. Las oscilaciones decadales del Pacífico y Atlántico norte registraron predominio de fase negativa.

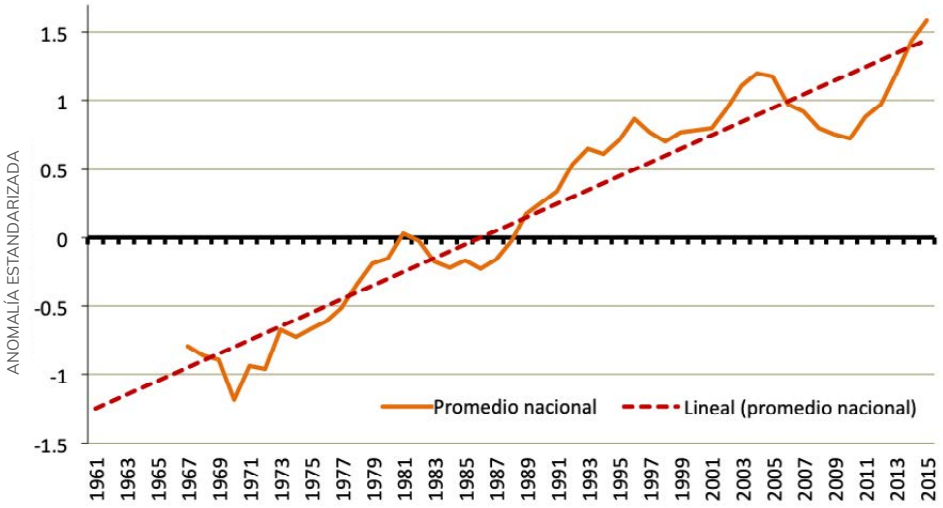


Figura 2-6 Tendencias observadas en la temperatura media (expresada en grados Celsius) en Guatemala, periodo 1961-2017. La línea naranja muestra el promedio anual de temperatura nacional y la línea punteada muestra la tendencia en estos datos. Elaboración propia, basado en Herrera & Pineda (2002) e INSIVUMEH (2017).

2.2 Eventos extremos

Los eventos extremos corresponden a fenómenos meteorológicos raros o inusuales en determinado lugar y época del año. Aunque las definiciones de raro son diversas, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2013) establece que la «rareza normal» de un fenómeno meteorológico extremo sería igual o superior al percentil 90, o igual o inferior al percentil 10 de la estimación de la función de densidad de probabilidad observada.

2.2.1 Eventos extremos de lluvia y tormenta

Taylor y Alfaro (2005) indican que la variabilidad de la lluvia es el elemento climático o meteorológico más estudiado en Centroamérica, la cual está influenciada por los centros de alta presión subtropical del Atlántico norte, centros de baja presión, zona de convergencia intertropical, ingreso de frentes fríos, migración de ondas tropicales del este y ciclones tropicales.

De los eventos extremos de lluvia, generalmente se derivan crecidas e inundaciones. En Guatemala ha habido inundaciones asociadas al paso de ondas tropicales del este y eventos convectivos (lluvias intensas en áreas llanas, es decir, no causadas por efectos orográficos), tal es el caso de las inundaciones urbanas en ciudad de Guatemala, Mazatenango, Quetzaltenango, Escuintla y Antigua Guatemala; así también inundaciones asociadas a sistemas frontales o frentes fríos, como las inundaciones en el área de Petén, parte baja de Alta Verapaz, norte de Quiché e Izabal, en los meses de noviembre a marzo (INSIVUMEH, 2015b).

Los eventos extremos de tormenta son aquellos que adquieren características de Tormenta Local Severa, con manifestaciones de daños estructurales locales. Dentro de sus efectos se registran fuertes ráfagas de viento, actividad eléctrica, lluvia intensa y granizo (Calzadilla, Proenza, Pereira, & Pupo, 2010).

Guatemala es un país altamente expuesto debido a la aproximación e ingreso de eventos ciclónicos (Figura 2-7 y Cuadro 2-2), dentro de los cuales se puede destacar el Huracán Mitch que ingresó a Guatemala el 31 de octubre de 1998 y atravesó el país como depresión tropical, provocando grandes pérdidas, damnificados y fallecidos. La tormenta Agatha, que ingresó al país el 28 de mayo de 2010, provocó temporales de lluvia con graves daños estructurales por coincidir con fuerte actividad eruptiva del volcán Pacaya (INSIVUMEH, 2010, 2011, 2016; NOAA, 2018a).

Cuadro 2-3 Histórico de eventos ciclónicos que han afectado a Guatemala, periodo 1974-2016

Año	Tipo de evento	Nombre
1974	huracán	Fifí
1997	huracán	Olaf
1997	huracán	Paulina
1998	huracán	Mitch
2005	tormenta	Stan
2010	tormenta	Agatha
2011	depresión tropical	12/E
2016	huracán	Earl

Nota: Elaboración propia, basado en INSIVUMEH (2010, 2011, 2014) y NOAA (2018c)

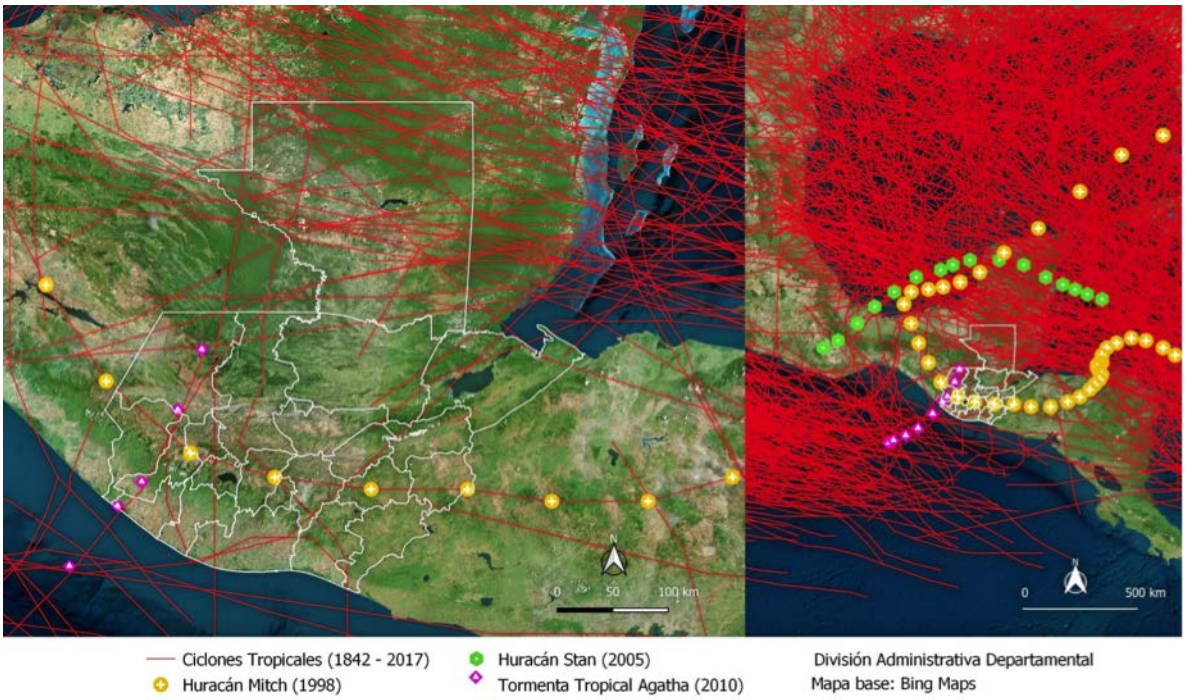


Figura 2-7 Ciclones tropicales que afectaron directa o indirectamente a Guatemala durante el periodo 1851-2016. Las líneas rojas muestran el recorrido de cada evento. Elaboración propia, basado en NOAA (2018c).

Pacay (2015) realizó un estudio de eventos extremos de lluvia diaria en Guatemala utilizando una base de datos de 103 estaciones de registros pluviométricos durante el periodo de 1970 a 2014. Determinó que entre el 26 y 28 % de los eventos extremos de lluvia registrados están asociados a ciclones tropicales y el resto (entre el 72 y 74 %) son de origen no ciclónico; pero los valores históricos más altos fueron de origen ciclónico (Cuadro 2-3).

Cuadro 2-3 Valores máximos de lluvia diaria registrados, periodo 1970-2014, relacionados con eventos extremos

Estación	Departamento	Año	Evento	ppt máxima registrada
Puerto de San José	Escuintla	1998	Mitch	467.0
San Antonio Ilotenango	Quiché	2000	Evento no ciclónico	430.5
Montúfar	Jutiapa	2010	Agatha	426.0
Tiquisate	Escuintla	1982	Paul	382.4
El Mirador	Santa Rosa	1995	Evento no ciclónico	364.0
San Antonio Ilotenango	Quiché	2001	Iris	340.5
Retalhuleu	Retalhuleu	1982	Paul	337.0
El Capitán (San Lucas Tolimán)	Sololá	2010	Agatha	322.0
Jurún Marinalá (Palín)	Escuintla	2010	Agatha	309.0
Media Legua	Santa Rosa		Evento no ciclónico	301.0

Nota: ppt máxima registrada = Precipitación máxima registrada por la estación, dada en milímetros. Elaboración propia, basado en Pacay (2015).

2.2.2 Sequía

La sequía se expresa como condición de déficit de humedad o agua, que resulta de la combinación de eventos meteorológicos, características físico-geográficas del territorio y la acción del humano sobre el medio. Se registran situaciones de sequía en el abastecimiento de agua para las ciudades, industrias, actividades agropecuarias, generación de hidroelectricidad, entre otras; así como en el contenido de humedad de la atmósfera. Puede causar daños irreversibles y pérdidas en actividades productivas de extensas regiones, con implicaciones en la salud y seguridad alimentaria (MAGA & INSIVUMEH, 2002).

En Guatemala, las zonas con mayor aridez presentan más vulnerabilidad a la falta o irregularidad de la lluvia estacional y repetibilidad de la sequía, un proceso que, si es persistente, puede modificar las condiciones del lugar. Este comportamiento se observa en parte de los departamentos del centro del país, en la depresión del río Motagua hacia el oriente y en los valles del suroriente (MAGA & INSIVUMEH, 2002).

Es importante considerar las regiones del país que presentan áreas con menor humedad y semiáridas, caracterizadas porque la vida de las plantas es corta. Esas regiones se encuentran básicamente confinadas en los valles del oriente, parte de la cuenca del río Motagua, la mayor parte del departamento de Baja Verapaz, parte de los departamentos de Huehuetenango y Quiché (cuenca del río Chixoy), noreste de Petén y una franja angosta en el litoral pacífico. El resto del país está representado por climas húmedos (Herrera, 2007).

Dentro de los fenómenos, reconocidos y estudiados, que inducen irregularidad en las características de la temporada de lluvias, desde su establecimiento hasta su finalización, se encuentran el fenómeno de El Niño, canícula severa o prolongada, subsidencia y aceleración de alisios del noreste. La disminución de la lluvia dentro del periodo lluvioso es conocida regionalmente como canícula o veranillo, un fenómeno irregular tanto en el comportamiento de sus parámetros como en su distribución geográfica; en Guatemala, afecta principalmente a las regiones de occidente, centro y oriente. El primer periodo de ca-

nícula se puede presentar, en promedio, del 10 al 20 de julio, cuando registra el mayor número de días sin lluvia y porcentaje de registro; el segundo periodo de canícula se puede registrar del 5 al 15 de agosto. En los años de registro de canícula, pueden discernirse efectos de irregularidad en la temporada lluviosa o sequía, especialmente cuando el fenómeno adquiere mayores características de intensidad y duración (Cuadro 2-4) (INSIVUMEH, 2018a).

Cuadro 2-4 Irregularidades en el periodo de lluvias que han desencadenado en sequías, periodo 1991-2018

Año	Irregularidades en la temporada de lluvias
1991	Retraso en la temporada de lluvias, provocando sequía agrícola e hidrológica
1998	retraso en el establecimiento de temporada de lluvias y déficit pluviométrico
2009	Canícula severa y prolongada
2012	Canícula severa y prolongada
2014	Canícula severa y prolongada
2015	Canícula severa y prolongada
2018	Canícula severa y prolongada

Nota: Elaboración propia, basado en INSIVUMEH (2012, 2014, 2015a, 2018b).

2.2.3 Eventos extremos de temperatura

2.2.3.1 Olas de calor

El fenómeno de olas de calor se trata de episodios de temperaturas anormalmente altas, que se mantienen varios días y afectan a una región específica (AEMET, s/f). Este fenómeno ocurre cuando el valor de temperatura máxima diaria ha superado el percentil 90, al menos por tres días consecutivos (Bardales et al., 2016). En Guatemala, las olas de calor suelen presentarse de marzo a mayo y son más recurrentes en los departamentos de Zacapa, Jalapa, Chiquimula, El Progreso, Jutiapa, Izabal y Petén. De forma general, cuando se presenta una ola de calor, la temperatura aumenta aproximadamente 1 °C por arriba del umbral; pero en algunas temporadas, la temperatura ha aumentado entre 3 °C a 8.7 °C. Durante El Niño, las olas de calor tienden a ser de mayor duración y altas temperaturas, así como la extensión territorial que tienden a afectar (Bardales et al., 2016).

En la época seca y calurosa del año 1998, se registraron grandes incendios forestales en la península de Yucatán, Guatemala, Honduras y El Salvador, promovidos por altas temperaturas y olas de calor. Durante el 2015, 2016 y 2017, la mayoría de las estaciones meteorológicas de INSIVUMEH superaron el récord de temperatura máxima diaria, efecto reportado en la mayor parte de Guatemala (Bardales et al., 2016). Además, la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2018) consideró estos años como los más cálidos de la histórica de registros climáticos a nivel mundial.

2.2.3.2 Heladas y olas de frío

Meteorológicamente, las heladas ocurren cuando la temperatura es menor o igual a 0 °C. Sin embargo, la susceptibilidad o daños por heladas pueden presentarse en los seres vivos aun cuando la temperatura no haya llegado a los cero grados Celsius. En algunos casos se necesitan temperaturas muy por debajo de 0 °C para causar daños (INSIVUMEH, 1986).

La elevación mínima para que ocurra una helada en Guatemala es de 1700 msnm, lo que representa un 20 % del territorio nacional susceptible a este fenómeno. La época de mayor probabilidad de heladas es la comprendida desde noviembre hasta marzo; sin embargo, eso no quiere decir que no puedan darse en otros meses. Es bastante seguro que desde la media noche hasta la madrugada ocurra una helada, si la elevación, época y características del lugar son favorables. En promedio, la temporada de heladas tiene una duración aproxi-

mada de 120 días con desviación estándar de 20 días, lo que causa que sea una amenaza climatológica importante para la agricultura del altiplano central y occidente del país (INSIVUMEH, 1986). Dentro de las heladas con mayor daño a la agricultura se pueden mencionar las de los años 1991, 2001, 2002 y 2005.

En Guatemala se han registrado otros eventos extremos relacionados a las heladas y olas de frío, tal es el caso de la caída de nieve y la formación de escarcha. Por ejemplo, el 3 de enero de 2008 se registró un evento extremo de caída de nieve en las faldas del volcán Tajumulco (San Marcos) y en Santa Ana (Quetzaltenango) por el paso de un frente frío sobre el país; así también, el 22 de diciembre de 2008 se reportó otra caída de nieve en las faldas del volcán Tajumulco. Por otro lado, el 23 de enero de 2013 se registró la formación de escarcha en los conos volcánicos del Tajumulco, Santa María y Acatenango (CONRED, 2013; Hemeroteca PL, 2016). Estas caídas de nieve se han vuelto más frecuentes en la última década.

2.3 Índices de cambio climático

El Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI por sus siglas en inglés), conformado por la OMM, el proyecto Climate and Ocean: Variability, Predictability and Change y la Comisión Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marítima, ha propuesto un conjunto de 27 indicadores para evaluar las tendencias de cambio climático; estos indicadores utilizan las variables de lluvia, temperatura máxima y mínima (Vázquez, 2010). En el 2005, Aguilar et. al (2005) realizaron el primer análisis de cambios de precipitación y temperatura extrema en Centroamérica y Norte de Sudamérica; en el 2010, Guerra (2010) realizó un análisis de la tendencia y extremos de lluvia; y en el 2016, el INSIVUMEH realizó la actualización de los índices para 38 estaciones. Al final todos concluyen en lo siguiente[1] (Figura 2-8 y Figura 2-9):

- La cantidad de lluvia anual está aumentando, los días muy húmedos están aumentado (días con lluvia mayor al percentil 95).
- Se están registrando más días con lluvias intensas durante el año. El índice simple de intensidad de lluvia diaria está aumentando; pero la lluvia máxima anual no presenta cambios significativos, aunque se están registrando más días con lluvias mayores a 20 mm.
- Los días húmedos consecutivos y días secos consecutivos no presentan una tendencia definida, por lo que se puede asociar a la variabilidad climática.
- Las noches frías están disminuyendo y las noches cálidas están aumentando.
- Los días fríos están disminuyendo y los cálidos están aumentando.
- La temperatura mínima y máxima extrema está aumentando.
- La duración de periodos fríos está disminuyendo y los periodos cálidos están aumentando.
- La amplitud térmica está disminuyendo.
  La temperatura media mensual ha aumentado en los últimos 25 años.

1 Para información más detallada de cada uno de los índices, consultar las referencias bibliográficas citadas.

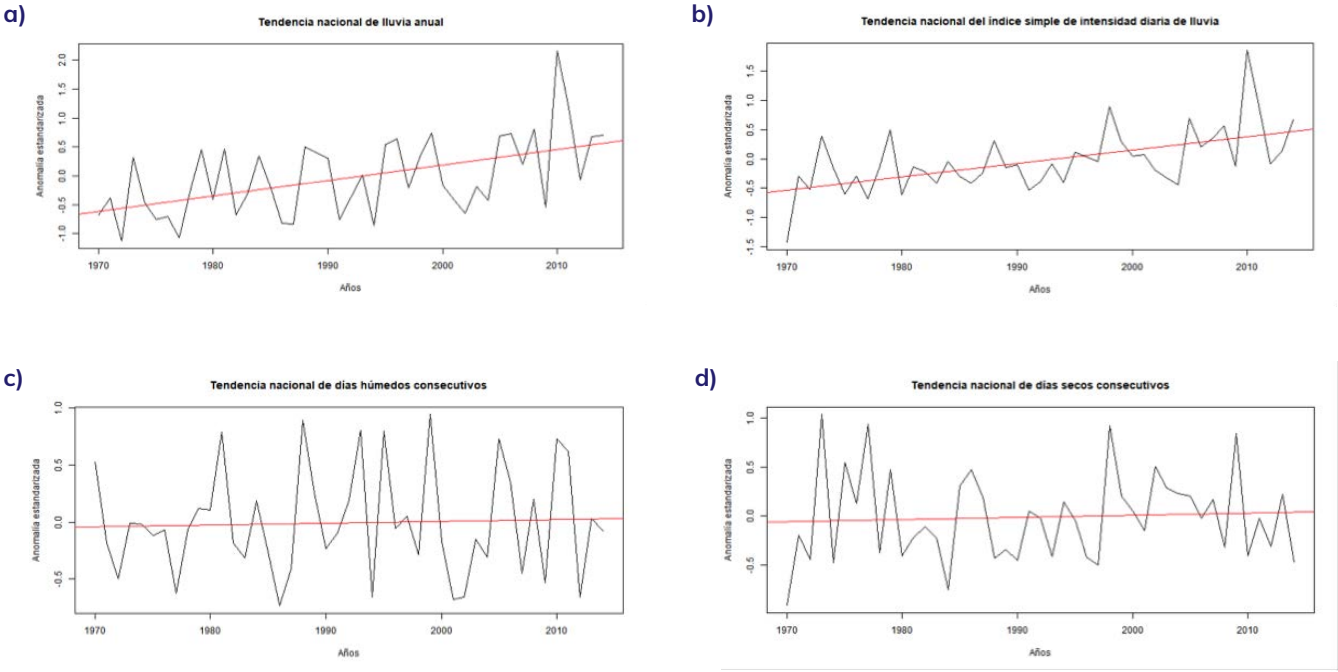


Figura 2-8 Comportamiento de la lluvia a nivel nacional, periodo de 1970-2015: **a)** Tendencia nacional de la lluvia anual, **b)** Tendencia nacional del índice simple de intensidad diaria de lluvia, **c)** Tendencia nacional de días húmedos consecutivos y **d)** Tendencia nacional de días secos consecutivos. La línea gris representa la anomalía en los valores anuales promedio, mientras que la línea roja la tendencia. Elaboración propia, basado en INSIVUMEH (2017).

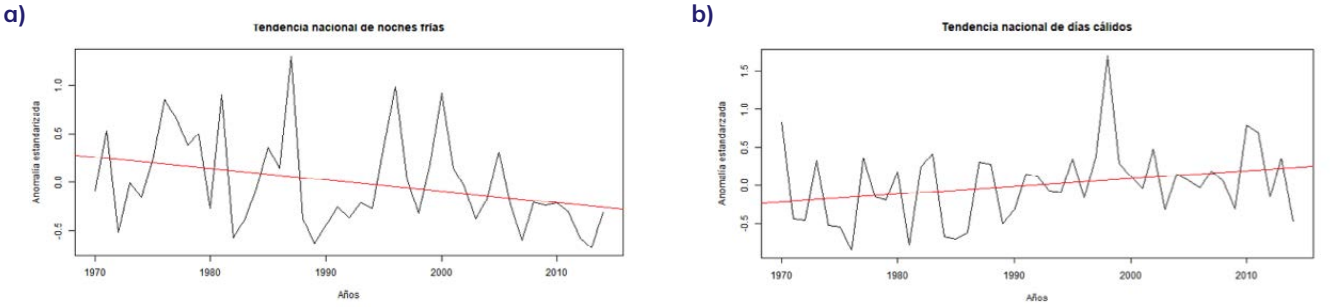


Figura 2-9 Comportamiento de la temperatura mínima y máxima a nivel nacional, periodo de 1970-2015: **a)** Tendencia nacional de noches frías, **b)** Tendencia nacional del días cálidos. La línea gris representa la anomalía en los valores anuales promedio, mientras que la línea roja la tendencia. Elaboración propia, basado en INSIVUMEH (2017).

2.4 Análisis de vacíos

Las distintas instituciones de los sectores académico, público, privado e independiente, carecen de una metodología consensuada para los análisis de tendencias de variables fundamentales (como precipitación pluvial y temperatura del aire) en lo que respecta a la serie temporal de estudio, las estaciones meteorológicas y regiones climáticas utilizadas. Al emplearse diferentes criterios, se dificulta la comparación de los resultados de los estudios realizados en el país.

No se han desarrollado estudios sobre otras fuentes de variabilidad climática que afectan a la región. Actualmente, los esfuerzos de investigación se han concentrado en las fuentes de variabilidad climática del océano Atlántico y Pacífico, dejando de lado las fuentes de variabilidad climática de corto periodo como: Madden-Julian, la corriente de chorro de bajo nivel del Caribe, influencia del alta subtropical del Atlántico, etc.

2.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). (2018a). 1998 Tropical cyclone advisory archive. Recuperado el 16 de agosto de 2018, de https://www.nhc.noaa.gov/archive/1998/1998archive.shtml
- Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). (2018b). Cold & warm episodes by season. Recuperado de http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis%7B_%7Dmonitoring/ensostuff/ONI%7B_%7Dv5.php
- Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). (2018c). Tropical cyclone climatology. Recuperado el 1 de julio de 2018, de https://www.nhc.noaa.gov/climo/
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (s/f). Olas de calor en España desde 1975. España: Área de Climatología y Aplicaciones Operativas.
- Aguilar, E., Peterson, T. C., Obando, P. R., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M., … Mayorga, R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 110(23), 1–15. https://doi.org/10.1029/2005JD006119
- Alfaro, E. J. (2005). Variación de la frecuencia de los ciclones tropicales en el Atlántico y Pacífico tropical del este debido a variaciones decadales e interanuales de la temperatura superficial del mar. En *Memorias del «XI Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y XIV Congreso Mexicano de Meteorología»* (p. 11). Cancún, México.
- Alfaro, E. J., & Cid, L. (1999). Ajuste de un modelo VARMA para los campos de anomalías de precipitación en Centroamérica y los índices de los océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Atmósfera*, (12), 205–222.
- Bardales, W., Gómez, R., Campos, L., Ordóñez, S., & Machuca, N. (2016). Variabilidad climática en Guatemala durante el período 1970-2015. En *II Congreso Nacional de Cambio Climático de Guatemala*. Quetzaltenango, Guatemala. Recuperado de https://issuu.com/congresodelcambioclimaticogt/docs/variabilidad_climatica_1970-2015_wa
- Calzadilla, D., Proenza, J., Pereira, P., & Pupo, D. (2010). Caracterización de las tormentas locales severas en Holguín. *Ciencias Holguín*, 16(2), 1–8.
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). (2013). Boletín informatico no. 3046 - Nieve en Ixchiguán, San Marcos. Recuperado el 18 de agosto de 2018, de https://conred.gob.gt/www/index.php?option=com_content&view=article&id=747:boletin-informativo-no-3046-nieve-en-ixchiguan-san-marcos&catid=37&Itemid=1010
- Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA). (2017). *Base de datos históricos*. Guatemala.
- Guerra, A. (2010). *Climate-related disaster risk in mountain areas: the Guatemalan highlands at the start of the 21st Century*. Universidad de Oxford.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2013). Glosario. En S. Planton (Ed.), *Cambio climático 2013. Bases físicas. Contribución del grupo de trabajo I al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático* (p. 22). Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos de América.
- Harbott, M., & Hosseini, M. (2017). La Niña and El Niño: How these crazy siblings influence the global climate system – CliM'Blog. Recuperado de https://student-climates.wordpress.com/2017/10/30/la-nina-el-nino-crazy-siblings-influence-global-climate-system/
- Hemeroteca Prensa Libre. (2016, diciembre 18). ¿Realmente cayó nieve en Guatemala? Prensa Libre. Recuperado de https://www.prensalibre.com/hemeroteca/realmente-cayo-nieve-en-guatemala
- Herrera, J. L. (2007). *Ensayo sobre formulación y validación de un índice de anomalía de presión atmosférica, para pronóstico a corto y mediano alcance: Puerto Barrios, Izabal, Guatemala*. Guatemala.
- Herrera, J. L., & Pineda, D. E. (2002). *Variabilidad climática en Guatemala*.

- Instituto Nacional de Electrificación (INDE). (2017). *Base de datos*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (1986). *Caracterización de las heladas en Guatemala*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2000). *El Fenómeno El Niño 1997-98 en Guatemala: resumen*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2010). *Análisis meteorológico del mes de mayo 2010*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2011). *Análisis meteorológico del mes de marzo 2011*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2012). *Análisis meteorológico del mes de julio, 2012*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2014). *Análisis meteorológico del mes de agosto 2014*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2015a). *Análisis meteorológico del mes de agosto de 2015*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2015b). *Análisis meteorológico del mes de enero 2015*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2016). *Análisis meteorológico del mes de agosto de 2016*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2017). Base de datos. Recuperado el 20 de junio de 2018, de http://www.insivumeh.gob.gt/?page_id=1671
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2018a). Boletín Climático No. 07-2018. Recuperado el 7 de octubre de 2018, de http://www.insivumeh.gob.gt/?p=4106
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2018b). *Variabilidad y cambio climático en Guatemala*. Guatemala.
- Méndez, J., Ramírez, A., Cornejo, E., Zárate, A., & Cavazos, T. (2010). Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacifico (PDO) a la precipitación y temperatura en México. *Investigaciones Geográficas*, (73), 57–70.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), & Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2002). *Estimación de amenazas inducidas por fenómenos hidrometeorológicos en la República de Guatemala*. Guatemala. Recuperado de http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0026/doc0026-parte01.pdf
- Montealegre, J. E. (2009). *Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala*. Bogotá, D.C., Colombia.
- National Hurricane Center (NHC). (2018). 2018 Atlantic hurricane season. Recuperado de https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2018). *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2017. Tiempo - Clima - Agua* (Vol. 1212). Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- Pacay, N. (2015). *Análisis de eventos extremos de precipitación en Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Quintana, J. (1990). Indicadores meteorológicos de El Niño y su aplicación al litoral norte y central de Chile. *La Meteorología en el Mundo Iberoamericano*, 1(2), 11–20.

Taylor, M. A., & Alfaro, E. J. (2005). Climate of Central America and the Caribbean. En J. E. Oliver (Ed.), *Encyclopedia of World Climatology* (pp. 183–189). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_37

Vázquez, J. L. (2010). *Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México*. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

3

ESCENARIOS FUTUROS
DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA GUATEMALA

Autores: Paris Rivera[1,2], Walter Arnoldo Bardales Espinoza[3] y Wener Ochoa[4]
Autor contribuyente: Melvin Navarro[5]

[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 invernadero[1] (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 tropopausa[2] 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 (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4) y ozono (O_3).

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) total[3] para el año 2100 que oscila entre 2.6 y 8.5 W/m^2 (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. CO_2 en 2100 (ppm) = cantidad de dióxido de carbono en partes por millón proyectadas para el año 2100. Tomado de IPCC (2013).

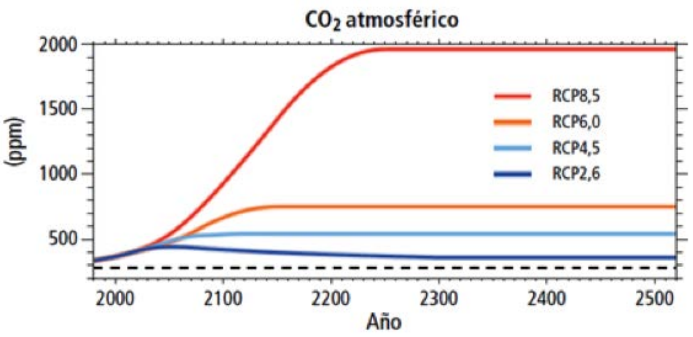


Figura 3-1 Proyección de CO_2 equivalente en los cuatro caminos de forzamiento radiativo RCP2.6, RCP 4.5, RCP6, RCP8.5 hasta el año 2500. En el eje y se presenta la cantidad de CO_2 atmosférico en partes por millón; y en el eje x se muestran los años en siglos. Tomado de IPCC (2014).

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 nivosa[4] y de los hielos marinos, 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.

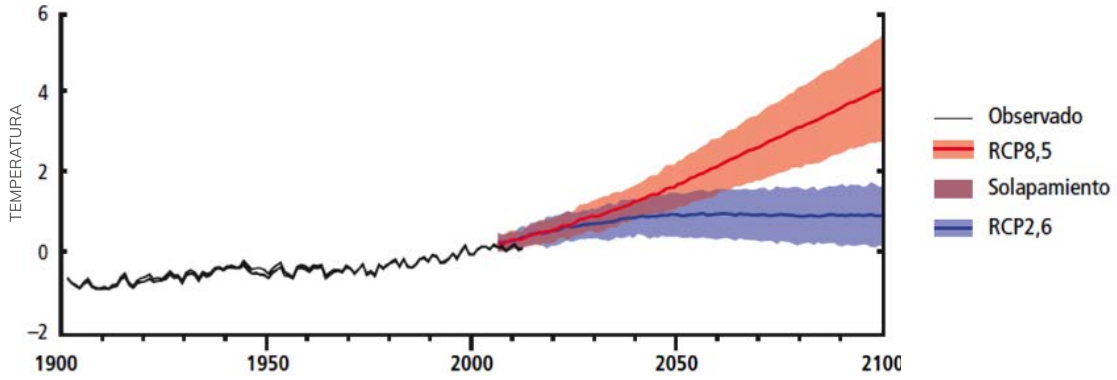


Figura 3-2 Cambio en la temperatura media global de la superficie para los escenarios RCP2.6 y RCP 8.5. En el eje *y* se presenta el cambio de temperatura en grados Celsius. En el eje *x* se muestran los años. El escenario RCP2.6 plantea reducción de emisiones de GEI; mientras que el escenario RCP 8.5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

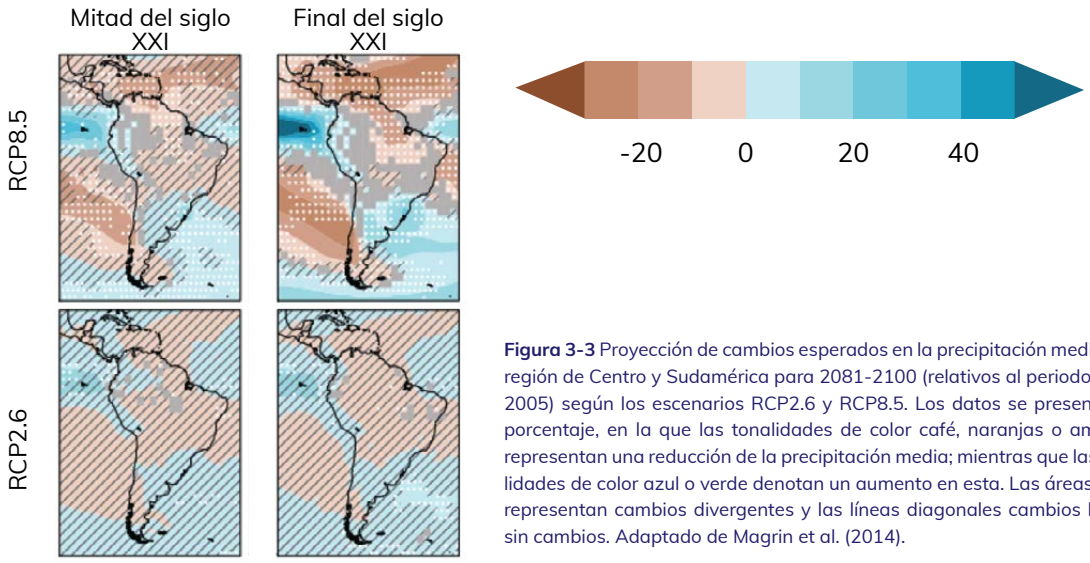


Figura 3-3 Proyección de cambios esperados en la precipitación media de la región de Centro y Sudamérica para 2081-2100 (relativos al periodo 1986-2005) según los escenarios RCP2.6 y RCP8.5. Los datos se presentan en porcentaje, en la que las tonalidades de color café, naranjas o amarillas representan 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).

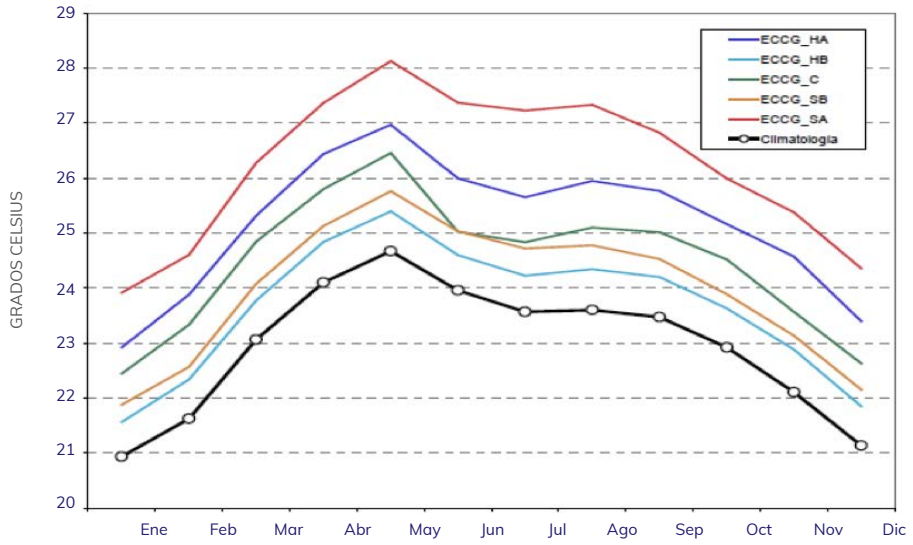


Figura 3-4 Proyección de la temperatura del aire para el año 2050 en Guatemala para los escenarios ECCG_HA, ECCG_HB, ECCG_C, ECCG_SB, ECCG_SA. En el eje *y* se muestra la temperatura del aire en grados Celsius, mientras que en el eje *x* el mes del año. ECCG_HA = Escenario húmedo de mucho cambio. ECCG_HB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

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 ECCG_SA; en los otros escenarios, los cambios de precipitación son modestos. La pronunciada reducción de las precipitaciones anuales en el escenario ECCG_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).

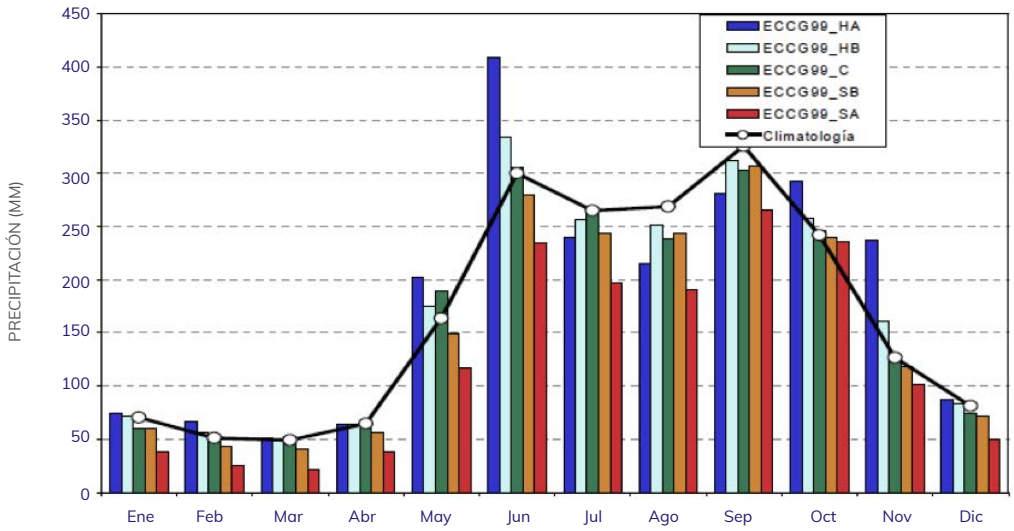
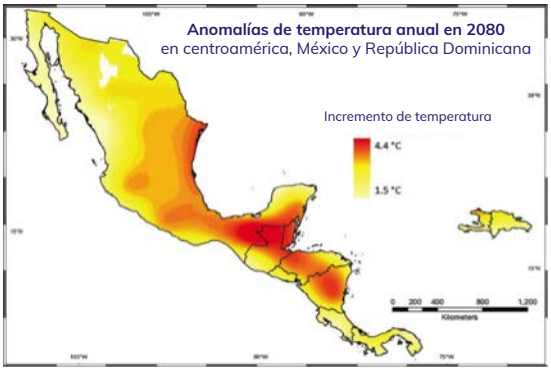


Figura 3-5 Proyección de variación anual de la precipitación para el año 2050 en Guatemala para los escenarios ECCG_HA, ECCG_HB, ECCG_C, ECCG_SB, ECCG_SA. En el eje *y* se muestra la variación de precipitación anual, mientras que en el eje *x* el mes del año. ECCG_HA = Escenario húmedo de mucho cambio. ECCG_HB = escenario húmedo de poco cambio. ECCG_C = Escenario central. ECCG_SB = Escenario seco de poco cambio. ECCG_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).

a)



b)

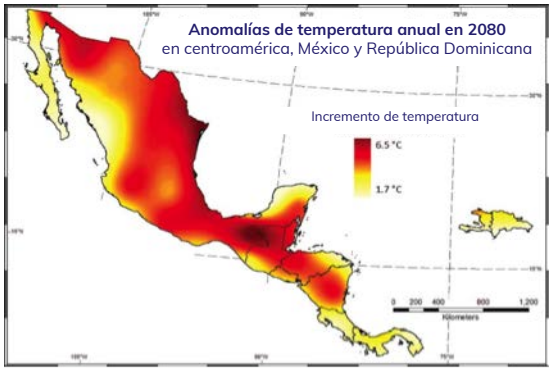
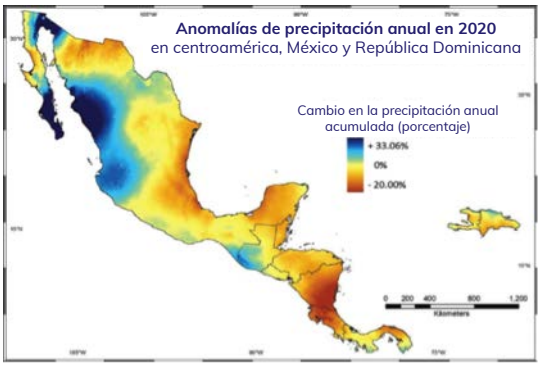


Figura 3-6 Anomalías de temperatura anual proyectadas para el año 2080 en Centroamérica, México y República Dominicana: a) escenario B2, que considera una disminución de la generación de gases de efecto invernadero a nivel mundial; b) escenario A2, que considera un aumento de la generación de gases de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

a)



b)

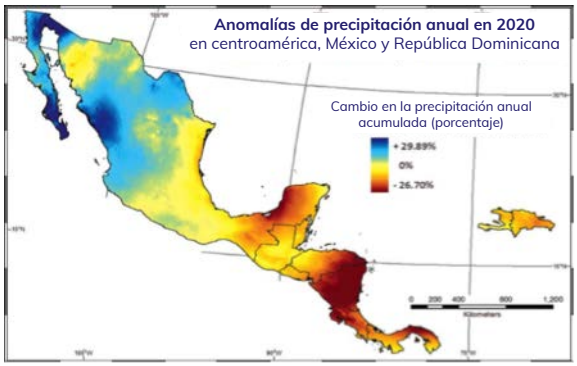


Figura 3-7 Anomalías en la precipitación anual proyectadas para el año 2020 en México, Centroamérica y República Dominicana: a) escenario B2, que considera una disminución de la generación de gases de efecto invernadero a nivel mundial; b) escenario A2, que considera un aumento de la generación de gases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

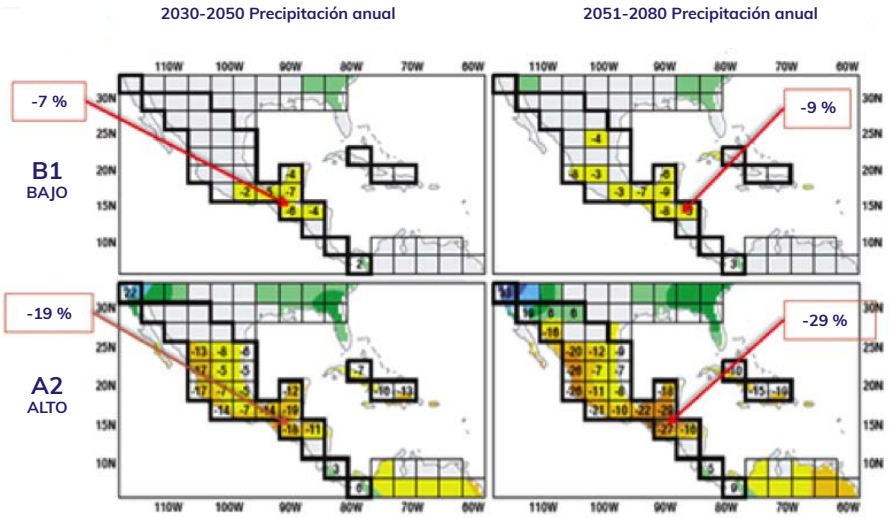


Figura 3-8 Cambios en la precipitación anual proyectados para los años 2030-2050 y 2051-2080 en Centroamérica, México y República Dominicana: a) escenario B2, que considera una disminución de la generación de gases de efecto invernadero a nivel mundial; b) escenario A2, que considera un aumento de la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

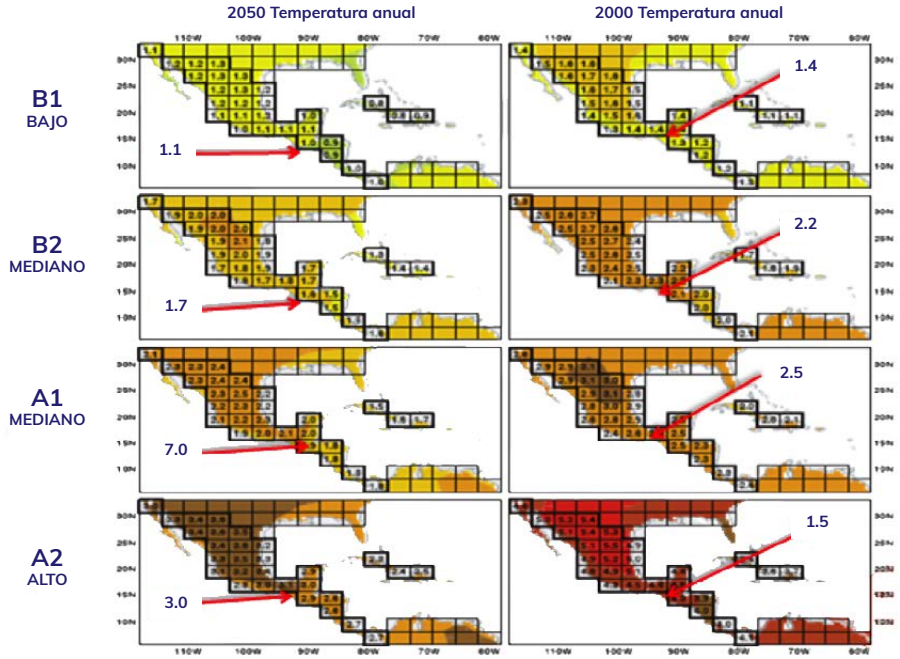


Figura 3-9 Cambios de temperatura superficial proyectados para el 2050 y el 2080 en Centroamérica, México y República Dominicana: a) escenario B2, que considera una disminución de la generación de gases de efecto invernadero a nivel mundial; b) escenario B1, que considera que el nivel de generación de 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) (Figura 3-10) (Iarna-URL, 2012).

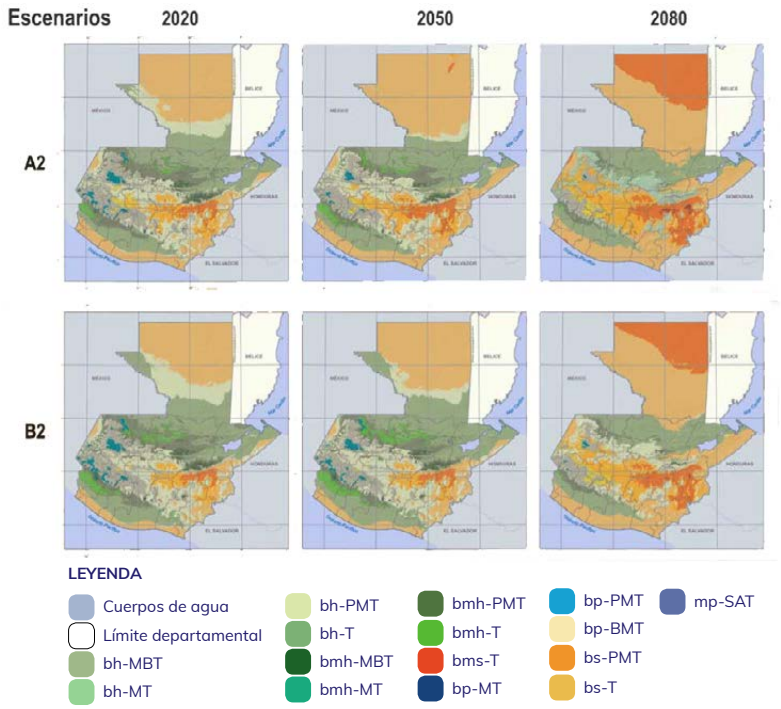


Figura 3-10 Los escenarios del cambio climático en Guatemala a nivel de zonas de vida con base en dos escenarios y tres horizontes de tiempo (años 2020, 2050 y 2080). El escenario A2 muestra un escenario «tendencial» en el que se aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero; el escenario B2 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 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).

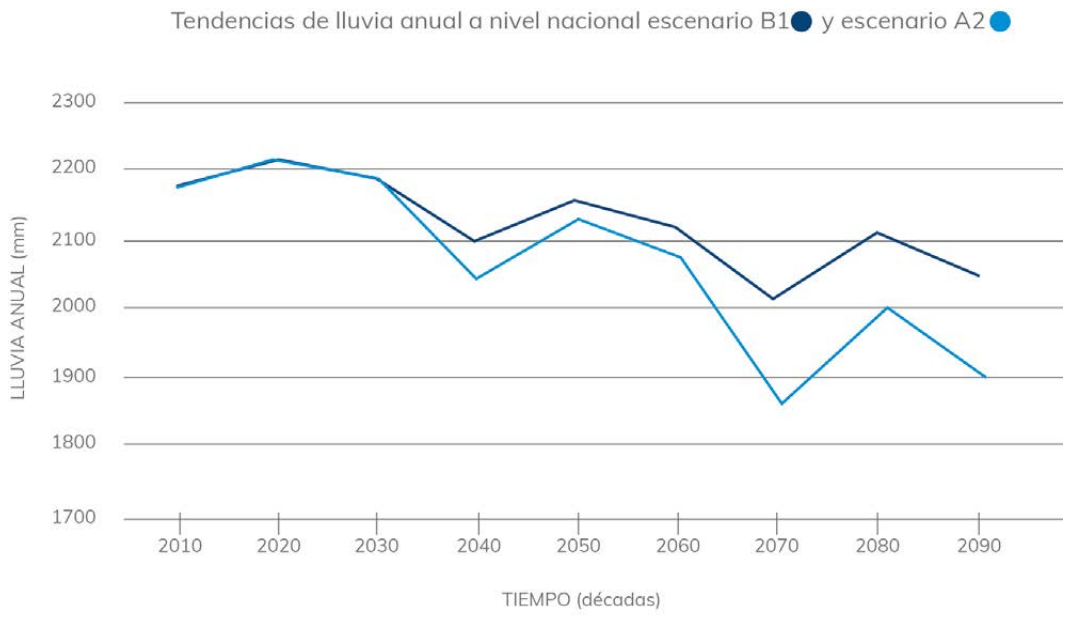


Figura 3-11 Proyecciones de precipitación anual para los escenarios B1 y A2 por década en Guatemala. El escenario B1 considera que la generación de emisiones de gases de efecto invernadero se mantiene estable, mientras que el escenario A2 considera un aumento en las emisiones. Adaptado de MARN (2015).

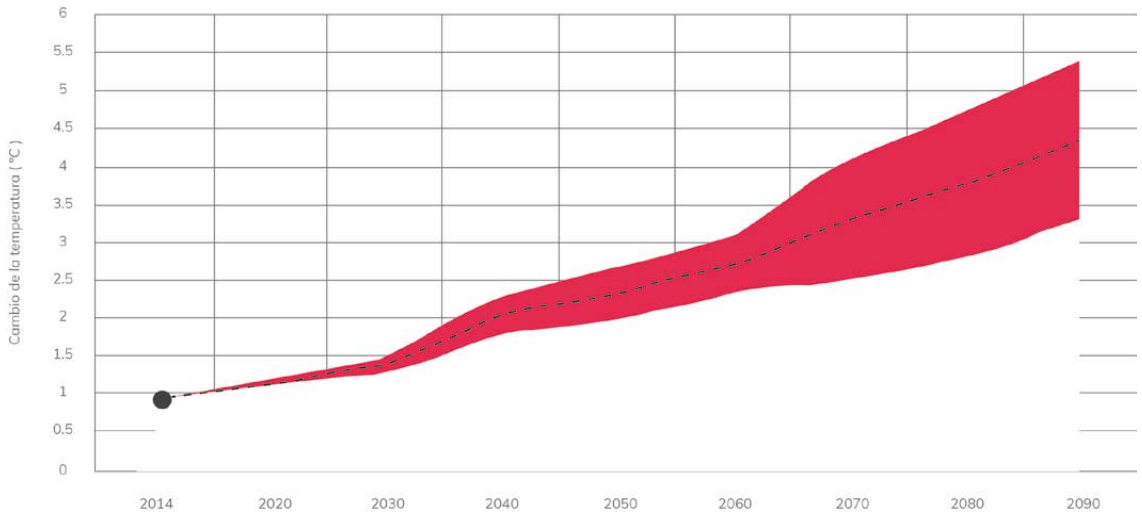


Figura 3-12 Proyecciones de temperatura para los escenarios B1 y A2 por década en Guatemala. El escenario B1 considera que la generación de emisiones de gases de efecto invernadero se mantiene estable, mientras que el escenario A2 considera un aumento en las emisiones. Tomado de MARN (2015).

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 ente 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).

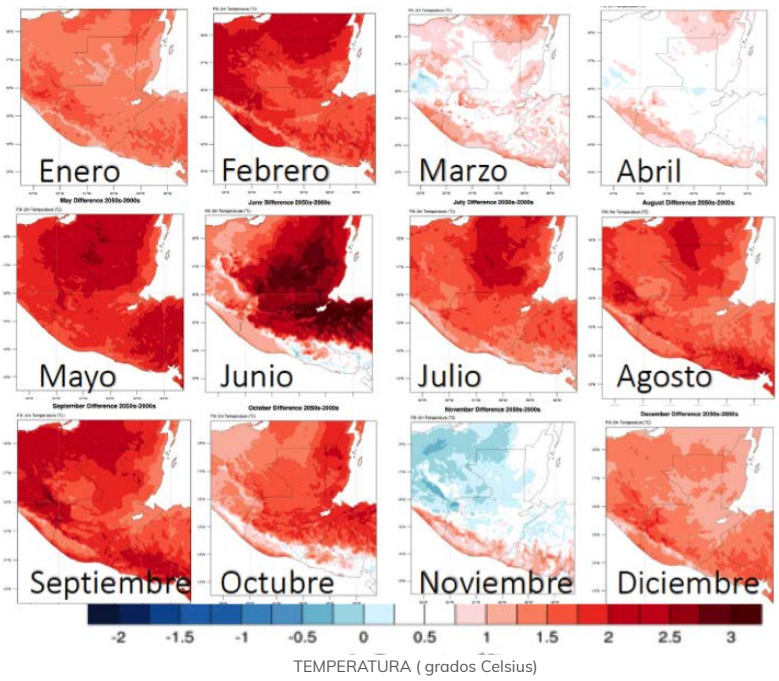


Figura 3-13 Proyecciones de cambios de temperatura por mes para los años del 2060 al 2070, basadas en el escenario RCP8.5 para Guatemala. El escenario RCP8.5 proyecta un aumento en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, siendo el más pesimista. La temperatura se expresa 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).

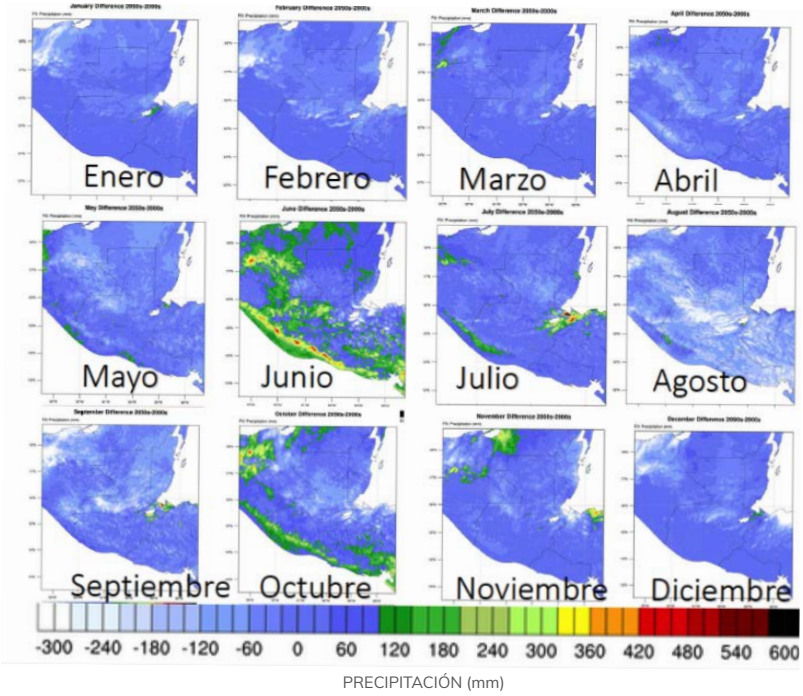


Figura 3-14 Proyecciones de cambios de precipitación por mes para los años del 2060 al 2070, basadas en el escenario RCP8.5 para Guatemala. El escenario RCP8.5 proyecta un aumento en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, siendo el más pesimista. La precipitación se 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).

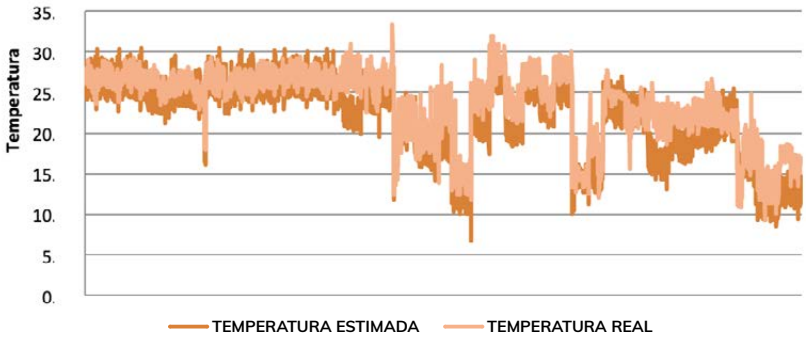


Figura 3-15 Comparación de la temperatura estimada por las proyecciones de los escenarios de cambio climático planteadas por la Universidad de Nebraska y la temperatura real registrada para la vertiente del Pacífico. En el eje *y* se muestran los valores de temperatura (en grados Celsius) para la serie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

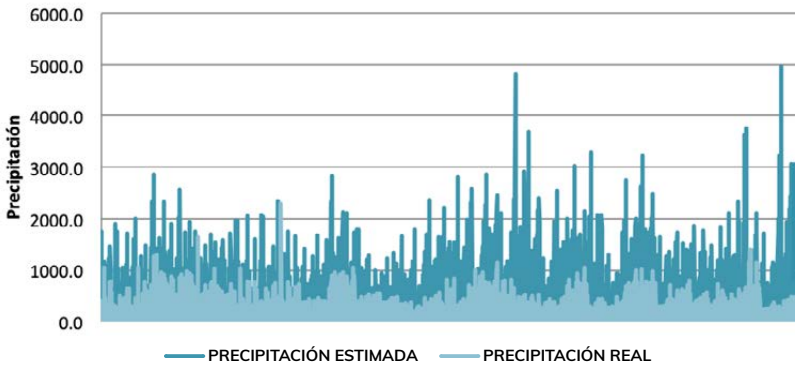


Figura 3-16 Comparación de la precipitación estimada por las proyecciones de los escenarios de cambio climático planteadas por la Universidad de Nebraska y la precipitación real registrada para la vertiente del Pacífico. En el eje *y* se muestran los valores de precipitación (en milímetros) para la serie 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).

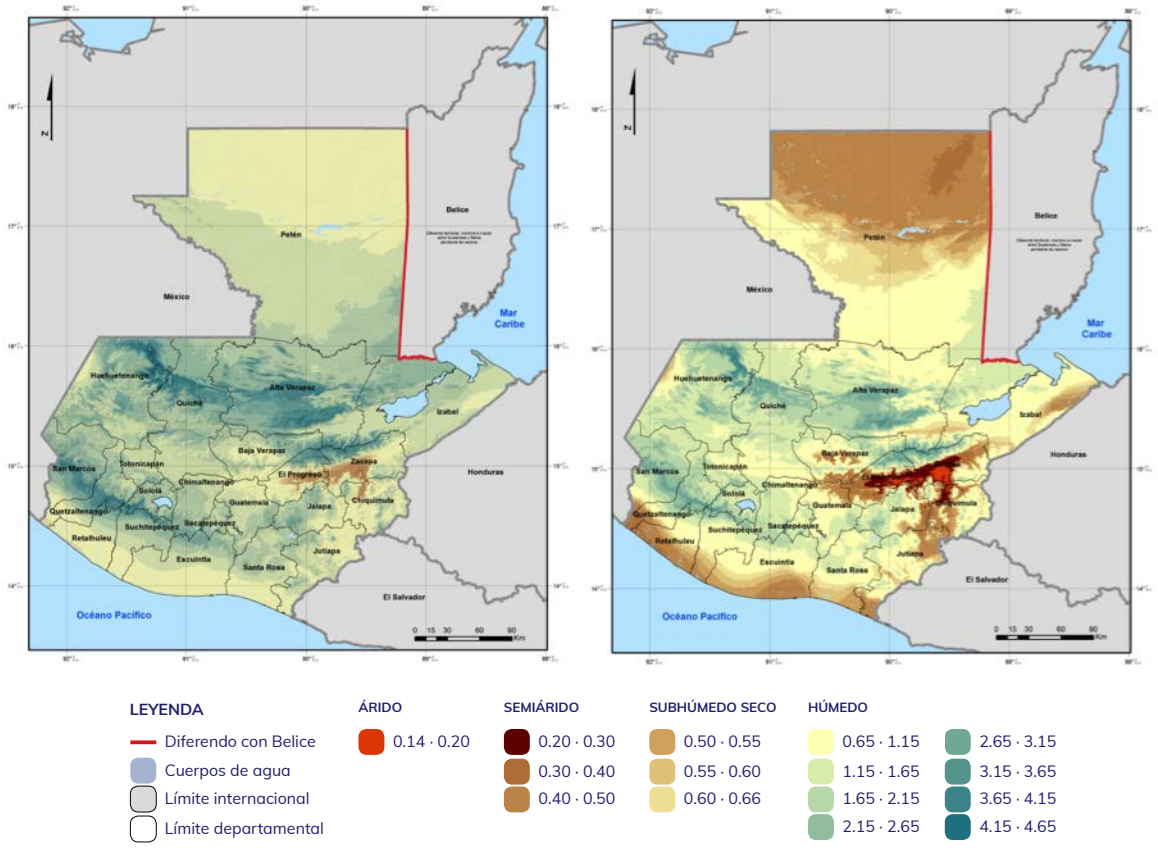


Figura 3-17 Proyecciones de cambios en el índice de aridez para Guatemala: a) Línea base años 1960-1990; b) Proyección al año 2070 para el escenario RCP8.5. El escenario RCP8.5 proyecta un aumento en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, siendo el más pesimista. Adaptado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

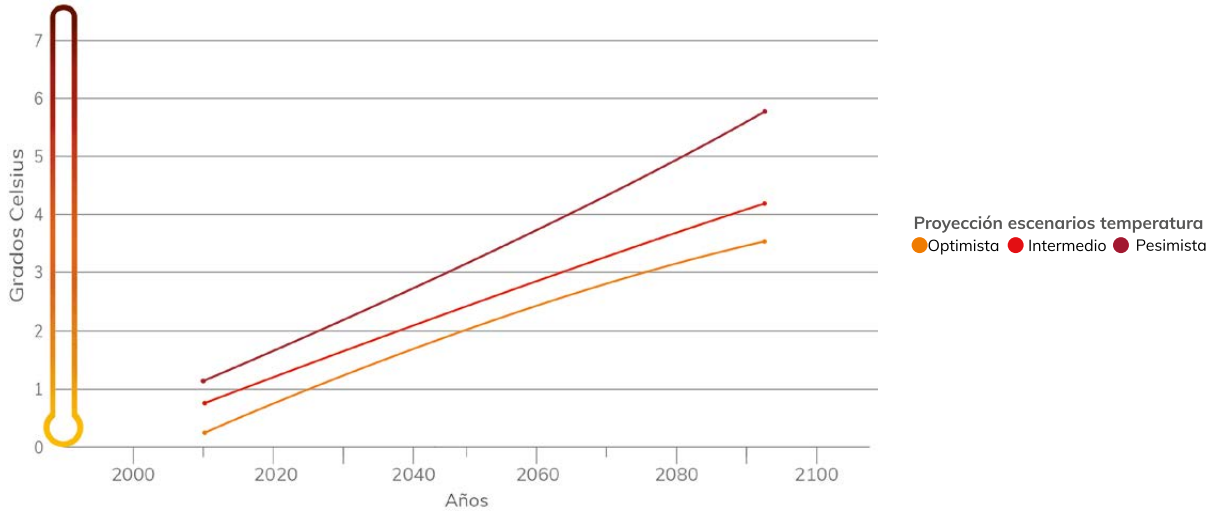


Figura 3-18 Tendencias del conjunto de proyecciones de temperatura de distintos estudios en Guatemala periodo 2010-2100. En el eje y se muestra el aumento de temperatura de las proyecciones respecto a la línea base promedio de los estudios consultados en grados Celsius. Elaboración propia, basado en 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 max-min 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).

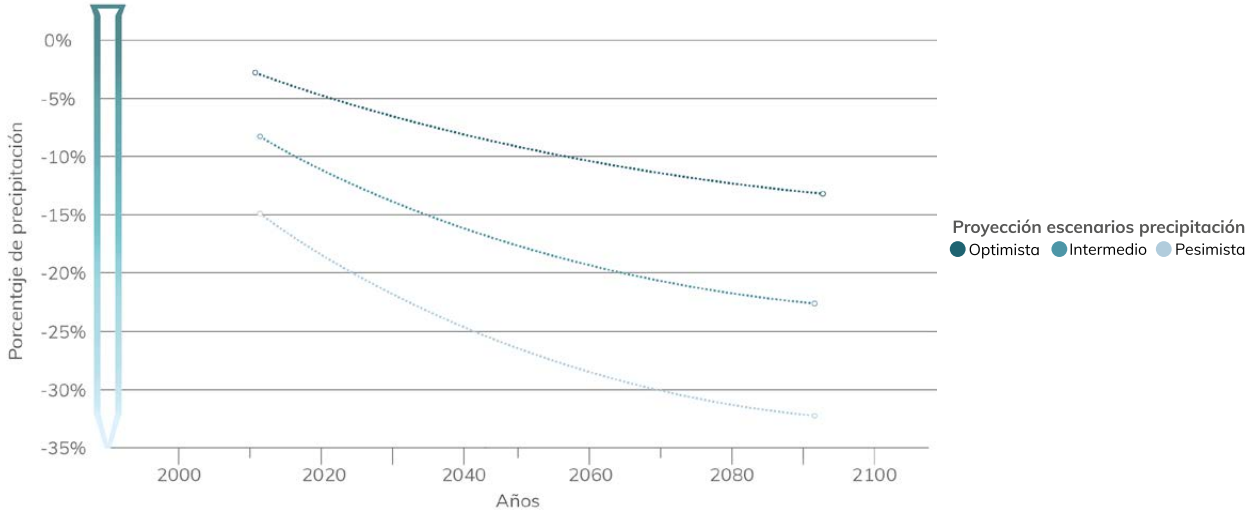


Figura 3-19 Tendencias del conjunto de proyecciones de reducción de precipitación en porcentaje de distintos estudios en Guatemala, periodo 2010-2100. El eje y muestra los cambios en la precipitación proyectados (valores positivos representan aumentos de precipitación, mientras que los valores negativos 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.ashx?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

- 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://dirae.es/palabras/nivoso

SECCIÓN 2

IMPACTOS VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN

4

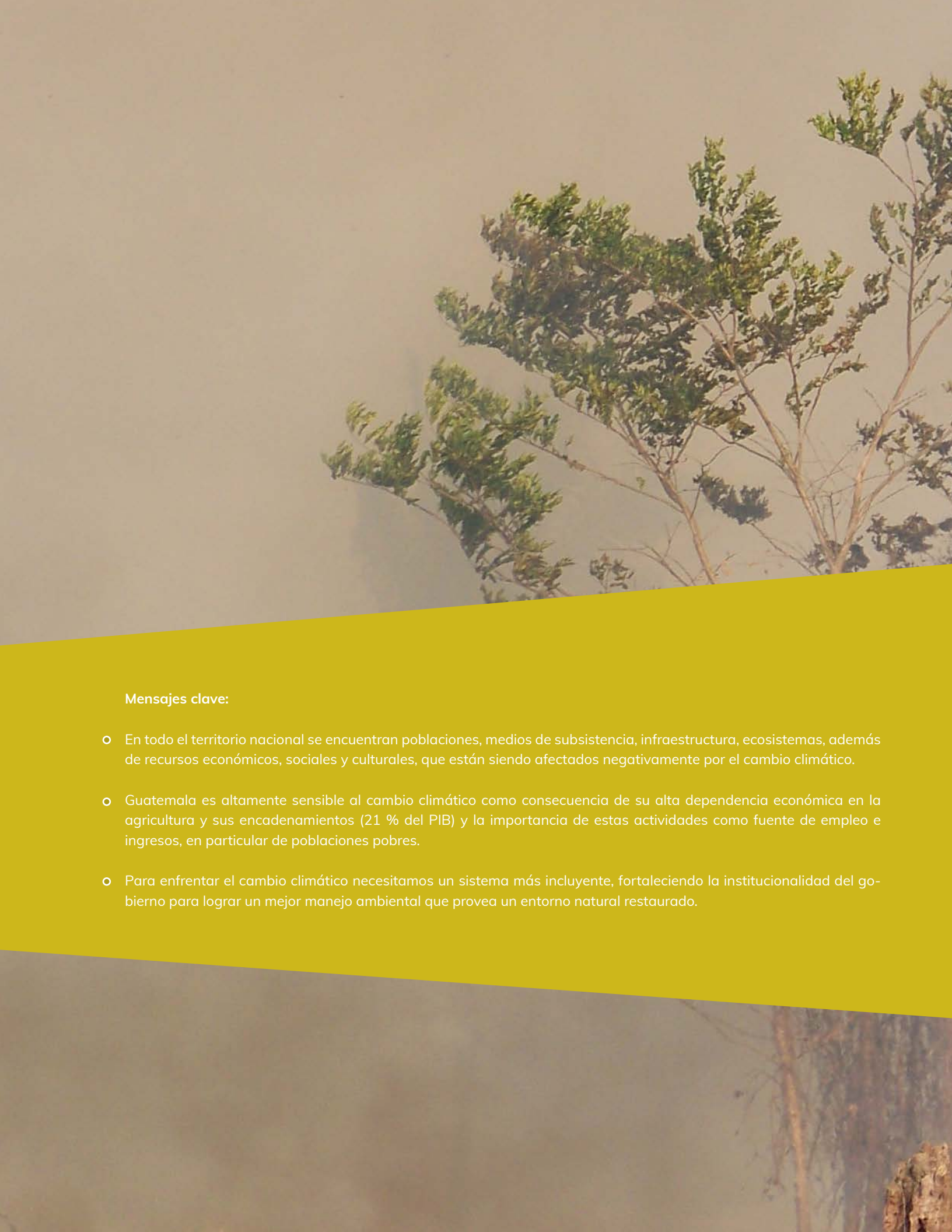
¿QUÉ TAN VULNERABLES SOMOS?
ELEMENTOS PARA ENTENDER LA VULNERABILIDAD DE GUATEMALA

Autores: Jaime Luis Carrera[1]
Autor contribuyente: Óscar Estuardo Villagrán García[2]

[1] Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad, Universidad Rafael Landívar, jlcarrera@url.edu.gt

[2] Consultor nacional e internacional

Forma de citar este capítulo:
Carrera, J. L. (2019). ¿Qué tan vulnerables somos? Elementos para entender la vulnerabilidad de 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. 64–85). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.



Mensajes clave:

- En todo el territorio nacional se encuentran poblaciones, medios de subsistencia, infraestructura, ecosistemas, además de recursos económicos, sociales y culturales, que están siendo afectados negativamente por el cambio climático.
- Guatemala es altamente sensible al cambio climático como consecuencia de su alta dependencia económica en la agricultura y sus encadenamientos (21 % del PIB) y la importancia de estas actividades como fuente de empleo e ingresos, en particular de poblaciones pobres.
- Para enfrentar el cambio climático necesitamos un sistema más incluyente, fortaleciendo la institucionalidad del gobierno para lograr un mejor manejo ambiental que provea un entorno natural restaurado.

RESUMEN

Entender la vulnerabilidad del país implica evaluar qué tan expuesto se encuentra ante los impactos del cambio climático y cuál es su sensibilidad a las amenazas y peligros que este representa, así como la capacidad que poseemos para adaptarnos a los desafíos que nos plantea. La alta dependencia económica de Guatemala a la agricultura y sus encadenamientos, los altos índices de pobreza y desigualdad, el reducido nivel y desarrollo del capital humano, las características del aparato institucional en cuanto a su tamaño y su calidad, y el grado de deterioro y agotamiento del sistema natural son, entre otros, los principales elementos que permiten explicar el alto grado de vulnerabilidad que presenta el país. Este capítulo plantea las bases conceptuales para la discusión de los principales procesos de adaptación que ocurren y deberán ocurrir en el país, los cuales se abordan con mayor detalle y de forma sectorial en los siguientes capítulos del «Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala».

CONTENIDO

4.1 Entendiendo la vulnerabilidad y el riesgo 68

4.2 La exposición al cambio climático en Guatemala 70

4.3 Sensibilidad al cambio climático en Guatemala 71

4.4 Capacidad adaptativa en Guatemala 73
- 4.4.1 Sistema económico 73
- 4.4.2 Sistema social 75
- 4.4.3 Sistema político-institucional 77
- 4.4.4 Sistema natural 78

4.5 Gasto nacional en cambio climático 79

4.6 Consideraciones finales sobre la vulnerabilidad sistémica de Guatemala 79

4.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 82

4.1 Entendiendo la vulnerabilidad y el riesgo

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014b) define el riesgo como «las posibilidades, cuando el resultado es incierto, de que ocurran consecuencias adversas para la vida; los medios de subsistencia; la salud; los ecosistemas y las especies; los bienes económicos, sociales y culturales; los servicios (incluidos los servicios ambientales) y la infraestructura» a consecuencia de fenómenos y tendencias asociados al clima. Entre estos fenómenos y tendencias, son de particular importancia las que están vinculadas a las temperaturas (variaciones de las mínimas y máximas, amplitud térmica diaria) y a las variaciones en las precipitaciones (cantidades, intensidades, temporalidad y días de lluvia), así como la ocurrencia e intensidad de los eventos extremos **(capítulo 2)**.

En ese contexto, la adaptación al cambio climático puede definirse como el proceso de ajuste, por parte de los sistemas humanos, frente a las condiciones del clima actual o proyectado y sus efectos, con el propósito de atenuar o evitar los daños y aprovechar las oportunidades (IPCC, 2014a). Uno de los principales objetivos de la adaptación es, por lo tanto, disminuir el riesgo de impactos climáticos, es decir, reducir la intensidad y la probabilidad de que ocurran las consecuencias perjudiciales para las poblaciones y el sistema natural.

De acuerdo al IPCC (2014a), el riesgo climático está determinado por la interacción entre tres factores (Figura 4-1). El primer factor lo constituyen los peligros (amenazas) de naturaleza meteorológica y climática, ya sea resultado de la variabilidad climática natural o del cambio climático antropogénico. La **sección 1** del presente reporte se centra, entre otros, en caracterizar y evaluar dichas amenazas, en particular esos fenómenos y tendencias futuras de importancia para el país.

El segundo factor es la exposición, el cual hace referencia a la «presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente» por el cambio climático (IPCC, 2014a).

El tercer factor que determina el riesgo es la vulnerabilidad, es decir, la predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende «una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación» (IPCC, 2014b). La sensibilidad, por un lado, hace referencia al grado en que un sistema es potencialmente afectado o modificado por los estímulos relacionados con el clima (Mapplecroft, 2014). La afectación puede ser, de hecho, positiva o negativa; sin embargo, en el caso concreto de la vulnerabilidad, interesan aquellas afectaciones negativas (reducción de la productividad agrícola, disminución de la disponibilidad de agua, cambios en los hábitats naturales). La capacidad adaptativa o de respuesta, por otro lado, puede definirse como el conjunto de capacidades y recursos de los sistemas, las instituciones y los seres humanos para aplicar medidas efectivas de adaptación (IPCC, 2014b; Mapplecroft, 2014).

La vulnerabilidad de los sistemas sociales está fuertemente determinada por los atributos que poseen y por las condiciones en que viven y se desarrollan los individuos, las poblaciones y las sociedades concretas, pues estos condicionan la capacidad de respuesta ante los peligros. En ese sentido, la vulnerabilidad se ve afectada por diversas condiciones y dinámicas sociales, económicas, culturales y político-institucionales (IPCC, 2014a). Los factores como la pobreza, la desigualdad, el acceso a recursos productivos y tecnológicos, la diversificación de los medios de subsistencia, el acceso y estado de salud, el nivel educativo, la organización social y el desarrollo institucional, entre otros, permiten explicar la vulnerabilidad individual y colectiva (Adger, 1999; Huynh & Stringer, 2018; Mapplecroft, 2014). Lo anterior queda reflejado en la Figura 4-1, en la que se muestra que tanto las variaciones en el clima como los procesos socioeconómicos son impulsores de peligros, exposición y vulnerabilidad (IPCC, 2014a). En síntesis, la vulnerabilidad es multidimensional y compleja, por lo que su evaluación más precisa requiere de marcos complejos y adecuados para los distintos niveles y escalas de análisis (Downing & Patwardhan, 2005).

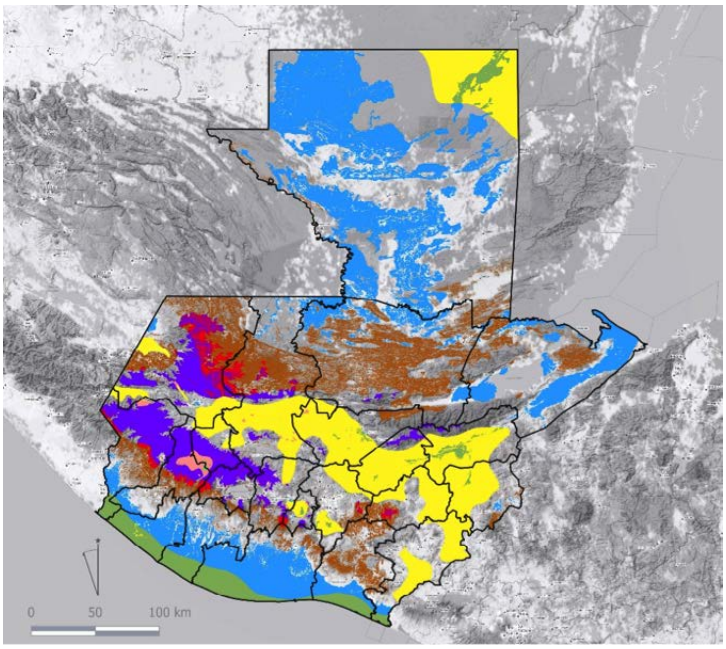
Figura 4-1 Marco conceptual y analítico del riesgo climático. El riesgo de los impactos relacionados al clima es producto de la interacción de los peligros relacionados al clima, así como de la vulnerabilidad y la exposición de los sistemas humanos y naturales. Cambios en el sistema climático pueden provocar que los procesos socioeconómicos (incluyendo la mitigación y la adaptación) impulsen la vulnerabilidad, los peligros y la exposición. Adaptado de IPCC (2014a).

4.2 La exposición al cambio climático en Guatemala

La información climática presentada en el **capítulo 2** muestra que los peligros asociados al clima han sido más frecuentes y más intensos en los últimos 20 años. Los distintos escenarios **(capítulo 3)** apuntan a que esta situación se agravará en el futuro. El Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (IARNA), en el año 2009, presentó un análisis de las poblaciones y territorios expuestos a cuatro amenazas asociadas a la variabilidad climática y el cambio climático (sequías, inundaciones, heladas y derrumbes), tomando como base para el análisis, la información hidrometeorológica, biofísica y demográfica disponible para el país (Figura 4-2). El estudio concluye que el 73 % de la totalidad de los poblados del país (12 947 poblados) y el 75 % del número total de habitantes (8.5 millones de personas) se encuentran expuestos al menos a una de las cuatro amenazas evaluadas. Se determinó además que los departamentos de la costa sur están expuestos de manera significativa, pues nueve de cada 10 poblados de San Marcos, Escuintla y Retalhuleu están expuestos al menos a una de las amenazas. En el caso de amenazas simultáneas, 43 poblados ubicados en los departamentos de Quetzaltenango, Guatemala y Totonicapán se encuentran expuestos a tres amenazas al mismo tiempo (Iarna-URL, 2009).

Biota, S.A. y The Nature Conservancy (2014) elaboraron un índice de exposición a seis amenazas asociadas al cambio climático (sequías, inundaciones, heladas, deslizamientos, erosión e incendios forestales) para el altiplano occidental de Guatemala. Los resultados muestran que 59 de los 144 municipios evaluados presentan un índíce de exposición muy alto y alto, y se concentran en su mayoría en los departamentos de Quetzaltenango (19), San Marcos (15) y Huehuetenango (14), y en menor medida en Totonicapán (6) y Quiché (5).

La agricultura es probablemente la actividad económica más expuesta a la variabilidad climática y eventos extremos, debido a su importancia en todos los territorios del país. Por la superficie territorial que ocupan a nivel nacional y su distribución territorial (GIMBUT, 2014), los cultivos más expuestos a nivel nacional son los granos básicos, el café, la caña de azúcar, la palma de aceite y el banano. No obstante, la exposición a las diferentes amenazas difiere de acuerdo con la distribución de los cultivos en el territorio nacional. En el altiplano noroccidental, que se encuentra expuesto a heladas, los cultivos principales son el maíz, el frijol y el café, en términos del porcentaje del territorio que ocupan; pero también son de importancia algunas hortalizas y tubérculos. En el caso del territorio de oriente, expuesto a



LEYENDA

D, DS, DSI, DH, DI, DSH, S, SI, DHI, I, HS, H, HI, SHI, División Administrativa Departamental

Figura 4-2 Mapa de territorios expuestos a amenazas climáticas en Guatemala, siendo las principales amenazas las sequías, inundaciones, heladas y derrumbes. D= deslizamientos, H= heladas, I= inundaciones, S= sequías, DH= deslizamientos y heladas, DI= deslizamientos e inundaciones, DS= deslizamientos y sequías, HI= heladas e inundaciones, SH= sequías y heladas, SI= sequías e inundaciones, DHI= deslizamientos, heladas e inundaciones, DSH= deslizamientos, sequías y heladas, DSI= deslizamientos, sequías e inundaciones, SHI= sequías, heladas e inundaciones. Adaptado de Iarna-URL (2009).

sequías, son principalmente importantes los granos básicos, en menor proporción el sorgo, melón, sandía y café. En el suroccidente, cuya exposición principal es a deslizamientos e inundaciones, son importantes el maíz, café, caña de azúcar, hule y ajonjolí. En la Franja Transversal del Norte, son el maíz, frijol, café, cardamomo y palma de aceite. En la costa sur y boca costa, expuesta a inundaciones y sequías, los cultivos predominantes son la caña de azúcar y el café; y, en menor proporción, la palma de aceite, plátano y banano, y granos básicos (Iarna-URL, IICA, Gálvez, & Andrews, 2015).

Los estudios disponibles proyectan también cambios a nivel de los ecosistemas, los cuales están evidentemente expuestos a las variaciones del clima. Al menos entre el 60 y el 90 % del territorio nacional vería modificaciones en las zonas de vida actuales con base en los escenarios construidos por distintos estudios (CEPAL, NDF, BID, & MARN, 2018; Iarna-URL, 2011; MARN, 2015). Otro sector altamente expuesto a las amenazas y efectos del cambio climático es el de los recursos hídricos. Prácticamente todas las cuencas del país están expuestas a modificaciones significativas del clima, por lo que se proyectan cambios en las disponibilidades de agua a nivel de estas, como consecuencia de temperaturas más altas y menores tasas de precipitación (CEPAL et al., 2018; Iarna-URL, 2015).

4.3 Sensibilidad al cambio climático en Guatemala

De acuerdo con Giorgi (2006), la región centroamericana será la más sensible a los efectos del cambio climático, por lo que será el territorio donde los cambios se podrán sentir con mayor intensidad. En términos generales, en el sector agrícola es donde existe mayor evidencia sobre la sensibilidad de los sistemas al cambio climático **(capítulo 6)**. Los distintos estudios disponibles proyectan cambios en las regiones agroecológicas y la fenología de los cultivos (Bouroncle et al., 2015; CEPAL, 2013; CIAT, 2012; Iarna-URL, 2011; Mora, Ramírez, Ordaz, Acosta, & Serna, 2010). Lo anterior implica que las áreas aptas para el establecimiento y desarrollo de los distintos cultivos cambiarán, ampliándose en algunas áreas y reduciéndose en otras. De los cultivos evaluados por Bouroncle et al. (2015), los cultivos más sensibles a los cambios proyectados en el clima en Guatemala son el café y el frijol. En el caso del café, ya es visible una reducción del área apta para su producción y se prevé una reducción de la superficie apta en todos los municipios donde se cultiva en la actualidad (Bouroncle et al., 2015). Los estudios desarrollados que han abarcado al país, han considerado otros cultivos como la caña de azúcar, el maíz y el arroz (Bouroncle et al., 2015; CEPAL, 2010, 2013).

La sensibilidad sobre la producción agrícola podría intensificarse como resultado del efecto de los cambios del clima en los ecosistemas y los servicios de apoyo a la agricultura que estos prestan. El estudio de Imbach et al. (2017) considera el efecto combinado del impacto directo del cambio climático sobre las áreas potenciales para la producción de café y el impacto indirecto sobre la distribución y riqueza de polinizadores del cultivo. Los resultados enfatizan la importancia de considerar ambos efectos en el diseño de estrategias apropiadas de adaptación. El estudio concluye que estos efectos combinados pueden implicar una total inviabilidad del cultivo en algunas áreas de Guatemala (Imbach et al., 2017).

Varios estudios proyectan que las plantas tropicales y los bosques nubosos de Centroamérica son altamente sensibles a pequeñas variaciones en el clima **(capítulo 7)**; por lo tanto, esas variaciones tendrán efectos significativos en la diversidad y composición de especies, provocando como resultado la pérdida de diversidad biológica, migración de especies a otras altitudes y posiblemente altas tasas de mortalidad y poca capacidad de recuperación de muchas especies (IPCC, 2007). La integridad ecológica de los ecosistemas y la interacción ecológica de las especies y sus distribuciones geográficas son factores clave que determinarán el efecto del cambio climático en el funcionamiento de los ecosistemas, así como determinarán los efectos en la diversidad biológica y los bienes y servicios ecosistémicos (Iarna-URL, 2011; IPCC, 2007).

La sensibilidad del sector agrícola se intensifica por las condiciones socioeconómicas en las que viven muchos de los hogares que se dedican a estas actividades. De acuerdo a Mapplecroft (2014), los factores más determinantes que explican la sensibilidad al cambio climático en la región de América Latina, pero especialmente en Mesoamérica, son los altos índices de pobreza y desigualdad, así como la depen-

dencia de muchos hogares a medios de subsistencia marginales y poco calificados, como la agricultura minifundista y de subsistencia (altamente predominante en Guatemala) en particular, debido a que las actividades agrícolas son altamente susceptibles a los cambios del clima. En el caso guatemalteco el 62 % de los pobres extremos y el 41 % de los pobres moderados estaban empleados en el sector agrícola en 2014 (INE, 2016a; Sánchez, Scott, & López, 2016). Además, más del 90 % de los productores agropecuarios en el país son pequeños productores de granos básicos, con acceso a una limitada cantidad de tierra (menos de dos hectáreas) y una capacidad social y económica muy limitada para enfrentar los cambios del clima y los eventos extremos (USAID, 2013).

Los pequeños agricultores (productores en condición de subsistencia e infrasubsistencia) no solo viven en condiciones de pobreza y pobreza extrema, sino que la agricultura es su principal fuente de ingresos (Iarna-URL, IICA, Gálvez, et al., 2015). Los escenarios futuros son preocupantes porque muestran que, en un contexto de variabilidad climática, la renta de la tierra podría reducirse entre el 7 % y cerca de 67 %, lo que implicaría un impacto no menor al 11 % en los ingresos de los agricultores e impactos mayores en los hogares agropecuarios pobres (CEPAL, 2009). Además, la sensibilidad ante distintos tipos de amenazas es significativamente alta. Los resultados del estudio de ASECSA y IARNA/URL (2014) en comunidades agrícolas distribuidas en todo el territorio nacional muestran que los agricultores pierden, en promedio, el 55 % de sus cosechas de granos básicos (maíz y frijol) en años muy secos y el 75 % de la producción de maíz en años muy húmedos. Además, el 95 % de los hogares agropecuarios reportan algún grado de pérdida ante cualquiera de estas amenazas (ASECSA & Iarna-URL, 2014).

Por otro lado, muchos hogares agropecuarios también dependen de la agricultura para su alimentación, pues su producción es básicamente para el consumo del hogar. Guatemala es el país con mayor proporción de población en condiciones de inseguridad alimentaria (30.4 %) de Centroamérica (Magrin et al., 2014), la cual se concentra principalmente en las áreas rurales. En los últimos años ha ocurrido una modificación en los medios de vida de muchos hogares agropecuarios. Los datos muestran que entre 2006 y 2014 existió una migración de empleados familiares sin pago y empleados por cuenta propia como jornaleros y peones, en particular en fincas dedicadas a los cultivos de exportación; sin embargo, esa transición no ha significado mejoras sustanciales en el bienestar de los hogares de pequeños agricultores, ya que nueve de cada 10 empleos agrícolas son informales (no cuenta con seguridad social) y por periodos cortos (Sánchez et al., 2016). Los ingresos reales de los pequeños agricultores se han reducido con respecto al año 2000 (BID, 2013; Sánchez et al., 2016); por lo tanto, para el 2016, estos representaban los ingresos más bajos con respecto a las demás actividades económicas del país (INE, 2016c).

De acuerdo con Mapplecroft (2014), Guatemala presenta un índice de sensibilidad al cambio climático calificado de extremo, solo superado en la región por Haití, República Dominicana y El Salvador. El estudio considera los factores que explican la sensibilidad de las poblaciones al cambio climático en la región latinoamericana, pero particularmente en Mesoamérica; esos factores son los índices de cobertura y calidad educativa, en los cuales Guatemala presenta rezagos considerables. Algunos aspectos preocupantes en este sentido para el país son los bajos años de escolaridad (alrededor de cinco en promedio), el bajo nivel de matrícula neta en la educación secundaria (alrededor del 47 %) y las altas tasas de repetición estudiantil (Sánchez et al., 2016). Existen además brechas importantes por superar, en particular en lo referente al área de residencia (urbano-rural) y a la procedencia étnica entre las poblaciones rurales. Por citar un ejemplo, en las áreas urbanas alrededor del 47 % de los niños completa los nueve años de escolaridad, en tanto que el porcentaje se reduce al 25 % en las áreas rurales (Banco Mundial, 2015) (Figura 4-6).

Otras poblaciones altamente sensibles a los efectos del cambio climático son aquellas que estarán expuestas a enfermedades nuevas o previamente erradicadas en los territorios **(capítulo 10)**. En este caso se proyecta la modificación del espacio geográfico de enfermedades como el dengue y la malaria, a causa del aumento de la temperatura y los cambios en la precipitación; también se proyecta el aumento de casos de enfermedades diarreicas y consecuencias en

la seguridad alimentaria, derivadas del aumento de las sequías y de menor disponibilidad de agua para la agricultura (CEPAL et al., 2018; IPCC, 2014b). La salud se verá afectada también como consecuencia de los efectos del cambio climático en otros factores como calidad del aire, agua potable, alimentos suficientes y vivienda segura (CEPAL et al., 2018).

Otro sector altamente sensible al cambio climático en Centroamérica es el sector eléctrico, específicamente el subsector hidroeléctrico (CEPAL, 2012; CEPAL et al., 2018; Esquivel, Grunwaldt, Paredes, & Rodríguez-Flores, 2016). Se proyecta que la exposición de las distintas cuencas a los efectos combinados del alza de la temperatura y los cambios de la precipitación afectará la evapotranspiración y el caudal en las distintas cuencas del país (Iarna-URL, 2015), así como la evaporación en los embalses hidroeléctricos (CEPAL, 2012). Los escenarios generados por CEPAL (2012), para el caso del embalse de Chixoy, proyectan una reducción en la generación de electricidad de hasta un 80 % para finales del siglo, según el escenario pesimista (A2), en tanto que podría ser del 26 % según el escenario optimista (B2). El estudio de Esquivel et al. (2016) confirma la tendencia de las proyecciones, estimando una reducción del 35 % en el caudal turbinable de la cuenca, lo que implicaría una reducción de entre el 24 y el 63 % de la generación hidroeléctrica de Chixoy para 2090.

4.4 Capacidad adaptativa en Guatemala

Como se expuso en el **apartado 4.1**, la capacidad adaptativa o de respuesta hace referencia al conjunto de capacidades, recursos e instituciones que posee un sistema para aplicar medidas efectivas de adaptación. En la escala país, esta puede evaluarse considerando el potencial de la economía de un país (desempeño, estructura), de sus instituciones (tamaño, transparencia, eficiencia), de sus recursos naturales y producidos (cantidad, disponibilidad, estado), y del capital humano y social con el que cuenta (Mapplecroft, 2014). A continuación, se hace una breve descripción de los principales atributos que permiten entender la vulnerabilidad del país con respecto a estos temas.

4.4.1 Sistema económico

De acuerdo con Mapplecroft (2014), entre los elementos que permiten evaluar la capacidad adaptativa de un país están la fortaleza de la economía del mismo (medida a través del producto interno bruto [PIB]) y su dependencia de actividades fuertemente sensibles a las amenazas del cambio climático, en particular la agricultura. Entre los años 2000 y 2016, el crecimiento del PIB en el país fue modesto al haber alcanzado una tasa del 3.5 %, por encima del promedio latinoamericano (3.2 %) y por debajo del promedio centroamericano (4.0 %). De acuerdo con el Banco Mundial (2015), se requiere sostener una tasa de crecimiento del PIB de por lo menos el 5 % para obtener reducciones más significativas de las tasas de pobreza. El crecimiento del PIB per cápita, por su parte, fue en promedio de 1.2 % anual y se sitúa un punto por debajo del promedio latinoamericano, lo que implica que Guatemala necesita generar tasas de crecimiento económico y de generación de empleos todavía mayores para erradicar la pobreza (Sánchez et al., 2016).

Existen, además, grandes desafíos en cuanto a las desigualdades regionales del crecimiento económico, ya que la actividad económica se concentra en el área metropolitana (Red Nacional de Grupos Gestores, 2011). La Figura 4-3 muestra que el PIB per cápita en el departamento de Guatemala es 7.3 veces mayor que en Huehuetenango (departamento con el menor PIB per cápita), lo que manifiesta que las oportunidades económicas se concentran en el departamento de Guatemala, el cual genera alrededor del 50 % del PIB (Sánchez et al., 2016). Los departamentos con los menores PIB per cápita también presentan las mayores tasas de pobreza (Huehuetenango, Quiché y Alta Verapaz).

Un atributo económico importante de considerar para el país, con respecto al cambio climático, es la alta dependencia de la economía guatemalteca en el sector agrícola. Es de crucial importancia considerar estrategias para fortalecer las capacidades de adaptación de este sector al cambio climático, ya que la contribución de la agricultura y sus encadenamientos a la economía guatemalteca es de aproximadamente el 24 % del PIB (Sánchez et al., 2016).

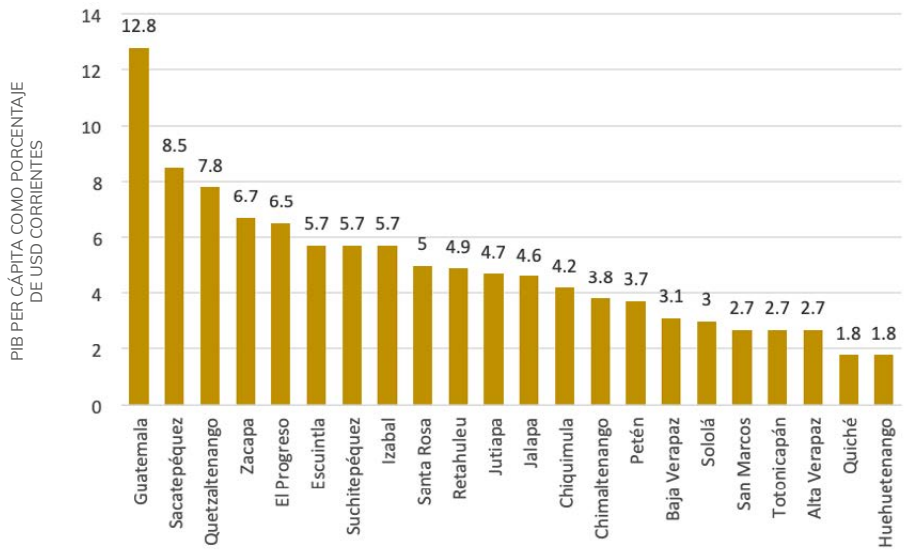


Figura 4-3 Producto interno bruto (PIB) per cápita por departamentos en la República de Guatemala durante el año 2010. El departamento de Guatemala es el que genera alrededor del 50 % del PIB a nivel nacional, mientras que los departamentos de Huehuetenango, Quiché y Alta Verapaz son los que cuentan con las mayores tasas de pobreza. Adaptado de Sánchez, Scott y López (2016).

El peso de los productos agrícolas sobre el valor total de las exportaciones no solo continúa siendo importante (Figura 4-4), sino que ha crecido en los últimos años, pasando de representar el 30 % en 2002 a constituir el 40 % en 2017 (Iarna-URL, 2019). Por otro lado, las actividades agrícolas emplean al 29 % de la población económicamente activa, lo que representaba alrededor de 1 842 095 personas en 2016 (INE, 2016c), muy superior al promedio latinoamericano del 13 % para 2017 (Banco Mundial, 2018). La agricultura ha sido, además, el principal generador de nuevos puestos de trabajo en el país durante los últimos años (Sánchez et al., 2016).

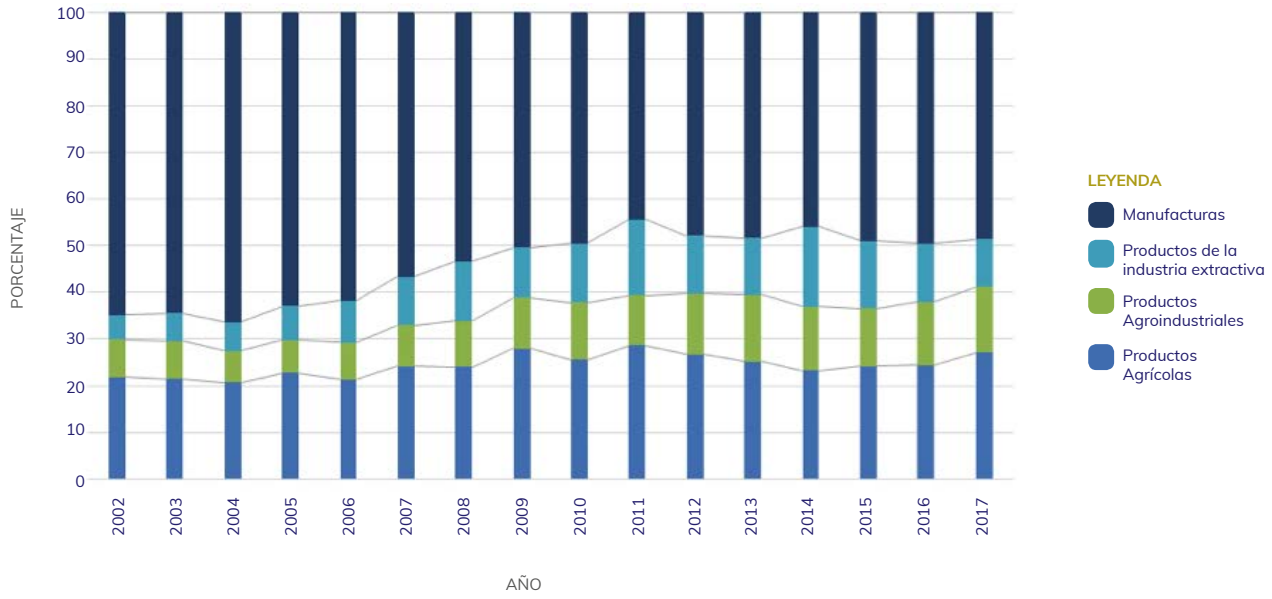


Figura 4-4 Participación de los distintos tipos de productos en las exportaciones de Guatemala como porcentaje del total del valor de las exportaciones para el periodo 2002-2017. El peso de los productos agrícolas sobre el valor total de las exportaciones no solo continúa siendo importante, sino que ha crecido en los últimos años, pasando de representar el 30 % en 2002 a constituir el 40 % en 2017. Tomado de IARNA-URL (2019).

Finalmente, la capacidad de inversión por parte del sector privado en el país se ha visto limitada por una profundidad financiera (medida como el porcentaje de crédito al sector privado con respecto al PIB) que se mantiene entre las más bajas de la región latinoamericana (Sánchez et al., 2016). El crédito bancario se concentra en un 69 % en el departamento de Guatemala; a nivel nacional se dirige principalmente a los consumidores (32 %) y al sector comercio (16 %), con un bajo nivel de financiamiento hacia las pequeñas y medianas empresas (Banco Mundial, 2014; Sánchez et al., 2016). Si se analiza la conformación del PIB por el lado de la demanda, el consumo privado representa alrededor del 80 % del mismo, lo que indica bajas tasas de inversión y ahorro en el país, lo que redunda en una reducida capacidad de generar empleo y desarrollo. El consumo se ha sostenido de manera importante por el envío de remesas al país, las cuales representan alrededor del 10 % del PIB (Banco Mundial, 2014).

4.4.2 Sistema social

La fortaleza de una sociedad para enfrentar crisis y cambios está dada, en gran medida, por la disponibilidad de recursos con los que cuenta y las capacidades que posee (IPCC, 2014a). Entre los factores que más determinan la capacidad de las personas para enfrentar las amenazas externas, sean de naturaleza climática u otra, son los ingresos con los que cuentan (Mapplecroft, 2014). Este sigue representando uno de los desafíos más grandes del país, tomando en cuenta que la tasa de pobreza se incrementó de 55 % en el año 2000 a 60 % en 2014 (Figura 4-5). Como se ha indicado, los ingresos laborales en Guatemala se han estancado e incluso reducido en aquellos sectores que emplean a la mayoría de la población, en particular la agricultura. Por otro lado, la población empobrecida carece de capital humano, principalmente educación y salud, por lo que su habilidad y sus opciones de emplearse en sectores mejor remunerados son muy limitadas (Sánchez et al., 2016). Además, los pequeños agricultores no poseen acceso a crédito ni financiamiento (Iarna-URL, IICA, Gálvez, et al., 2015), en tanto que el perfil de los asegurados de los seguros agropecuarios disponibles y escasos en el país corresponde al de grandes productores de banano, palma de aceite, hortalizas y azúcar (CEPAL et al., 2018). En ese contexto, las altas tasas de desnutrición crónica infantil, significativamente altas para un país con ingreso medio (alrededor del 47 % de prevalencia en niños menores de cinco años), evidencian la precariedad y la exclusión en que sobreviven muchos de los hogares guatemaltecos (Iarna-URL, IICA, & McGill University, 2015).

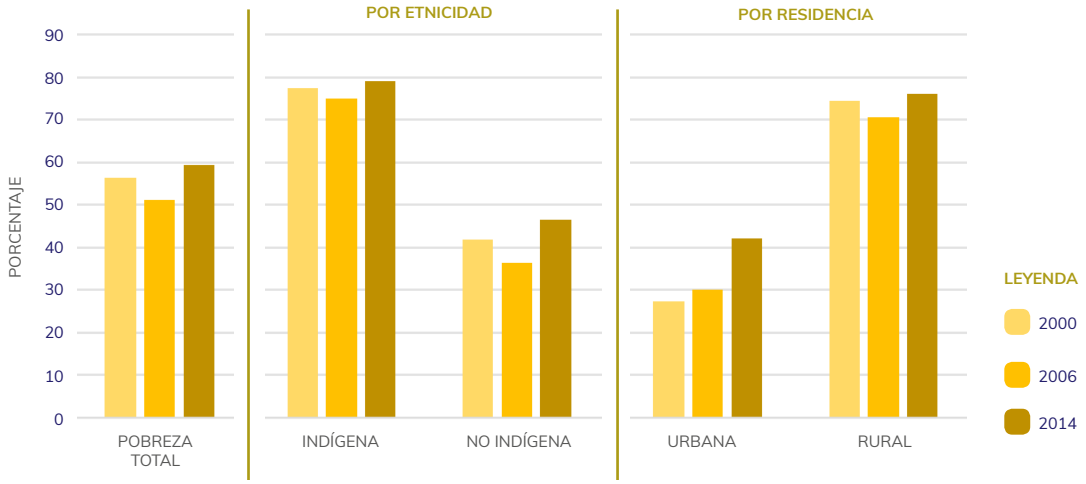


Figura 4-5 Incidencia de pobreza total a nivel nacional, según etnicidad y área de residencia para los años 2000, 2006 y 2014. La pobreza total disminuyó durante el año 2006 mientras que durante el 2014 vuelve a tener un incremento comparado al año 2000. La población rural indígena tiende a ser la más afectada por el incremento de la pobreza durante el 2014. Adaptado de INE (2015b).

Otro factor que explica la limitada capacidad adaptativa y vulnerabilidad social en que viven muchos guatemaltecos es la persistente desigualdad que existe entre pueblos indígenas y mestizo, áreas geográficas y sectores económicos en el país (Sánchez et al., 2016). Tanto la concentración del ingreso como de la tierra se encuentran entre valores extremadamente altos que superan los valores de la mayoría de los países latinoamericanos. Las desigualdades en cuanto al acceso a educación, servicios de salud y oportunidades de empleo se intensifican en las poblaciones rurales, indígenas y pobres (Figura 4-6). El sector económico informal es extremadamente extenso (82 % de los trabajadores) y se concentra las áreas donde se ubican las poblaciones más vulnerables (Sánchez et al., 2016), como la agricultura (94 % de informalidad) y el comercio (86 % de informalidad), con tasas significativamente mayores en personas indígenas y mujeres (INE, 2016b).

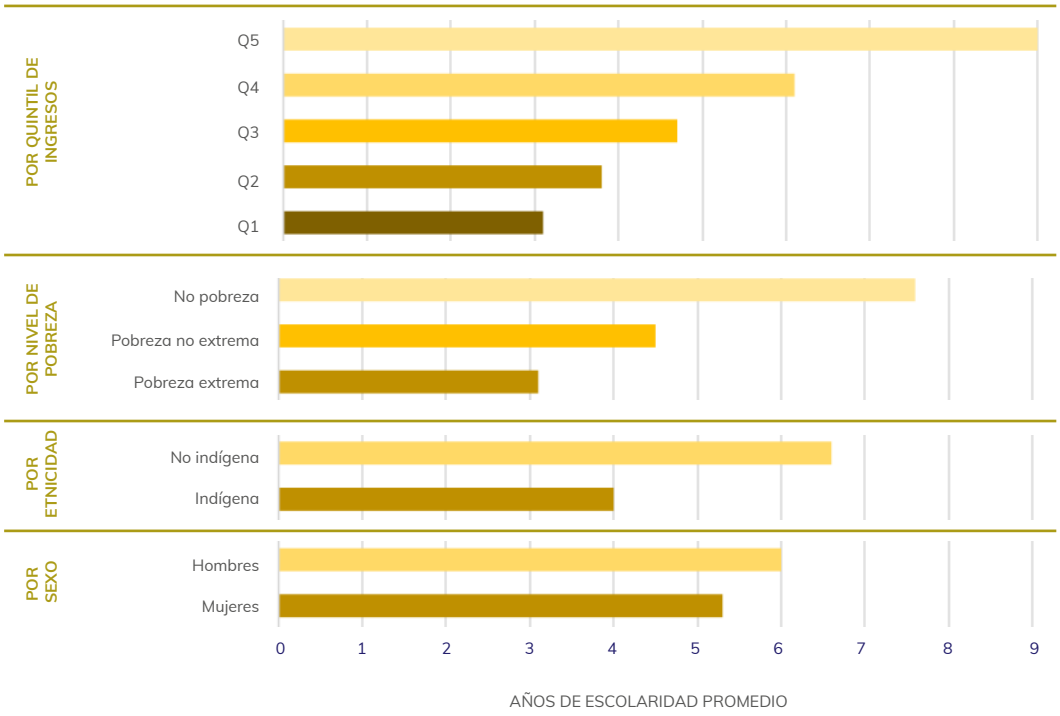


Figura 4-6 Años de escolaridad según etnicidad, nivel de pobreza y quintil de ingreso para el año 2014. Los años de escolaridad se ven considerablemente disminuidos mientras mayor pobreza existe. Siendo la población indígena la que mayor pobreza representa es también la que menos años de escolaridad posee. Esto muestra nuevamente los altos niveles de desigualdad que existen en el país. Elaboración propia, basado en INE (2016a).

La migración se ha convertido en una estrategia de muchos guatemaltecos ante la falta de oportunidades en el país, la cual genera, en muchos casos, desintegración familiar y nuevos desafíos para los hogares en el área rural (Sánchez et al., 2016). Los datos sugieren que los migrantes guatemaltecos en Estados Unidos tienden a ser más jóvenes, más pobres y menos educados que otros migrantes hispanos (Banco Mundial, 2014). La Figura 4-7 muestra que el número de migrantes guatemaltecos en Estados Unidos se ha incrementado sustancialmente en los últimos 55 años, ya que en 2014 fue casi de 1.2 millones de personas (Banco Mundial, 2014). Entre los desafíos que deben enfrentar las familias que envían migrantes están la falta de empoderamiento, capacidades y mano de obra (Coello, Reimao, Theis, & Stanley, 2015). En el suroriente de Guatemala, aquellas familias cuya cabeza de hogar había migrado eran excluidas de la asistencia social y de los programas sociales bajo el supuesto de que eran familias más acomodadas (Sánchez et al., 2016)

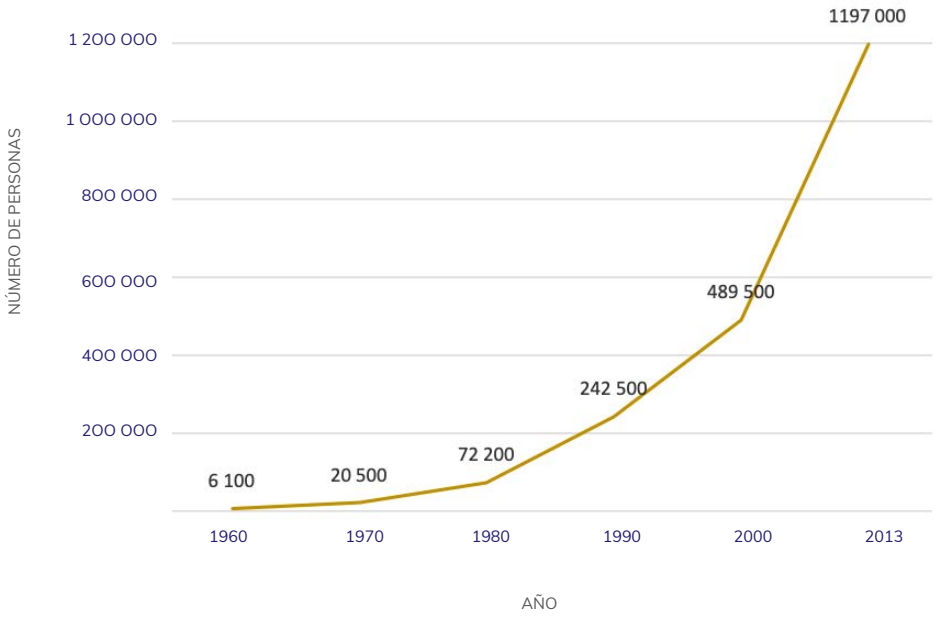


Figura 4-7 Inmigrantes guatemaltecos en Estados Unidos entre 1960 y 2013 en número de personas por año. El incremento de la inmigración hacia Estados Unidos ha tenido un incremento considerable en los últimos años debido a la falta de oportunidades en el país. Adaptado de Sánchez et al. (2016).

4.4.3 Político-institucional

Mapplecroft (2014) identifica a la efectividad y estabilidad de los gobiernos como uno de los determinantes clave que permiten explicar la capacidad adaptativa de los países. En el caso de Guatemala, Sánchez et al. (2016) afirman que el desarrollo se ha visto impedido por dos aspectos fundamentales: por un lado, un contrato social fragmentado que no ha permitido consolidar un consenso entre el Estado y sus ciudadanos sobre sus respectivos roles y responsabilidades; y por el otro, una baja calidad y funcionamiento de las instancias de gobierno. En el primer caso, los datos sugieren que la población guatemalteca no confía en el proceso democrático en el país, pues el 91 % de la población encuestada durante el proceso electoral en 2015 no simpatizaba con ninguno de los partidos políticos en la contienda, y el 68 % afirmó que nunca participaría en uno (Donis, 2017). Con excepción de los procesos electorales de 1985 (primero de la era democrática) y de 2011, todas las segundas vueltas han contabilizado un índice de abstencionismo superior al 40 %, lo que muestra una baja participación política de la sociedad guatemalteca (Boneo & Torres-Rivas, 2000).

En el caso de la calidad de las instituciones, existen al menos dos factores que se deben analizar. Un primer factor importante por analizar es la capacidad y la calidad del gasto público. La política fiscal suele ser utilizada por los gobiernos para reducir la pobreza y la desigualdad y equiparar las oportunidades de los grupos más desfavorecidos (Cabrera, Lustig, & Morán, 2014). No obstante, ni los impuestos ni las transferencias han sido efectivas en reducir la pobreza y la desigualdad en Guatemala, debido básicamente a la baja tasa de recaudación en el país y a la importancia del impuesto dirigido al consumo en la estructura de recaudación (Cabrera et al., 2014). La Figura 4-8 muestra que buena parte del gasto social es progresivo, es decir que el reparto de las rentas públicas beneficia en mayor medida a las personas de los grupos de renta media y alta; este es el caso del gasto en salud y en educación superior.

Otro factor importante de analizar es la insuficiencia y debilidad de las dependencias de gobierno (Iarna-URL, 2012; Sánchez et al., 2016). Algunos problemas que se presentan en este sentido son (Sánchez et al., 2016): i) la falta de formulación de políticas y de asignación de presupuestos con base empírica; ii) la fragmentación de las instituciones; iii) la falta y/o debilidad de la fiscalización, el monitoreo y la evaluación. Esta falta de transparencia y de rendición de cuentas es una puerta de entrada ideal para la corrupción y la cooptación de la institucionalidad pública.

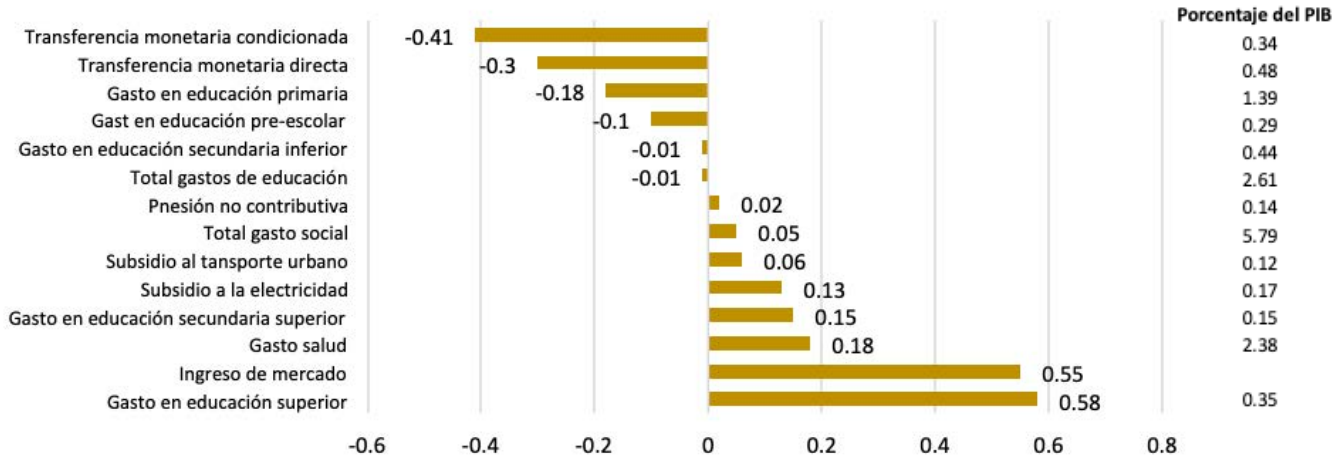


Figura 4-8 Coeficiente de concentración del gasto público para el año 2010. Gran parte del gasto público beneficia en mayor medida a las personas de los grupos de renta media y alta; este es el caso del gasto en salud y en educación superior. Adaptado de Cabrera et al. (2014).

4.4.4 Sistema natural

La vulnerabilidad del sistema natural ante las amenazas del cambio climático puede entenderse desde las dos características principales que explican la vulnerabilidad: la sensibilidad y la capacidad adaptativa. Por el lado de la sensibilidad, los escenarios de zonas de vida construidos por los distintos estudios (CEPAL, 2012, 2013; CEPAL et al., 2018; Iarna-URL, 2011) muestran que los cambios proyectados en la temperatura y la precipitación provocarían una reconfiguración de las zonas de vida del país, provocando un cambio en casi el 80 % del territorio nacional. En síntesis, los estudios proyectan una ampliación de las provincias de humedad secas y muy secas en detrimento de aquellos ecosistemas húmedos y muy húmedos **(capítulo 7)**. Los resultados de los distintos estudios que analizan la disponibildiad futura de lluvia presentados en el **capítulo 3** de este reporte muestran que este recurso es altamente sensible a los cambios proyectados, pues se esperaría una reducción en la disponibilidad de agua de entre el 12 y el 30 % con respecto a los valores actuales.

La capacidad adaptativa de los sistemas naturales puede definirse a través del concepto de resiliencia, es decir, la capacidad de un sistema ecológico de ‹‹afrontar un suceso, tendencia o perturbación peligroso respondiendo o reorganizándose de modo que mantenga su función esencial, su identidad y su estructura, y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación›› (IPCC, 2014a). De acuerdo a FAO (2012) existe evidencia de que los ecosistemas grandes y saludables son también más resilientes, por lo que los procesos de deterioro y fragmentacion de estos reducen su capacidad de adaptarse al cambio climático. Entre los grandes procesos de degradación y agotamiento de los sisemas ambientales que se han documentado para el país, y que se han agravado paulatinamente en las últimas dos décadas, pueden mencionarse (Iarna-URL, 2012; INE, 2015a; MARN, 2017): i) la pérdida sostenida de la cobertura forestal, con una tasa récord de deforestacion bruta para el país que alcanzó un promedio anual de 132 000 ha entre 2006 y 2010; ii) la contaminación constante de los cuerpos de agua que reciben más de 10 000 millones de metros cúbicos de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento; iii) la degradación y pérdida de los suelos; iv) la disminución sostenida de las poblaciones silvestres de las zonas marino costeras; y v) los altos niveles de proliferación de basureros clandestinos.

4.5 Gasto nacional en cambio climático

El gasto nacional en cambio climático es ejecutado por siete principales actores, cinco de ellos son instituciones del sector público (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Instituto Nacional de Bosques, Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres) y dos pertenecen al sector privado (cooperación internacional e iniciativa privada) (Villagrán, 2017).

Entre los instrumentos que pretenden guiar la institucionalidad pública para implementar acciones enfocadas al cumplimiento de objetivos y resultados en el contexto de la Ley Marco de Cambio Climático (Decreto 7-2013, 2013) se encuentra el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC) (CNCC, 2016).

Villagrán (2018) identificó que el costo total para llevar a cabo el PANCC durante el periodo 2018-2032 asciende a USD 23 mil millones. De este total, se identificó que el mayor requerimiento es para inversión, con un monto de USD 17 235 millones (75 % del total), y que los USD 5 797 millones restantes (25 %) son para gasto. El componente de adaptación requiere recursos por USD 16 331 millones equivalentes al 71 % del total, mientras que para mitigación se requieren USD 6 702 millones equivalentes al 29 % del total. A pesar de la identificación del componente de adaptación como prioritario en la asignación de recursos, el gasto nacional acumulado para el periodo 2014-2017 (que equivale a GTQ 15 661 millones) fue de 84 % para mitigación **(capítulo 12)** y solamente el 16 % restante fue para adaptación (Villagrán, 2017).

El promedio anual de gasto público en cambio climático para adaptación es de GTQ 439 millones, el cual mostró una importante tendencia al alza en el presupuesto de 2017. Dentro del componente de adaptación, la gestión integrada de los recursos hídricos representa el mayor volumen de gasto para el periodo 2014-2017 (42 % del total), seguida en orden descendente por las dimensiones de agricultura, ganadería y seguridad alimentaria con un 27 %, y recursos forestales, ecosistemas y áreas protegidas con un 24 % (Villagrán, 2017).

En cuanto al gasto privado en cambio climático, la dimensión de recursos forestales, ecosistemas y áreas protegidas es la más importante por su valor promedio de GTQ 218 millones a lo largo del periodo analizado, seguida por la gestión integrada de los recursos hídricos que tiene un promedio de GTQ 97 millones para el mismo periodo (Villagrán, 2017).

En cuanto a la participación del gasto total nacional en cambio climático con relación al PIB, se observa una estabilidad interanual en el componente de mitigación durante el periodo 2015-2017 (0.8 %), mientras que en el componente de adaptación existe un leve incremento a lo largo del periodo 2014-2017 (del 0.20 % en 2014 al 0.21 % en 2017) (Villagrán, 2017).

4.6 Consideraciones finales sobre la vulnerabilidad sistémica de Guatemala

Entender la vulnerabilidad de Guatemala al cambio climático supone: i) conocer el grado de exposición al que están sometidas las poblaciones, los territorios, la infraestructura y las actividades económicas y productivas del país; ii) establecer el grado en que estos factores pueden ser afectados, de manera negativa en este caso, por las amenazas identificadas; y iii) valorar la capacidad de respuesta que, ante esas amenazas, poseen los sistemas económico, social, institucional y natural del país. Ante el aumento en el número de eventos climáticos que afectan el país (Figura 4-9), además de representar daños económicos asociados a la pérdida de activos y alimentos (Figura 4-10), el cambio climático también implica la pérdida de vidas, como se muestra en el Cuadro 4-1. Los datos de muertes y damnificados como consecuencia de eventos extremos evidencian una situación permanente de riesgo y una capacidad de respuesta relativamente baja.

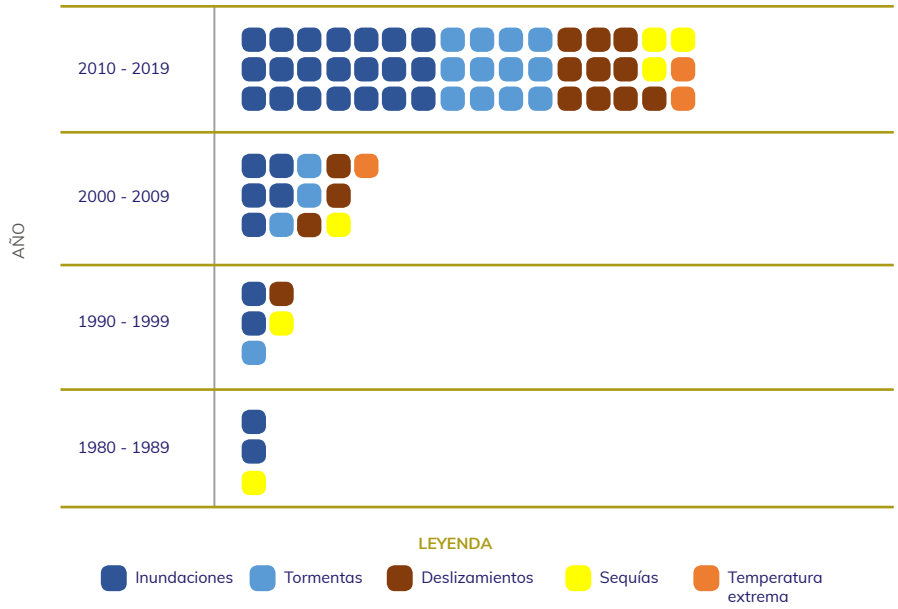


Figura 4-9 Número y tipo de eventos climáticos extremos que afectaron a Guatemala por década para el periodo 1980-2018 (Cada cuadro representa dos eventos extremos). La cantidad de eventos de inundaciones, sequías, tormentas y deslizamientos ha aumentado considerablemente en las últimas dos décadas. Elaboración propia, basado en CRED (2018).

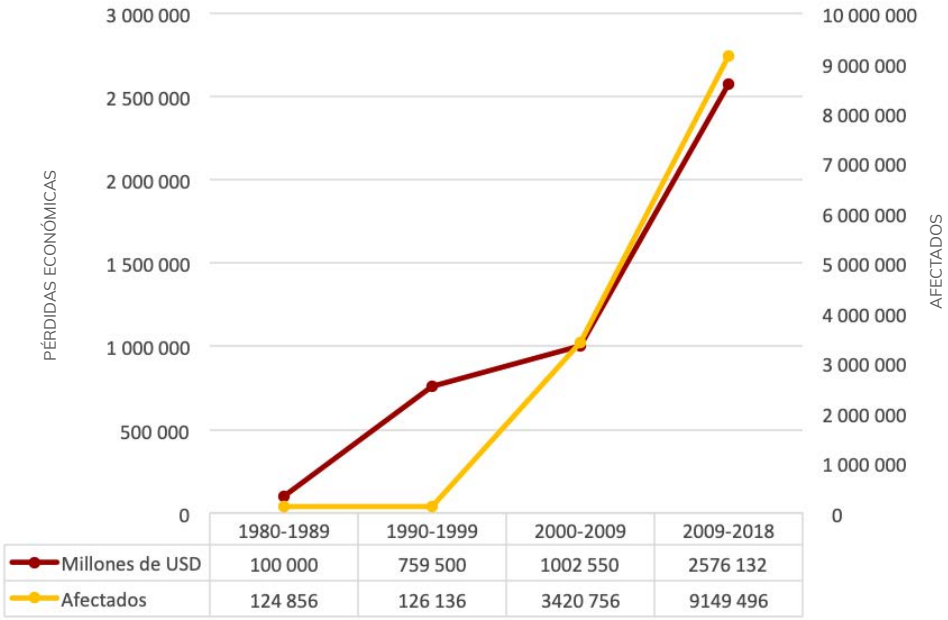


Figura 4-10 Pérdidas económicas en millones de dólares estadounidenses (eje y de la izquierda) y número de personas afectadas (eje y de la derecha) por década relacionados a eventos climáticos extremos en Guatemala, para el periodo 1980-2018. Elaboración propia, basado en CRED (2018).

Cuadro 4-1 Principales eventos extremos en los últimos 20 años y sus principales impactos en Guatemala

Año	Eventos	Personas fallecidas	Número de damnificados	Estimación de daños (millones de USD)
1998	Huracán Mitch	268	105 000	748
2005	Tormenta tropical Stan	664	285 000	983
2008	Tormenta tropical, deslizamientos, inundaciones	74	180 000	2.6
2009	Movimiento de tierra, inundación, sequía	36	73 080	14
2010	Tormenta tropical Agatha	152	104 052	650
2011	Huracán Rina	39	500 000	
2011	Depresión tropical 12-E	51	254 000	62
2015	Deslizamientos, inundaciones, epidemias	358		5
2016	Tormenta tropical, deslizamientos	10	445 628	
2017	Tormenta tropical, deslizamientos, inundaciones	20		

Nota: La estimación de daños se da en millones de dólares estadounidenses. Elaboración propia, basado en CEPAL (1999), CEPAL & SEGEPLAN (2005), CEPAL, NDF, BID & MARN (2018), EFE (2017), IARNA/URL (2019), OPS (s/f) y SEGEPLAN & CONRED (2010).

Desde los primeros reportes elaborados por el IPCC, la región centroamericana fue identificada como uno de los territorios con mayor exposición a los eventos asociados al cambio climático. Como se ha visto, Guatemala es especialmente sensible como resultado de su alta dependencia económica en actividades bastante susceptibles de ser afectadas por dicho fenómeno. Finalmente, la capacidad de respuesta del país es limitada como consecuencia de un sistema económico de crecimiento moderado y altamente concentrador de la riqueza; un sistema social empobrecido y con un reducido capital humano; un sistema institucional débil, ineficiente e inadecuado en un contexto de un contrato social fragmentado; y un sistema natural agotado y degradado (Iarna-URL, 2012).

Los siguientes capítulos (capítulos 5 al 10) del presente reporte describen con mayor detalle las necesidades y desafíos que la adaptación al cambio climático presenta de manera sectorial. Ante el escenario que se ha descrito en este capítulo es evidente que las estrategias de adaptación no podrán únicamente enfocarse en reducir el daño potencial que el cambio climático implica para Guatemala, sin atender las dinámicas profundas que explican su vulnerabilidad. En otras palabras, la adaptación requerirá de lo que el IPCC (2014a) denomina como transformación, es decir el «cambio en los atributos fundamentales de los sistemas naturales y humanos» que incluye «paradigmas, objetivos o valores reforzados, alterados o armonizados dirigidos a promover la adaptación en pro del desarrollo sostenible, en particular la reducción de la pobreza».

4.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adger, N. (1999). Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam. *World development*, 27(2), 249–269.
- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). (2013). *Tipología nacional de agricultores, con especial referencia al altiplano occidental de Guatemala*. Apoyo a políticas y regulaciones para el crecimiento económico. Guatemala SRC: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.
- Asociación de Servicios Comunitarios de Salud (ASECSA), & Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2014). *Estudio de impacto sobre la variabilidad climática en la producción agrícola y medidas de adaptabilidad en 10 comunidades rurales de Guatemala*. Guatemala.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2013). *Reflexiones sobre el desarrollo de la economía rural de Guatemala*. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Banco Mundial. (2014). *ADN económico de Guatemala. Capturando crecimiento*. Ciudad de Guatemala: Grupo del Banco Mundial.
- Banco Mundial. (2015). *Social sector expenditure and institutions review. Report 78000*. Washington, D.C.: Central America Country Management Unit, Poverty Reduction and Economic Management.
- Banco Mundial. (2018). Datos de libre acceso del Banco Mundial. Recuperado el 1 de septiembre de 2018, de https://datos.bancomundial.org/
- Biota S. A., & The Nature Conservancy (TNC). (2014). *Análisis de la vulnerabilidad ante el cambio climático en el Altiplano Occidental de Guatemala*. Guatemala: Autores.
- Boneo, H., & Torres-Rivas, E. (2000). *¿Por qué no votan los guatemaltecos? Estudio de participación y abstención electoral*. Ciudad de Guatemala: F&G Editores.
- Bouroncle, C., Imbach, P., Läderach, P., Rodríguez, B., Medellín, C., Fung, E., ... Donatti, C. I. (2015). La agricultura de Guatemala y el cambio climático: *¿Dónde están las prioridades para la adaptación?* Copenhague, Dinamarca: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Cabrera, M., Lustig, N., & Morán, H. (2014). *Fiscal policy, inequality and the ethnic divide in Guatemala. Commitment to Equity Working*. Washington, D.C.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). (2018). Emergency Events Database (EM-DAT). Recuperado el 10 de septiembre de 2018, de https://www.emdat.be/emdat_db/
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (2012). *Escenarios del impacto del clima futuro en áreas de cultivo de café en Guatemala*. Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (1999). *Guatemala: Assessment of the damage caused by Hurricane Mitch, 1998*. México.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2009). *Istmo Centroamericano: efectos del cambio climático sobre la agricultura*. México.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2010). *Evaluación de los daños ocasionados por el cambio climático*. Recuperado de https://www.cepal.org/publicaciones/xml/0/15500/l370-2.pdf
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2012). *La economía del cambio climático en Centroamérica: Síntesis*. México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2013). *Impactos potenciales del cambio climático sobre los granos básicos en Centroamérica*. México, D.F.: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Fondo Nórdico de Desarrollo (NDF), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), & Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2018). *La economía del cambio climático en Guatemala - Documento técnico 2018*. Ciudad de México. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43725/1/S1800650_es.pdf

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), & Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN). (2005). *Efectos en Guatemala de las lluvias torrenciales y la tormenta tropical Stan, Octubre De 2005*. México.

- Consejo Nacional de Cambio Climático (CNCC). (2016). *Plan de acción nacional de cambio climático*. Guatemala. Recuperado de http://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2016/10/Plan-de-Acción-Nacional-de-Cambio-Climático-ver-oct-2016-aprobado-1.pdf

- Coello, B., Reimao, M., Theis, S., & Stanley, V. (2015). The impact of migration on women's agency in agriculture: case study from Guatemala. *Annual World Bank Conference on Land and Poverty*.

- Decreto 7-2013. Ley marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero (2013). Guatemala: Diario de Centroamérica.

- Donis, J. (2017). Perfil técnico de la encuesta y sinopsis general de los hallazgos. *En Cifras y voces. Perspectivas de cambio en la sociedad guatemalteca* (pp. 13–32). Guatemala: Cara Parens.

- Downing, T., & Patwardhan, A. (2005). Assessing vulnerability for climate adaptation. En E. Spanger-Siegfried, I. Burton, E. Malone, & S. Huq (Eds.), *Adaptation policy frameworks for climate change: Developing strategies, policies and measures*. Cambridge University Press.

- EFE. (2017, enero 2). Desastres dejaron 445 628 afectados y 57 muertos durante 2016 en Guatemala. Agencias EFE. Recuperado de https://www.efe.com/efe/america/sociedad/desastres-dejaron-445-628-afectados-y-57-muertos-durante-2016-en-guatemala/20000013-3138747#

- Esquivel, M., Grunwaldt, A., Paredes, J. R., & Rodríguez-Flores, E. (2016). *Vulnerabilidad al cambio climático de los sistemas de producción hidroeléctrica en Centroamérica y sus opciones de adaptación*. Banco Interamericano de Desarrollo.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2007). 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). (2014a). *Cambio climático 2014: impactos, adaptación y vulnerabilidad - Resumen para responsables de políticas. Contribución del grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. (C. Field, V. Barros, D. Dokken, K. Mach, M. Mastrandrea, E. Bilir, ... L. White, Eds.). Ginebra: Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014b). 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 Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra (GIMBUT). (2014). *Mapa de bosques y uso de la tierra 2012 y mapa de cambios en uso de la tierra 2001- 2010 para estimación de emisiones de gases de efecto invernadero*. Guatemala.

- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33(8), 1–4. https://doi.org/10.1029/2006GL025734
- Huynh, L. T. M., & Stringer, L. C. (2018). Multi-scale assessment of social vulnerability to climate change: An empirical study in coastal Vietnam. *Climate Risk Management*, 20, 165–180. https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.02.003
- Imbach, P., Fung, E., Hannah, L., Navarro-Racines, C. E., Roubik, D. W., Ricketts, T. H., ... Roehrdanz, P. R. (2017). Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(39), 10438–10442.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2009). *Perfil ambiental de Guatemala 2008-2009: las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo*. Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (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.ashx?Id=40423
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2012). *Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012: vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2015). *Balance hidrológico de las subcuencas de la República de Guatemala*. Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad - Universidad Rafael Landívar. Guatemala.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2019). *Perfil ambiental de Guatemala 2019*. Guatemala: en proceso de publicación.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Gálvez, J., & Andrews, K. (2015). *Perfil del agro y la ruralidad de Guatemala 2014 Situación actual y tendencias*. Guatemala: Cara Parens.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) & McGill University. (2015). *Análisis sistémico y territorial de la seguridad alimentaria y nutricional en Guatemala: Consideraciones para mejorar prácticas y políticas públicas*. Guatemala: Cara Parens.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2015a). *Compendio estadístico ambiental de Guatemala 2015*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2015b). Encuesta nacional de condiciones de vida 2014. Principales resultados. Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2016a). *Encuesta de condiciones de vida 2014. Tomo I*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2016b). *Encuesta nacional agropecuaria: superficie cultivada y producción 2015*. Guatemala. Recuperado de https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/10/04/PqrbKvoTCXA0f3A-1TR7rIwL7R545pAZ4.pdf
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2016c). ENEI 3-2016. *Encuesta nacional de empleo e ingresos*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística.

- 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

- Mapplecroft. (2014). *Índice de vulnerabilidad al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe*. Corporación Andina de Comercio.

- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2015). *Segunda comunicación nacional sobre cambio climático Guatemala*. Guatemala.

- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2017). *Informe ambiental del estado de Guatemala 2016*. Guatemala. Recuperado de http://www.marn.gob.gt/Multimedios/8879.pdf

- Mora, J., Ramírez, D., Ordaz, J. L., Acosta, A., & Serna, B. (2010). *Guatemala. Efectos del cambio climático sobre la agricultura*. México, D.F.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2012). *Forest Management and Climate Change: a literature review*. Roma.

- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (s/f). Tormenta Agatha. Recuperado el 23 de enero de 2019, de https://www.paho.org/gut/index.php?option=com_content&view=article&id=210:tormenta-agatha&Itemid=247

- Red Nacional de Grupos Gestores. (2011). *El comercio interno de Guatemala*. Guatemala.

- Sánchez, S., Scott, K., & López, H. (2016). *Guatemala: Closing gaps to generate more inclusive growth*. Washington, D.C.: Banco Mundial.

- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia & Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). (2010). *Evaluación de daños y pérdidas sectoriales y estimación de necesidades ocasionados por desastres naturales en Guatemala entre mayo-septiembre de 2010*. Guatemala. Recuperado de http://www.segeplan.gob.gt/2.0/images/pdf/cepal efectos acumulados.pdf

- Villagrán, O. (2017). *Gasto nacional en cambio climático 2014-2017: integración del gasto público y del gasto privado en cambio climático*. Guatemala: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

- Villagrán, O. (2018). *Descripción del proceso y costeo del plan de acción nacional de cambio climático y estimación de la brecha financiera*. Guatemala: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

5 RECURSOS HÍDRICOS

Autores: Manuel Basterrechea[1] y Alex Guerra Noriega[2]

[1] Academia de Ciencias de Guatemala, asebaste@gmail.com
[2] Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, aguerra@icc.org.gt

Forma de citar este capítulo:
Basterrechea, M., & Guerra Noriega, A. (2019). Recursos hídricos. 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. 86–107). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Mensajes clave:

- Guatemala cuenta con abundantes recursos hídricos (la disponibilidad per cápita es de 6000 m^3 por año), pero la gestión de este provoca que exista una escasez económica de agua (baja cobertura de agua potable y solamente un embalse de regulación anual).
- El cambio climático presenta un riesgo adicional importante debido a la reducción proyectada de la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, que puede afectar el acceso de la población a cantidades adecuadas y a medios de subsistencia.
- La gestión integrada del recurso hídrico es aún incipiente y tiene muchos aspectos en los cuales mejorar, como el abastecimiento de agua a poblaciones, irrigación, control de avenidas, entre otros, previendo la disponibilidad desigual de este recurso en el tiempo y espacio.

RESUMEN

Guatemala cuenta con una oferta superficial anual de agua adecuada, pero con una gestión integrada incipiente. Ante esta situación, el cambio climático presenta un riesgo adicional importante debido a la reducción y cambios proyectados en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, que podría afectar el acceso sostenible de la población a cantidades adecuadas y a los medios de subsistencia, así como al desarrollo socioeconómico y preservación de los ecosistemas.

La gestión integrada del recurso hídrico en el país puede mejorarse de varias maneras, lo que permitirá una mejor adaptación al cambio climático. La coordinación y el fortalecimiento de las capacidades de las entidades públicas y municipalidades para generar, sistematizar y evaluar información permitiría realizar una adecuada planificación del recurso. Es recomendable contar con una ley de aguas, pero se puede seguir avanzando en mejorar la actual gestión del recurso, incluyendo la generación de información confiable antes de lograr dicha ley. El sector privado y la academia también deben seguir contribuyendo a la generación de información en coordinación mutua y con las entidades del sector público y municipalidades.

La información adecuada permitirá planificar el desarrollo de programas y proyectos de uso, aprovechamiento y conservación de los recursos hídricos; el Estado, a través de las entidades públicas relacionadas, debe formular el plan nacional de gestión integrada de estos recursos. El país cuenta únicamente con un embalse de regulación anual y es con fines hidroeléctricos, lo cual es una limitante para el aprovechamiento de la disponibilidad hídrica anual. El desarrollo sostenible del país en un escenario de cambio climático requiere de más embalses de regulación anual con múltiples propósitos, como el abastecimiento de agua a poblaciones, irrigación, control de avenidas, entre otros, debido a la desigual disponibilidad en el tiempo y en el espacio. Para lograrlo, se requerirán condiciones favorables de gobernanza, que consisten principalmente en leyes, instituciones, planificación, presupuesto, y que se incluya la participación de la población desde el inicio hasta su puesta en práctica.

Recientemente en el país, debido a los cambios en disponibilidad del recurso hídrico, sobre todo en las cuencas de la vertiente del Pacífico, se están dando condiciones favorables de gobernanza, lo cual servirá para futuros programas de aprovechamiento y usos múltiples del agua que sirvan en los procesos de adaptación a un futuro con menos lluvia y, por tanto, menos disponibilidad hídrica.

CONTENIDO

5.1 La oferta y la seguridad de los recursos hídricos de Guatemala en el contexto del cambio climático 90
- 5.1.1 Oferta superficial 90
- 5.1.2 Oferta subterránea 91
- 5.1.3 El almacenamiento superficial de agua 92
- 5.1.4 Potenciales impactos del cambio climático en la disponibilidad de los recursos hídricos 92
- 5.1.5 Retos actuales de adaptación para la seguridad hídrica ante el cambio climático 92
  - 5.1.5.1 La certeza jurídica y políticas en torno al agua 92
  - 5.1.5.2 La información y el conocimiento sobre los recursos hídricos 93
  - 5.1.5.3 La planificación hídrica a nivel nacional y regional 94
  - 5.1.5.4 Organización municipal, comunal y social 94
  - 5.1.5.5 Infraestructura verde y gris para gestionar el agua 95
- 5.1.6 Medidas institucionales y financieras para facilitar la adaptación del recurso hídrico al cambio climático 95
  - 5.1.6.1 Inversiones en el manejo del agua 95
  - 5.1.6.2 Organización de usuarios a nivel de comités de cuencas, subcuencas o microcuencas 95
  - 5.1.6.3 Canon de aprovechamiento y vertido (contaminación) 96

5.2 La demanda actual de los recursos hídricos de Guatemala en el contexto de la seguridad hídrica 96
- 5.2.1 Demanda actual a nivel nacional, por vertiente y cuencas y balance en la época seca 96
- 5.2.2 La demanda futura en los escenarios de cambio climático 97
- 5.2.3 Acciones y medidas de adaptación para contribuir a la seguridad hídrica ante el cambio climático 100
- 5.2.4 Costos estimados de los impactos al sector hídrico por el cambio climático 100

5.3 Calidad del agua 102
- 5.3.1 Tipos, niveles y fuentes de contaminación en ríos y lagos 102
- 5.3.2 ¿Qué tan grande es el reto de limpiar el agua? Calidad el agua requerida para los distintos usos 103

5.4 Conclusión 103

5.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 106

5.1 La oferta y la seguridad de los recursos hídricos de Guatemala en el contexto del cambio climático

La contribución del agua en la economía del país es directa. SEGEPLAN (2006) estimó que su aprovechamiento participa en el 70 % de las actividades que conforman el producto interno bruto (PIB). El agua para riego sirve como insumo para el 18 % del total de las exportaciones y la generación directa del valor agregado del agua es equivalente al 5.6 % del PIB.

Guatemala tiene una superficie terrestre 108 889 km^2, tres vertientes (Pacífico, mar Caribe y golfo de México) y 38 cuencas **(capítulo 1)**. Según el último balance hídrico nacional del 2003, el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH) reporta una disponibilidad hídrica total de 93 338 millones de m^3 (GWP Centroamérica, 2015), mientras que el diagnóstico de la Estrategia de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de Guatemala (SEGEPLAN, 2006), reporta un caudal total de 97 120 millones de m^3. Recientemente, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), el Fondo Nórdico de Desarrollo (NDF, por sus siglas en inglés), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2018) reportan que la disponibilidad anual es de 154 900 millones de m^3.

La relación entre la seguridad hídrica[1] y el impacto que el cambio climático puede tener en Guatemala es en dos vías. Por una parte, el cambio climático presenta riesgos significativos a través de los cambios que se puedan experimentar en la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos. Por otra parte, no contar con seguridad hídrica en el presente hace a Guatemala altamente vulnerable al cambio climático. Por lo tanto, trabajar en la seguridad hídrica es un componente fundamental para la adaptación al cambio climático.

1 Es la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas y de calidad aceptable de agua para sostener la subsistencia, bienestar humano y desarrollo socioeconómico, para asegurar la protección en contra de contaminación hídrica y desastres relacionados con el agua, y para la preservación de ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política.

5.1.1 Oferta superficial

Las tres publicaciones sobre estimaciones de la disponibilidad hídrica anual (CEPAL et al., 2018; GWP Centroamérica, 2015; SEGEPLAN, 2006) evidencian que no se cuenta con datos oficiales y precisos por falta de un sistema de mediciones meteorológicas e hidrológicas adecuado en el país. Según la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS, 2012), la disponibilidad hídrica superficial es de 63 421 millones de m^3. Este volumen anual está asociado a 459 km^2 de cuerpos de agua, de los cuales 198 son mayores a 0.1 km^2 (GWP Centroamérica, 2015).

La distribución temporal y espacial de la precipitación en el país hace que la mayor disponibilidad hídrica superficial a nivel nacional se concentre principalmente en la vertiente del golfo de México (42.1 %), donde habita la menor cantidad de personas. Esta vertiente está compuesta de 10 cuencas, en donde se encuentran los ríos de mayor caudal del país, tales como Salinas, La Pasión, Usumacinta, San Pedro e Ixcán. La vertiente del Pacífico concentra el 23.7 % del volumen disponible de agua, se distribuye en 18 cuencas en donde habita la mayor cantidad de personas y en ella se llevan a cabo las mayores actividades económicas del país. La vertiente del mar Caribe concentra el 34.2 % restante del volumen disponible de agua y está integrada por 10 cuencas (SEGEPLAN, 2006).

La población al 30 de junio del 2014 estaba proyectada en 15.6 millones de personas (INE, 2016), por lo que la disponibilidad de agua per cápita es entre 5983, 6230 y 9930 m^3/habitante/año dependiendo del valor utilizado de disponibilidad hídrica anual. En todo caso, los valores están por arriba del umbral de estrés hídrico (1700 m^3/habitante/año) y de escasez hídrica (1000 m^3/habitante/año). Esta alta disponibilidad no redunda necesariamente en bienestar para la población, ya que el acceso limitado a la infraestructura básica, específicamente al agua y al saneamiento, afecta el bienestar social y económico y, consecuentemente, la calidad de vida. Por lo tanto, existe «escasez económica» del agua (WWAP, 2012).

CEPAL (2018) indica que en la población urbana el 98 % cuenta con el servicio de agua mejorada[2] y el 95 % tiene el servicio de agua entubada. En la población rural, el servicio de agua mejorada alcanza al 90 % de la población, mientras que el de agua entubada al 68 %. Si se considera a toda la población, el servicio de agua mejorada llega al 94 % y el servicio de agua entubada al 81 %. Sin embargo, estas altas cifras de cobertura no reflejan el problema de calidad de agua. El saneamiento mejorado es un catalizador para mejorar los resultados de salud; sin embargo, casi la mitad de los guatemaltecos carecen de acceso a un saneamiento mejorado. Las estimaciones actuales indican que solo el 15 % de las fuentes de agua son desinfectadas antes de su distribución (con sistemas tradicionales, típicamente con cloro) y que menos del 5 % de las aguas residuales se trata antes de su descarga (Banco Mundial, 2017).

5.1.2 Oferta subterránea

La evaluación adecuada de la oferta del agua subterránea en Guatemala se ve obstaculizada por el hecho de que la información sobre pozos mecánicos de agua es de carácter privado y no está disponible al público. Por lo tanto, este apartado incluye algunos aspectos generales y estimaciones burdas que se han hecho.

Carlos Muñoz Palacios (1992), citado por IANAS (2012), dividió el país en cuatro regiones hidrogeológicas: a) las llanuras aluviales cuaternarias de la costa sur, consideradas las de mayor potencial; b) el altiplano volcánico de rocas terciarias y cuaternarias, en depresiones tectónicas rellenas con depósitos piroclásticos y potencial de ocurrencia a profundidades relativamente grandes; c) la cadena montañosa de las tierras altas cristalinas, de rocas ígneas graníticas y metamórficas, formación con menor recurrencia en el país; y d) la región sedimentaria del norte de rocas calizas del Cretácico karstificadas, donde el agua subterránea ocurre en conductos y cuya dinámica, a pesar de su importancia, ha sido poco estudiada. La disponibilidad anual de agua renovable se estima en 33 699 millones de m^3, los cuales están incluidos dentro de la disponibilidad total de 97 120 millones de m^3.

El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (2000) definió seis tipos de acuíferos: i) aluvión cuaternario no confinado, principalmente localizado en planicies costeras, valles de los ríos y cuencas internas. De muy poca a grandes cantidades de agua subterránea se encuentran disponibles en la planicie costera del Pacífico. Las cantidades disminuyen durante la época seca de noviembre a abril en todas partes del país, con excepción del norte. ii) Kárstico y piedra caliza cretácica fracturada, principalmente localizado en las tierras bajas y altas del Petén y en las sierras de los Cuchumatanes y Chamá. De escasas a muy grandes cantidades de agua subterránea están disponibles en los acuíferos de piedra caliza. Las mayores cantidades de agua subterránea se encuentran en áreas donde existe más disolución y fracturamiento de este tipo de piedra. Las cantidades se reducen en la época seca.

La definición sigue con los siguientes: iii) acuíferos volcánicos piroclásticos y de lava del cinturón volcánico del Pacífico, el acuífero es fácilmente recargado debido a la alta permeabilidad del medio. Hidrológicamente, esta es la unidad más importante en el altiplano volcánico y es un acuífero altamente utilizado. iv) Rocas ígneas y metamórficas de la era paleozoica, principalmente localizadas en la parte central de las tierras altas centrales, a lo largo de un cinturón de 20 a 60 kilómetros de ancho, el cual corre de este a oeste a través del país. Estas rocas son por lo general impermeables y de baja porosidad. El agua subterránea proviene principalmente de fracturas. Escasas a pequeñas cantidades de agua subterránea se encuentran disponibles en los acuíferos ígneos y metamórficos. v) Acuíferos sedimentarios terciarios y cretácicos, principalmente localizados en las planicies, lomas y montañas, en la región central del país y al norte de Petén. El agua subterránea proviene principalmente de fisuras, lechos, juntas y porosidades. Debido a la muy baja permeabilidad, esta unidad no se considera un acuífero regional. De muy poca a grandes cantidades de agua subterránea se encuentran en los acuíferos sedimentarios. vi) Sedimentos cuaternarios no consolidados, principalmente arenas, localizados a lo largo de la costa del Pacífico y del Caribe. El agua subterránea proviene

2 Es un agua que es susceptible de ser tomada sin que cause problemas de salud, pero que no cumple con los valores de ciertos parámetros requeridos por la norma COGUANOR 29001 (1985).

de los espacios vacíos en los poros de los sedimentos no consolidados; el agua dulce es escasa o inexistente (Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, 2000).

CEPAL (2018) reporta que muchos acuíferos de la vertiente del Pacífico presentan alta salinidad, la cual se ha incrementado notablemente desde el año 2005, y que su uso futuro se ve más amenazado por la posibilidad de la elevación del nivel del mar.

5.1.3 El almacenamiento superficial de agua

La capacidad para regular el agua disponible del país era del 1.5 %, lo cual equivale a alrededor de 475 millones de m^3 de agua; de este volumen, la presa de la planta hidroeléctrica Chixoy representaba el 96 % del total (SEGEPLAN, 2006). Es decir, hasta hoy solo hay un embalse de regulación anual en el país; el lago de Amatitlán es utilizado también para almacenar agua durante la época de lluvias y se cuenta para ello con compuertas en su salida hacia el río Michatoya. Las demás presas y embalses de regulación de las centrales hidroeléctricas son de regulación diaria.

5.1.4 Potenciales impactos del cambio climático en la disponibilidad de los recursos hídricos

En el **capítulo 3** de este reporte, se muestran las tendencias del conjunto de proyecciones de temperatura y precipitación, respectivamente. La proyección de temperatura muestra que, en el escenario más pesimista, se espera para Guatemala un aumento de seis grados para el año 2100 y una reducción de precipitación de más del 30 %. En el escenario más optimista, la temperatura podría aumentar 2.5 grados y la precipitación se reduciría en un 12 % aproximadamente.

Entre 1998 y 2018 el país fue impactado por una serie de desastres, que dejaron pérdidas humanas y económicas significativas, así como impactos en los recursos hídricos **(capítulo 2 y capítulo 4)**. Este tipo de fenómenos impactan en la variación de la precipitación, canícula y temperatura y, en consecuencia, en la cantidad y calidad del agua superficial y subterránea (CEPAL et al., 2018). Asimismo, hay impactos en la infraestructura para provisión de agua (puntos de captación de agua y tubería), que son destruidos por deslizamientos y desborde de ríos. Se sabe también de la contaminación de pozos artesanales por las inundaciones que se dan, especialmente en la costa sur, aunque lamentablemente no se conocen estudios sobre los niveles de contaminación ocasionados de esta manera.

En el caso de las lagunas y lagos, los efectos son mixtos; pues, por una parte, las crecidas considerables resultantes de eventos de precipitación extrema transportan volúmenes significativos de sedimentos (incluyendo basura). Por otra parte, recargan los cuerpos de agua, haciendo que el agua se almacene en los mismos y esté disponible por varios meses o años. Sin embargo, el aumento en el nivel de las lagunas y lagos también puede tener impactos negativos sobre la infraestructura que ha sido construida en sus márgenes, como ha sido el caso en el lago de Atitlán y el lago Petén Itzá.

5.1.5 Retos actuales de adaptación para la seguridad hídrica ante el cambio climático

En este apartado se exponen distintos aspectos del manejo del agua que intervienen en la seguridad hídrica y en los que se necesita trabajar para la adaptación al cambio climático.

5.1.5.1 La certeza jurídica y políticas en torno al agua

La legislación existente relacionada al agua es fragmentada y presenta numerosos traslapes, vacíos y contradicciones que dificultan su gobernanza adecuada. Por lo tanto, es necesaria una ley general para contar con la certeza jurídica y así avanzar hacia la seguridad hídrica. Desde la década de 1950, se han presentado iniciativas de ley de aguas, pero ninguna ha sido aprobada. La Constitución Política de la República de Guatemala vigente (Acuerdo legislativo 18-93, 1993) define al agua como un bien de dominio público y hace un mandato expreso (Artículo 127) sobre la creación de una ley de aguas, lo cual sigue siendo una tarea pendiente (GWP Centroamérica, 2015). Tampoco hay negociaciones bilaterales entre países, a pesar de que alrededor del 75 % de la disponibilidad hídrica anual de Guatemala va hacia los países veci-

nos. CEPAL (2018) indica que la gestión compartida de recursos hídricos está llamada a fortalecerse ante escenarios de cambio climático que podrían modificar la cantidad y calidad del agua, el transporte de sedimentos y la trayectoria de los ríos de las cuencas transfronterizas.

La falta de una ley ha impedido también la definición de un ente rector específico del agua. Se cuenta con varias instituciones que tienen competencias en la gestión del agua, como el Ministerio de Energía y Minas que autoriza el derecho del uso de fuentes de agua para hidroeléctricas y minería; el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), que autorizaba y controlaba los derechos de uso para riego agrícola y pecuario; el Instituto Nacional de Fomento Municipal (INFOM); gobiernos municipales, organizaciones no gubernamentales y la cooperación internacional, que desarrollan proyectos de agua y saneamiento; el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), que está encargado de la formulación de políticas tendientes a incrementar la cobertura y mejorar la calidad de los servicios de agua domiciliar; y el MARN, con el Consejo Nacional de Áreas Protegidas y el Instituto Nacional de Bosques (INAB), que conservan y protegen el recurso en cuerpos de agua y zonas de recarga hídrica, cada uno con diferentes propósitos y con muy bajo impacto (GWP Centroamérica, 2015). Así también, existen cinco autoridades de cuenca: Petén Itzá e Izabal (adscritos al MARN), Amatitlán y Atitlán (adscritos a la Vicepresidencia de la República) y subcuenca del río Pensativo (adscrita a la gobernación departamental de Sacatepéquez).

En síntesis, la falta de una ley general del agua dificulta de manera significativa el ordenamiento del recurso en el país y está incidiendo en que se convierta en una limitante y fuente de conflicto, en lugar de ser un elemento de progreso social y económico. Sin un marco jurídico adecuado, será extremadamente difícil planificar y poner en marcha acciones para disminuir la vulnerabilidad asociada al agua, que es probablemente el elemento que atañe a todos los sectores de la sociedad. El ordenamiento de los recursos hídricos es esencial para tomar medidas de adaptación al cambio climático (Castellanos & Guerra, 2009).

5.1.5.2 La información y el conocimiento sobre los recursos hídricos

La base para manejar cualquier recurso es la información tanto de la oferta como de la demanda. Guatemala presenta una debilidad alta en ambos tipos de información. La entidad encargada del monitoreo hidrológico es el INSIVUMEH, que debe actualizar el balance hídrico nacional y de las principales cuencas del país para conocer la oferta y demanda del recurso y su calidad. GWP Centroamérica (2015) reportó que el sistema del INSIVUMEH constaba de 68 estaciones hidrométricas, cuyo funcionamiento era irregular y variable por problemas presupuestarios en operación y mantenimiento. También contaba en ese año con una red de estaciones automáticas (adquiridas a través de un crédito del Banco Centroamericano de Integración Económica). Sin embargo, sus recursos seguían siendo muy limitados para lograr una cobertura continua, eficaz y oportuna de los niveles y caudales de los ríos. La disponibilidad y acceso de los datos por los usuarios, aunque había mejorado, requiere avances importantes.

Aparte de los datos e información, se requiere también de su análisis y de investigación sobre distintos aspectos de los recursos. En el país existen numerosos estudios, la mayoría elaborados a través de tesis universitarias. La Red de Formación e Investigación Ambiental de Guatemala (REDFIA) inició en 2018 un esfuerzo por centralizar las investigaciones relacionadas al agua y hacerlas accesibles, así como sistematizarlas para aportar a un conocimiento y comprensión del agua en Guatemala.

En síntesis, a pesar de la disponibilidad anual de agua superficial y subterránea, existen zonas y periodos con un déficit importante, que aún no pueden ser identificados con acierto porque el sistema nacional de información no produce la información hidrológica necesaria, que permita elaborar balances hídricos mensuales, sino únicamente balances promedios anuales (SEGEPLAN, 2006). Por lo anterior, la elaboración de los balances hídricos a nivel mensual de las principales cuencas, subcuencas y microcuencas del país debe ser una prioridad. Además, se debe continuar promoviendo en

los centros de investigación y universidades (Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad de la Universidad Rafael Landívar [IARNA-URL]; la Dirección General de Investigación [DIGI], Instituto de Problemas Nacionales [IPNUSAC], la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos [ERIS] y la Facultad de Agronomía [FAUSAC-USAC] de la Universidad de San Carlos de Guatemala; el Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad de la Universidad del Valle [CEAB-UVG]; el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático [ICC]; entre otros), el estudio de las causas y efectos de la situación de los recursos hídricos y de las medidas a tomar en las principales cuencas del país (SEGEPLAN, 2006).

5.1.5.3 La planificación hídrica a nivel nacional y regional

Los retos actuales en la planificación del recurso para alcanzar la seguridad hídrica son los siguientes (IANAS, 2015): i) elaborar planes de manejo de las principales cuencas del país, con involucramiento de los usuarios del agua. Existen experiencias positivas de lo realizado en la parte baja de las cuencas de los ríos Madre Vieja y Achiguate (Gobernación de Escuintla, ACH, & ICC, 2017). ii) Ordenar el aprovechamiento de los acuíferos a través de distintos instrumentos de gestión, cuya aplicación resulte del consenso entre las partes; así como favorecer la infiltración y reutilización del agua de lluvia de las áreas impermeabilizadas en áreas urbanas, empezando por la región metropolitana de Guatemala y las nueve ciudades intermedias. La iniciativa de la Fundación para la Conservación del Agua en la región Metropolitana de Guatemala (FUNCAGUA) es un esfuerzo reciente pero relevante en este aspecto. iii) Si se toma en cuenta que no se produce la información suficiente para la elaboración de balances hídricos mensuales, debido a la baja densidad de las estaciones hidrométricas y meteorológicas en el país, que son operadas por distintas entidades, es recomendable unificar la información en una sola institución como el INSIVUMEH y ampliar la red, para lo cual se debe asignar los recursos humanos y financieros.

5.1.5.4 Organización municipal, comunal y social

En Guatemala, la participación social en el tema del agua se circunscribe mayoritariamente a expresar las necesidades y demandas que la población tiene del recurso. Son pocos los casos donde, a nivel municipal, se haya interiorizado la importancia de participar en la gestión integrada de los recursos hídricos de las zonas que abastecen de agua a sus municipios (Iarna-URL & IIA, 2006). Además, la organización para el manejo del agua o las cuencas no está regulada.

Solamente dos de las autoridades de cuenca para lagos principales del país cuentan con recursos financieros significativos: la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán (AMSA) y la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE) (GWP Centroamérica, 2015). Ha habido diversas iniciativas para la formación de comités de cuencas de ríos, la mayoría promovidas por organizaciones no gubernamentales como la Fundación Defensores de la Naturaleza, que estableció la organización por cuencas como un eje de trabajo del Fondo del Agua en la Sierra de las Minas desde 2003.

Existen varios casos de mancomunidades que han hecho esfuerzos por el manejo integrado de cuencas. Entre las que destacan están la Mancomunidad de la Gran Ciudad del Sur, en la cuenca de lago de Amatitlán, conformada por seis municipalidades de la cuenca (sin la ciudad capital). También está la MANCUERNA, en la cuenca del río Naranjo, la MANCTZOLOJYA y MANKATITLAN; cada una integra a un grupo de municipios en la cuenca del lago de Atitlán para proteger el lago y mejorar la infraestructura básica de agua. Asimismo, la mancomunidad COPAN-CHORTI, en Río Grande de Zacapa, ha logrado un buen manejo del recurso hídrico y un incremento en la cobertura de servicios básicos. El INAB ha promovido iniciativas de pagos por servicios ambientales en diferentes municipios para proteger las zonas de recarga hídrica (GWP Centroamérica, 2015).

5.1.5.5 Infraestructura verde y gris para gestionar el agua

La iniciativa de la FUNCAGUA es un mecanismo financiero para invertir en infraestructura verde (protección de suelos, bosques y aguas; mejores prácticas de sistemas productivos; infraestructura de cosecha de agua y recarga hídrica; fortalecimiento a la gobernanza e institucionalización; educación para el ahorro del agua). La iniciativa prevé que los grandes usuarios del agua estén dispuestos a poner recursos financieros para fortalecer el fondo. Además, con el fin de diseñar y poner en marcha la FUNCAGUA, se ha constituido un grupo promotor en donde participan siete empresas privadas, que aportaron el capital semilla y The Nature Conservancy (TNC) como brazo técnico. La fundación ha hecho alianzas con autoridades, gobiernos locales, instituciones académicas y organizaciones no gubernamentales, con quienes implementa acciones de conservación del agua.

La infraestructura gris contempla rehabilitar y construir plantas de tratamiento y entrenar a técnicos que operen los sistemas de tratamiento, empezando en las principales cabeceras municipales del país. La inversión millonaria que se requerirá deberá ser compartida con los generadores a través de cánones por vertido.

5.1.6 Medidas institucionales y financieras para facilitar la adaptación del recurso hídrico al cambio climático

5.1.6.1 Inversiones en el manejo del agua

GWP Centroamérica (2015) documentó algunos datos sobre las inversiones que se han hecho en distintos años: En el 2006 se alcanzó una inversión de más de USD 120 millones para el sector agua y saneamiento. En el año fiscal de 2012, el INFOM solicitó al Ministerio de Finanzas un presupuesto de GTQ 789 millones (aproximadamente USD 100 millones) para proyectos de agua y saneamiento, de los cuales fueron autorizados GTQ 245 millones (USD 30 millones). No solo la asignación representó el 30 % del total, sino que también la ejecución de dichos fondos fue del 35 % (MARN, 2013). En el año 2013, según el Ministerio de Finanzas, se invirtió alrededor de USD 0.5 millones en sistemas de riego y otros USD 23 millones en agua y saneamiento. Se estima que, en políticas y manejo de cuencas, incluidos los presupuestos de las autoridades de cuenca, se invirtieron unos USD 6 millones (MINFIN, 2013 citado por GWP Centroamérica [2015]).

Existen otras inversiones que se han hecho, pero que es difícil conocer, puesto que las cuentas nacionales no facilitan la contabilidad de estas. Los datos anteriores implican una reducción continua de los gastos de gobierno en el manejo de agua, que, aunada a una ejecución deficiente, implican una disminución alarmante de los recursos financieros estatales dedicados al recurso hídrico (GWP Centroamérica, 2015).

La inversión en el manejo del agua, que ayude al país a adaptarse al cambio climático, deberá incluir la infraestructura para almacenamiento, conducción, tratamiento antes y después de utilizar el agua, administración, monitoreo e investigación, gestión de cuencas, y protección de fuentes de agua. Por su envergadura, algunas de dichas inversiones solamente pueden hacerse a través del Estado, como en el caso del almacenamiento del agua. En otros casos, podrá haber una combinación de fondos públicos y recursos de los usuarios del agua. Los costos de no manejar el agua adecuadamente pueden ser mucho más altos para todos los sectores de la sociedad (CEPAL et al., 2018).

5.1.6.2 Organización de usuarios a nivel de comités de cuencas, subcuencas o microcuencas

En la época seca (enero a mayo) del año 2016, los caudales de los ríos Madre Vieja, Ocosito y Achiguate, de la vertiente del Pacífico, fueron insuficientes para suplir la demanda de agua de los distintos usuarios, por lo que hubo conflictos entre las agroindustrias y las comunidades. Para resolverlos, en 2016 se conformaron comités y mesas técnicas con comunidades, autoridades municipales, gobernación departamental, organizaciones no gubernamentales y empresas; el tipo y conformación de cada comité varió según la cuenca. Entre

los logros de las mesas técnicas estuvieron contar con un inventario de usuarios, aforos en puntos estratégicos para llegar a contar con series temporales de cantidad y que el agua de los ríos llegara a desembocar al océano Pacífico. Los comités continúan su trabajo a la fecha, logrando mecanismos para coordinar acciones que hagan posible utilizar el agua y asegurar que los ríos lleguen a su desembocadura, lo cual incidió en que bajaran los niveles de conflictividad (Gobernación de Escuintla et al., 2017; ICC, 2017).

En el país, hay otras experiencias positivas, como cuando los usuarios de la cuenca de un río aportan recursos financieros y en especie para que se mantenga el volumen y la calidad del agua. Guerra y Alvarado (2006) y Guerra y Reyes (2008) describen la experiencia del pago por servicios ambientales en las cuencas de la Sierra de Las Minas hacia el valle de San Jerónimo y en la subcuenca del río Ixtacapa, respectivamente (IANAS 2018).

De 2015 a 2017, el INAB promovió y fortaleció cinco mecanismos de pago por servicios ambientales (PSA) hídricos en diferentes zonas del país: Olintepeque y Concepción Chiquirichapa en Quetzaltenango; Esquipulas Palo Gordo en San Marcos; Finca Nacional El Durazno en San Jerónimo, Baja Verapaz; y Los Amates, Izabal (INAB, 2017, citado por IANAS [2018]).

5.1.6.3 Canon de aprovechamiento y vertido (contaminación)

El actual reglamento de descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos (Acuerdo gubernativo 236-2006, 2006) tiene varias deficiencias, su aplicación es ineficaz y, en muchos aspectos, no mejoró lo que se había estipulado en los reglamentos previos de 1989, pero sobre todo del 2005. El reglamento actual exige menor calidad de agua del efluente final del ente generador, no diferencia a los cuerpos de agua receptores, no distingue los tipos de industria, no incluye la medición de la demanda química de oxígeno (DQO) ni patógenos (bacterias entre otros), los periodos de cumplimiento de las distintas fases son más largos[3], se redujeron las categorías de reúso de agua residual, no define periodicidad al MARN para realizar los controles de descargas de aguas residuales y crea confusión en cuanto a las competencias del MARN y del MSPAS en el control de aguas residuales, entre otras carencias (Siguí, 2016, citado por IANAS [2018]).

5.2 La demanda actual de los recursos hídricos de Guatemala en el contexto de la seguridad hídrica

5.2.1 Demanda actual a nivel nacional, por vertiente y cuencas y balance en la época seca

La demanda de agua a nivel nacional, al igual que lo indicado para la oferta, ha sido estimada en tres estudios diferentes y con resultados distintos.

Un primer estudio, publicado en el 2006, indicó que la demanda fue de 9596 millones de m^3, de los cuales el 53.6 % fue para usos consuntivos y el restante 46.4 % para no consuntivos. Del total del agua para usos consuntivos que se utilizaba en el 2006, un 16.2 % fue para consumo humano, el 6.7 % para la industria, el 76.9 % para riego y el restante 0.2 % para otros usos. Del agua total ofertada para esa fecha, solo el 9.9 % era demandada. La demanda con respecto a la oferta en la vertiente del Pacífico era del 23.3 %, el 4.4 % en la del golfo de México y el 7.4 % en la del mar Caribe (SEGEPLAN, 2006).

Un segundo estudio de la demanda, basado en el estudio de cuentas ambientales del Banco de Guatemala y el IARNA (2009), indicó que la utilización anual de agua en 2010 representó el 22 % de la oferta hídrica disponible anualmente para Guatemala. De los 20 373.88 millones de m^3, el 37.5 % (7 643.17 millones), fueron empleados por la industria, incluida la agroindustria. Por otro lado, las actividades agropecuarias y silviculturales usaron el 31.9 % (6 496.56 millones de m^3) de los recursos hídricos del país. El otro usuario importante, aunque su uso no es consuntivo, es la generación hidroeléctrica, que utiliza un estimado de 24.8 % (5000 millones de m^3).

3 El anterior del 2005 solo otorgaba seis años en dos etapas, ahora son cuatro etapas de cinco años y la última es a 2024. Además, se han dado tres ampliaciones de dos años cada una a las municipalidades para su cumplimiento.

Por su parte, el consumo doméstico fue apenas un 2.3 % (alrededor de 461 millones). El resto de las actividades consume un 3.5 % del total.

Un tercer informe, CEPAL (2018), reportó que la extracción anual es de 5140 millones de m^3. El uso agrícola demanda el 77 %, el municipal (abastecimiento humano) el 16.2 % y el industrial el 8.7 % restante.

A pesar de la alta disponibilidad anual de agua superficial y subterránea existen evidencias de problemas, como la existencia de algunos ríos secos en algunas cuencas de la vertiente del océano Pacífico, además del incremento de las demandas de la población por un mejor servicio de agua potable, especialmente en el área metropolitana de Guatemala, y los crecientes conflictos por el uso del agua en varios puntos del país. Hay zonas y periodos con importantes déficits, que aún no pueden ser identificados con acierto porque, como se indicó, el sistema nacional de información aún no produce la información hidrológica necesaria, consistente en balances mensuales (SEGEPLAN, 2006).

Efectivamente, el hecho de que el régimen hidrológico depende exclusivamente de la lluvia y el almacenamiento subterráneo, además de que la lluvia se presenta en promedio durante seis meses, hace que la diferencia entre el flujo de los ríos durante el periodo de lluvias y el del periodo seco sea muy significativa. Al comparar la disponibilidad anual por habitante, se tiene que la del golfo de México es seis veces mayor que la del Pacífico y dos veces mayor que la del mar Caribe; sin embargo, en el mes más seco, la relación es de cuatro y dos veces, respectivamente (SEGEPLAN, 2006).

Por otra parte, la distribución espacial de la lluvia es muy irregular y la disponibilidad natural del agua no coincide exactamente con las demandas. En las regiones localizadas en las partes altas de las cuencas y que reciben menor precipitación, la ocurrencia de agua como flujo superficial es menor y es ahí donde precisamente se asienta la mayor cantidad de población del país, como es el caso del área metropolitana de Guatemala, 10 de las 22 cabeceras departamentales más pobladas del país y más de 130 de las 340 cabeceras municipales (SEGEPLAN, 2006).

Dado el capital hídrico del país y el total de demandas consuntivas, se tiene un superávit original de 87 524 millones de m^3; a ello se le suman los volúmenes de uso no consuntivo, los de aguas contaminadas y de retorno, lo cual da un saldo anual de 94 984 millones de m^3. Sin embargo, por falta de tratamiento de las aguas residuales e incapacidad de las fuentes de diluir por completo la contaminación, se convierten en agua disponible de baja calidad (SEGEPLAN, 2006). CEPAL (2018) estimó que la intensidad de uso es baja, solo se demanda el 3.32 % de la disponibilidad total.

5.2.2 La demanda futura en los escenarios de cambio climático

La demanda para todos los usos consuntivos y no consuntivos estimada para el 2025 en el escenario tendencial se ha estimado en 17 796 millones de m^3, de los cuales el uso consuntivo alcanzaría 10 499 millones y la demanda de uso no consuntivo se estima en 7298 millones. El consumo de los anteriores volúmenes de agua generará un total de 2557 millones de m^3 de aguas contaminadas en el país, con las secuelas que esta situación representa, y un volumen de aguas de retorno del riego de 2935 millones (SEGEPLAN, 2006). Si bien hay una distribución de la disponibilidad por cuenca, debido a la falta de un catastro de usuarios y derechos, la estimación de la demanda por cuenca se hace muy difícil (GWP Centroamérica, 2015).

En la época de estiaje, la situación será conflictiva para la vertiente del Pacífico, ya que para el año 2025, el mes más seco podría encontrarse en la situación siguiente: la oferta o capital hídrico será de 755 millones de m^3, pero si se descuenta un caudal ecológico equivalente al 25 %, será de 566 millones; y el uso consuntivo alcanzará 1056 millones, es decir, un déficit de agua de 301 o 490 millones (sin y con caudal ecológico). Además, el uso de agua para generación eléctrica requerirá de 217 millones de m^3 y se generarán 379 millones de m^3 de aguas contaminadas. Esto último implica que en algunos puntos de las cuencas el agua fluiría en los ríos casi como aguas negras (SEGEPLAN, 2006). De convertirse en realidad esta situación, haría que la vulnerabilidad climática sea más alta.

El área potencial irrigable para usos productivos agrícolas es de 2.6 millones de hectáreas y, según el censo agrícola del año 2003, solamente se encontraban bajo riego 311 557 ha. Según la Política de Promoción del Riego 2013-2023 (MAGA, 2013), se estima que para el año 2012 eran un total de 337 471 ha bajo riego, de las cuales 86 % pertenecían al sector empresarial, 5 % al miniriego, 3 % a las unidades de riego y 6 % al riego artesanal. Con base en las áreas y según los datos del IARNA, el volumen anual de consumo de agua bajo riego es de 6496 millones de m^3, es decir 31 % de la demanda (Iarna-URL, 2012).

Para evaluar los impactos del cambio climático en los recursos hídricos, CEPAL (2018) reporta los escenarios futuros de disponibilidad de agua sin cambio climático y bajo los escenarios de emisiones B2 y A2, los cuales se muestran en el Cuadro 5-1.

Cuadro 5-1 Evolución de la disponibilidad total de agua renovable de acuerdo con los escenarios B2 y A2 para los años 2000-2100

	Años						Variación (porcentajes)				
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	154.9	154.9	154.9	154.9	154.9	154.9	0	0	0	0	0
B2	145.5	147.2	150.9	137.0	124.3	103.3	1	4	-6	-15	-29
A2	134.0	128.6	140.7	100.9	92.2	51.1	-4	-5	-25	-31	-62

Nota: Los datos se presentan en miles de millones de m^3 por año y variación porcentual respecto al promedio 2000-2004 para cada escenario. El escenario B2 se considera el escenario optimista, mientras que el A2 se considera el escenario pesimista. Tomado de CEPAL (2018), con base en datos de CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2011).

El escenario base tiene una disponibilidad total de agua renovable de 154 900 millones de m^3; en el escenario B2, las variaciones serían del -4 % al 2030, -6 % para el 2050 y -29 % para el 2100; y en el escenario A2, las variaciones serían del -5 % al 2030, -25 % para el 2050 y -62 % para el 2100. Los índices que se usaron y que se basan en un cálculo simplificado de la disponibilidad de agua renovable son la disponibilidad de agua per cápita y la intensidad de uso o de estrés hídrico (Jiménez y Asano, 2008, citado por CEPAL, [2018]).

Los escenarios de demanda de agua se muestran en el Cuadro 5-2 y se diseñaron a partir de la demanda consuntiva de agua en 2005, considerando la homogeneidad, calidad y disponibilidad de la información por sector en función del escenario macroeconómico base sin cambio climático: agua municipal (crecimiento poblacional y se mantiene la dotación per cápita actual); agrícola: crecimiento del PIB sectorial y del consumo de agua por unidad del PIB actual; e industrial: solo se consideró el crecimiento del sector. La tendencia de la demanda total sería creciente en todos los escenarios, lo que indica mayor presión sobre el recurso (CEPAL et al., 2018) y mayor sensibilidad a la variabilidad y cambio climático.

Según CEPAL (2018), el sector municipal en el escenario base muestra una demanda de agua creciente hasta 2050, que luego se torna plana y empieza a declinar en los años cercanos a 2100, como resultado de una menor tasa de crecimiento demográfico. La demanda podría crecer 89 % para 2030 y hasta 168 % en 2100, comparada con la del 2000. En los escenarios B2 y A2, la demanda sería creciente todo el periodo: un aumento del 200 % en B2 y del 234 % en A2 para finales de siglo. El incremento de la demanda futura de agua del sector municipal es menor que el de la industria y el de la agricultura.

Según CEPAL (2018), el sector agrícola, que predomina en el escenario base, crecería 144 % en 2030 y hasta 1882 % en el 2100; además, representaría 79 % y 88 % de la demanda total, respectivamente. En los escenarios B2 y A2, la demanda aumentaría 25 % y 28 % más que en el escenario base en 2100, respectivamente. El sector industrial proyecta una tendencia creciente en el escenario base, con un incremento de 2200 % para el 2100. En el escenario A2, la distribución del consumo a final del siglo podría ser 90 % agrícola, 8 % industrial y 2 % municipal. El incremento de la demanda de agua de sectores específicos debe considerarse en la toma de decisiones, ya que se prevén aumentos de entre una quinta y una cuarta parte aun sin cambio climático (CEPAL et al., 2018).

Cuadro 5-2 Evolución de la demanda de agua total, municipal, agrícola e industrial de acuerdo con los escenarios B2 y A2 para los años 2000-2100

a) Demanda total

							Variación respecto al año 2000 (porcentaje)				
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	5140.6	9259.9	12 44.8	21 20.0	38 594.7	90 843.2	90	140	324	651	1667
B2	5114.8	10 878.0	14 35.3	26 21.7	46 976.7	110 86.6	113	184	411	818	2070
A2	5118.3	10 893.0	14 67.3	25 23.4	46 723.7	113 84.6	113	183	406	813	2119

b) Demanda municipal

							Variación respecto al año 2000 (porcentaje)				
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	746.5	1169.9	1412.8	1809.6	2039.5	1999.7	57	89	142	173	168
B2	738.2	1194.3	1475.7	1936.7	2264.8	2217.3	62	100	162	207	200
A2	741.6	1208.7	1444.5	1918.9	2293.7	2473.9	63	95	159	209	234

c) Demanda agrícola

							Variación respecto al año 2000 (porcentaje)				
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	4010.3	7270.2	9801.1	17 921.1	32 719.4	79 488.0	81	144	347	716	1882
B2	3953.9	8862.2	11 925.3	22 095.7	40 876.1	99 413.8	124	202	459	934	2414
A2	4010.3	8862.9	11 888.5	21 915.2	40 594.2	101 594.2	121	196	446	912	2437

d) Demanda industrial

							Variación respecto al año 2000 (porcentaje)				
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	402.9	819.8	1130.9	2089.3	3835.8	9355.5	103	181	419	852	2222

Nota: a) Evolución de la demanda de agua total de acuerdo con los escenarios B2 y A2 para los años 2000-2100. b) Evolución de la demanda de agua municipal de acuerdo con los escenarios B2 y A2 para los años 2000-2100. c) Evolución de la demanda de agua agrícola de acuerdo con los escenarios B2 y A2 para los años 2000-2100. d) Evolución de la demanda de agua industrial de acuerdo con los escenarios B2 y A2 para los años 2000-2100. Los datos se presentan en miles de millones de m^3 por año y variación porcentual respecto al año 2000 para cada escenario. En el escenario B2, se considera una disminución en la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial; mientras que el escenario A2 prevé un aumento significativo en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero. Adaptado de CEPAL (2018), con base a datos de CEPAL, CCAD/SICA, IKAID y DANIDA (2011).

La evolución del índice de intensidad de uso del agua en el país se muestra en el Cuadro 5-3. La literatura internacional acepta que una intensidad de uso superior al 20 % del total de agua renovable disponible coloca a un país en situación crítica (WRI, 2009 citado por CEPAL [2018]).

Cuadro 5-3 Evolución del índice de intensidad de uso del agua de acuerdo con los escenarios B2 y A2 para los años 2000-2100

Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100
Base	3.32	5.98	7.97	12.09	24.92	58.65
B2	3.35	8.14	9.39	26.55	66.55	162.76
A2	3.29	7.90	8.62	19.94	52.57	251.03

Nota: Los datos se muestran en porcentajes. En el escenario B2, se considera una disminución en la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial; mientras que el escenario A2 prevé un aumento significativo en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero. Tomado de CEPAL (2018), con base en datos de CEPAL, CCAD/SICA, IKAID y DANIDA (2011).

En el escenario base (año 2000), el índice de intensidad del uso del agua[4] era del 3.32 %, sería 7.97 % en 2030 y llegaría a 58.65 % en 2100. Estos porcentajes resultan mucho mayores en los escenarios de cambio climático: 9.39 % en el 2030 y 162.76 % en el 2100 en el escenario B2, y 8.62 % en el 2030 y 251.03 % en el 2100 en el escenario A2. Estas situaciones colocarían al país en situación crítica desde la mitad del siglo (CEPAL et al., 2018).

5.2.3 Acciones y medidas de adaptación para contribuir a la seguridad hídrica ante el cambio climático

Las medidas técnicas a utilizar en diversos sectores para avanzar en la seguridad hídrica son medidas de adaptación al cambio climático. Son escasas las prácticas en manejo del agua que ya están siendo utilizadas o que han sido identificadas y que se encuentran documentadas en la literatura científica. Las que se conocen están incluidas en informes técnicos elaborados en su mayoría por organizaciones no gubernamentales, entidades de cooperación e instituciones de investigación que han ejecutado proyectos de desarrollo, de ambiente o de acción climática. Algunos ejemplos son los siguientes: las prácticas comunitarias en manejo del agua en el Altiplano Occidental, impulsadas y documentadas por el proyecto de USAID Nexos Locales (2017); las prácticas en manejo del agua como medidas de adaptación al cambio climático en los cultivos de maíz y frijol, documentadas por el ICC (2014); las prácticas de adaptación al cambio climático para la regulación del ciclo hidrológico, que incluyen la conservación de suelos y agua, y el manejo de los cultivos (USAID CNCG, 2017); y las alternativas de adaptación identificadas para el corredor seco (CCAFS, CIAT, & MAGA, 2015). La gran mayoría de dichas prácticas se enfocan en el área rural, en los cultivos (especialmente de productores en condición de subsistencia e infrasubsistencia) y en el paisaje.

A una escala mayor, se ha señalado que la construcción de obras de regulación de caudales contribuirá a enfrentar el cambio climático, buscando proveer agua a sitios con estrés hídrico y reducir los efectos por el exceso de agua (Castellanos & Guerra, 2009). Entre dichas obras están los embalses, que pueden (y debieran) ser multiusos, destinados no solo para generación hidroeléctrica, sino también para riego, abastecimiento de agua a poblaciones y control de caudales pico durante la época lluviosa, lo cual reduciría desastres relacionados con las inundaciones. La promoción de las obras de regulación es una de las medidas propuestas en la estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos (SEGEPLAN, 2006).

El manejo de la demanda del agua es también una medida importante para alcanzar la seguridad hídrica. A través de un uso óptimo por la mejora de los sistemas y la implementación de tecnología, puede haber reducciones en el uso del agua a nivel agrícola, industrial y doméstico (Castellanos & Guerra, 2009). El beneficio del aumento en eficiencia es doble, puesto que, por una parte, se ejerce menos presión por extracción del agua de las distintas fuentes y, por otra, se reduce el volumen de agua contaminada. Los mismos autores también argumentan que la reutilización del agua es una medida que debe adoptarse.

5.2.4 Costos estimados de los impactos al sector hídrico por el cambio climático

CEPAL (2018) reportó los costos del cambio climático, calculando la diferencia de los costos por empleo de agua entre el escenario base y los escenarios con cambio climático. En la estimación se realizaron las siguientes consideraciones:

- El costo de recurrir a nuevas fuentes, debido al incremento de la demanda por cambio climático, respecto de la demanda prevista sin cambio climático. El costo se obtiene de las tarifas de las nuevas fuentes, considerando que aumentarán con el tiempo. Dicho incremento reflejará el costo de transportar el agua desde mayores distancias (trasvases) y/o de usar agua de menor calidad.

- El déficit de uso, que es igual a la disponibilidad menos el uso, se calcula como volumen en m^3, multiplicado por la tarifa de cada uso, la cual se supone constante en este análisis.

4 El índice de intensidad de uso del agua mide el agua renovable disponible, que incluye la cantidad que escurre o se almacena en cuerpos superficiales o acuíferos y puede ser fácilmente utilizada, pero no incluye agua recibida de ríos transfronterizos o por desalinización de agua del mar.

- El costo de mermar el volumen ecológico disponible, que representa la pérdida de capital ambiental. Este cálculo está hecho con el volumen ecológico de referencia (volumen ecológico inicial) menos la capacidad de dotación con cambio climático (disponibilidad total renovable con cambio climático menos uso total con cambio climático).

- El costo del cambio climático es calculado mediante la resta del costo de los escenarios del costo del escenario base sin cambio climático. Los cálculos se hicieron a precios constantes del año 2000.

Se estimaron los costos asociados al cambio climático según la tendencia de la demanda de agua por sectores y la disponibilidad total de agua renovable (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011, citado por CEPAL [2018]) para garantizar el abasto ante un alza de la temperatura media y una menor disponibilidad de precipitación.

Los costos acumulados se calcularon a Valor Presente Neto (VPN) con tasas de descuento del 0.5 %, 2 % y 4 %[5], como porcentaje del PIB del 2008. Las cifras correspondientes permitieron estimar el costo del impacto del cambio climático sobre el recurso hídrico en el periodo 2008-2100. Los costos estimados fueron calculados a valor corriente por las tarifas crecientes, para después estimar los costos a valor constante considerando una tasa de inflación a largo plazo de 3.5 % para Guatemala. Los costos no consideran subsidios (CEPAL et al., 2018). Las estimaciones de los costos totales por abastecimiento de agua bajo los escenarios B2 y A2 se presentan en el Cuadro 5-4.

En el escenario B2 se observa que con una tasa de descuento del 0.5 % se tendrían costos del 0.96 % del PIB para 2030 y de hasta el 6.26 % para el 2100. Con una tasa de descuento del 2 %, resultaría un costo del 2.94 %. Con una tasa del 4 %, los costos podrían llegar a 1.40 % del PIB. Bajo el escenario A2 con una tasa de descuento del 0.5 %, se tendría un costo de hasta el 12.95 %, mientras que con una tasa del 4 %, se podría llegar al 1.96 % del PIB.

Cuadro 5-4 Estimación inicial del costo acumulado del impacto de cambio climático, para los escenarios A2 y B2, en los recursos hídricos a 2100

Escenario	Tasas de Descuento	2020	2030	2050	2070	2100
B2	0.50	0.51	0.96	2.05	3.35	6.26
	2.00	0.46	0.80	1.47	2.06	2.94
	4.00	0.41	0.65	1.00	1.21	1.40
A2	0.50	0.59	1.06	2.46	4.11	12.95
	2.00	0.52	0.88	1.72	2.47	5.12
	4.00	0.45	0.69	1.14	1.40	1.96

Nota: Los datos se presentan en porcentaje del producto interno bruto de 2008 a valor presente neto. En el escenario B2, se considera una disminución en la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial; mientras que el escenario A2 prevé un aumento significativo en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero. Tomado de CEPAL (2018), con base en datos de CEPAL, CCAD/SICA, IKAID y DANIDA (2011).

5 Las tasas de descuento estiman el valor actual de los costos futuros. El valor de la tasa de descuento refleja el porcentaje en que una unidad de beneficios presentes es más valiosa que esa misma unidad en un momento futuro. Una tasa de descuento más elevada supone un mayor descuento en el futuro, lo que muestra una mayor indiferencia hacia las generaciones futuras y un mayor apego al consumo actual (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011 citado por CEPAL [2018]).

5.3 Calidad del agua

La calidad de agua de algunos de los ríos y lagos es medida en forma sistemática por varias instituciones como AMSA, el INSIVUMEH, el MSPAS y algunas universidades. Sin embargo, los esfuerzos se limitan a áreas geográficas específicas y no a nivel nacional. Por ejemplo, el INSIVUMEH ha concentrado sus esfuerzos desde el 2007 en la cuenca del río Olopa/Güija, con datos de calidad del agua tanto superficiales como de pozos, que han revelado concentraciones preocupantes de cadmio, plomo y cromo (INSIVUMEH, 2013 citado por GWP Centroamérica [2015]). AMSA solo lo hace en los ríos que desembocan en el Lago de Amatitlán y en el propio lago (AMSA, 2003). El lago presenta altos niveles de contaminación resultante de las descargas domiciliares e industriales de la zona metropolitana de Guatemala. La Universidad del Valle de Guatemala (UVG) ha realizado estudios en la cuenca del Lago de Atitlán, a lo cual ha contribuido AMSCLAE. En la última década, estos esfuerzos han sido impulsados para monitorear los brotes de cianobacteria. El MSPAS, por su parte, hace monitoreo de los sistemas de agua doméstica. Asimismo, el MARN hace algunas mediciones, pero son más puntuales que sistemáticas. Según IARNA, en 2009 había 14 cuencas con alta contaminación física, biológica y contaminantes tóxicos (Iarna-URL, 2012).

5.3.1 Tipos, niveles y fuentes de contaminación en ríos y lagos

De toda el agua utilizada en el país, se generan anualmente alrededor de 1540 millones de m^3 de aguas residuales, las cuales en su mayoría son vertidas sin tratamiento a cuerpos de agua receptores. Alrededor del 5 % de las aguas residuales se tratan (SEGEPLAN 2007 citado por IANAS [2012]), a pesar de que se cuenta con la normativa específica desde 1989 y actualizada en el 2006 (Acuerdo gubernativo 236-2006, 2006), la cual exige el cumplimiento de cierta calidad del efluente que se descarga a los cuerpos de agua (IANAS, 2018).

Además, los residuos de los agroquímicos utilizados en la agricultura son una fuente no puntual del deterioro de la calidad del agua al ser transportados por los procesos de precipitación-escorrentía. Sin embargo, no hay regulaciones en el país para el control de las fuentes no puntuales de contaminación de los cuerpos de agua.

El cambio de uso de la tierra, sin las medidas de conservación de suelos y aguas, genera, además de la pérdida de la cobertura vegetal, erosión y sedimentación que aporta a la degradación del agua. En el país, el sobreuso de la tierra es del 25 % y la tasa de erosión potencial en las áreas sobre-utilizadas es ocho veces mayor a las subutilizadas (Coc y Vanegas, 2015 citado por IANAS [2018]).

La normativa sobre la calidad del agua para consumo humano y de descargas de aguas residuales del país (Acuerdo gubernativo 236-2006, 2006; COGUANOR, 1985) no establece parámetros para contaminantes emergentes (fármacos, disruptores endocrinos y nanopartículas) ni pruebas de ecotoxicidad, entre otros; por lo que no aseguran que estos no estén presentes (IANAS, 2018).

Por lo anterior, el deterioro de la calidad del agua es un problema grande en el país, por los efectos en la salud pública, en los ecosistemas acuáticos y en las actividades económicas. De continuar la tendencia de deterioro, la vulnerabilidad climática será mayor, puesto que la contaminación del agua limita su uso para ciertos fines.

El volumen de agua contaminada que se descarga a las cuencas proviene en un 40 % de los municipios, otro 40 % de las actividades agropecuarias, un 13 % de las industrias y el 13 % restante de las agroindustrias. Sin embargo, la carga de contaminación (toneladas de DBO o DQO al año) no guarda la misma proporción que el volumen, como lo mostró un estudio de caso, donde las agroindustrias ubicadas en dos cuencas de la vertiente del Pacífico contribuyeron con mayor carga que la generada por la población (SEGEPLAN, 2006).

5.3.2 ¿Qué tan grande es el reto de limpiar el agua? Calidad del agua requerida para los distintos usos.

La falta de cumplimiento de la reglamentación y normatividad por parte de las instituciones que por ley deben velar por la calidad del agua se derivan de una institucionalidad débil. En 2016 se estimó una población de 16 millones de habitantes para Guatemala, 53 % de los cuales vivía en las ciudades. De estos, alrededor de tres millones vivían en la ciudad capital y en los municipios vecinos, ubicados en la parte alta de cuencas de la vertiente del Pacífico y del mar Caribe, específicamente en las partes altas de las cuencas de los ríos María Linda y Motagua, donde la principal fuente de agua es subterránea.

La urbanización ha provocado la reducción de la infiltración, sobreexplotación de los acuíferos por la demanda creciente y la contaminación de las fuentes de agua por la descarga de aguas residuales sin tratamiento. En el año 2030, se estima que cerca de 70 % de la población vivirá en espacios urbanos y habrá nueve ciudades intermedias –de medio a más de un millón de habitantes– que requerirán de abastecimiento de agua y saneamiento (IANAS, 2015).

El reto de limpiar el agua requiere voluntad política, fortalecer capacidades en las instituciones para ejercer el cumplimiento de la reglamentación existente (Acuerdo gubernativo 236-2006, 2006) y fuertes inversiones financieras (IANAS, 2018).

5.4 Conclusión

Guatemala es un país privilegiado con una disponibilidad promedio de agua de entre 5983 y 12 197 m^3 per cápita al año, dependiendo de cuál de los tres balances hídricos reportados en el país se utilice. En todo caso, la disponibilidad per cápita es mayor al promedio mundial y al valor límite de riesgo hídrico (1000 m^3/habitante/año). Este hecho constituye una ventaja significativa que debe aprovecharse para construir un país resiliente.

Esta disponibilidad se caracteriza por ser desigual en el tiempo debido a los periodos de lluvia y sequía, la diferencia de precipitación entre la época seca y de lluvias, que en promedio duran seis meses cada una, y debido también a la variación interanual. Existe, además, una diferencia de disponibilidad que depende de la ubicación en el país. La demanda también presenta variaciones de acuerdo con los asentamientos humanos densos, el desarrollo industrial y la producción agrícola de riego. Considerando que existe suficiente agua en el país, el reto recae en la administración del recurso. CEPAL (2018) reportó que, con el aumento de la población y el crecimiento de las actividades productivas, la demanda de agua podría crecer un 140 % en 2030, un 324 % en 2050 y hasta un 1667 % al final del siglo en el escenario base sin cambio climático. En los escenarios A2 y B2, estos aumentos podrían llegar al 183 %, 406 % y 2119 % en los mismos cortes de tiempo. En este mismo escenario, la disponibilidad total de agua en Guatemala podría disminuir un 25 % en 2030, un 31 % en 2050 y un 62 % en 2100, respecto al año 2000. La disponibilidad de agua per cápita podría pasar de 12 197 a 1467 m^3 por habitante al año hacia el 2100 (CEPAL et al., 2018). Si se utiliza el valor de disponibilidad menor (97 120 millones de m^3 al año), en el escenario A2 al año 2100, se tendría una dotación per cápita menor al valor límite de riesgo hídrico.

La combinación de cambios en la demanda y en la disponibilidad del recurso hídrico con cambio climático aumentaría la intensidad del uso de agua en el escenario A2 en un 8.6 % en 2030, un 19.9 % en 2050 y un 251 % en 2100, si no se realizan las medidas de adaptación y ahorro.

El nivel de intensidad del uso de agua de 2100 sería muy superior al umbral del 20 % aceptado internacionalmente como crítico para el estrés hídrico (CEPAL et al., 2018). Estos datos nos indican que las presiones sobre el agua serán cada vez más fuertes, por lo que la necesidad del ordenamiento de los recursos hídricos es impostergable.

La gestión adecuada de los recursos hídricos requiere manejar el agua en ciclos cerrados y definir un volumen ecológico, que es la cantidad de agua necesaria para el mantenimiento y la reproducción de los ecosistemas, la conservación de la diversidad biológica, los bienes y servicios que estos proveen, y las reservas hídricas superficiales y subterráneas en el presente y en el futuro (CEPAL et al., 2018).

Por lo anterior, la gestión de los recursos hídricos debe implementar medidas para la mayor eficiencia del consumo, incluyendo al sector agropecuario, que es el mayor usuario, y desarrollar un plan maestro de gestión integral de recursos hídricos con portafolios de proyectos financiables. La gestión debe orientarse también a completar la cobertura del acceso al agua potable de la población que vive en situación de pobreza e impulsar programas de saneamiento y salud pública en áreas rurales (CEPAL et al., 2018).

Se listan a continuación, las necesidades y vacíos para lograr una seguridad hídrica, descritos en varios documentos especializados sobre el tema (Castellanos & Guerra, (2009); CEPAL, (2018) con base en CEPAL, CAC, COMISCA, CCAD, COSEFIN, SIECA, UKAID y DANIDA, 2015; GWP Centroamérica, [2015]):

- Completar la cobertura del acceso al agua potable de la población en situación de pobreza.

- Manejar el agua en la forma de ciclos cerrados: protección de fuentes, colección y distribución sin desperdicio ni fugas, consumo responsable; así como el tratamiento, reutilización y reciclado del agua residual para su utilización y su reintegración al ambiente, no solo como servicio de suministro y de saneamiento.

- Definir un volumen ecológico en términos del ambiente al que se aspira, referente para acciones de conservación de la diversidad biológica, bienes y servicios de los ecosistemas y de las reservas hídricas superficiales y subterráneas en el presente y en el futuro.

- En el sector municipal, controlar las pérdidas de agua y asegurar el uso final eficiente mediante tarifas progresivas y justas por volumen de consumo; ampliar y combinar fuentes de agua (reutilizadas, superficiales y subterráneas, especialmente la captura de agua de lluvia) para restaurar el caudal ecológico y recargar acuíferos y fuentes alternas de agua potable; y tratar las aguas residuales comunes.

- En el sector agropecuario, implementar opciones de ahorro y almacenamiento de agua, como estanques de almacenamiento locales, obras de conservación de suelos y aguas, incluyendo terrazas; reducir la evaporación cubriendo el suelo con rastrojo; monitorear la humedad del suelo y el agua precipitada; usar con eficiencia el agua de riego; reubicar la agricultura más sensible a zonas con la precipitación requerida; desarrollar cultivos y variedades con menor consumo de agua y más resistentes a la sequía; coordinar la planificación agrícola con la hídrica; y promover el uso responsable de fertilizantes y plaguicidas para prevenir la contaminación del agua.

- En los sectores industrial y de servicios, incluido el turismo, implementar certificaciones comerciales como la norma ISO 14000, que prevé el uso eficiente, reciclaje y no contaminación del agua; otorgar incentivos económicos y fiscales; reemplazar tecnologías de uso intensivo de agua por las de uso eficiente (por ejemplo, el beneficio seco del café y la reutilización del agua de enfriamiento en el procesamiento del azúcar); y evitar vertidos de descargas industriales sin tratar.

- Reforzar y ampliar los marcos legales impulsando mejoras progresivas a las normas nacionales y programas de pago por servicios ambientales, y de uso eficiente, ahorro, tratamiento y reciclaje del agua.

- Desarrollar un plan maestro de gestión integral de recursos hídricos con un portafolio de proyectos financiables que promuevan la integración regional.

- Integrar la planeación y el manejo del agua en cuencas hidrográficas con la coordinación en todos los niveles de gobierno, usuarios del agua y autoridades municipales y locales, para desarrollar programas de trabajo por regiones político- administrativas y asegurar su viabilidad.

- Establecer diseños y normas de infraestructura hídrica y planes de gestión flexibles ante posibles cambios estacionales, como mayor variabilidad de la precipitación y de la disponibilidad del agua a nivel espacial y temporal.

- Crear y fortalecer capacidades en las entidades públicas relacionadas con el agua para planificar una gestión integrada de los recursos hídricos, incluyendo la recopilación, manejo y ampliación de datos e información hidrometereológica, estimación de demandas, catastro de usuarios, entre otras.

- Considerar diversas escalas de presas, incluidas las minihidráulicas de abastecimiento para regiones específicas, y analizar la conveniencia de implementar proyectos de represas de usos múltiples (generación de hidroelectricidad, riego, consumo humano y gestión de flujos).

- Crear un marco de negociación social de proyectos de infraestructura hidráulica que supere la conflictividad del pasado y presente, y que permita el desarrollo equitativo y sostenible de poblaciones aledañas a las obras y en las zonas de conservación.

- Desarrollar una gestión adecuada de conflictos asociados a los embalses mediante el uso diversificado de presas y embalses reguladores: hidroelectricidad, piscicultura, ecoturismo, riego agrícola, educación ambiental, beneficios directos a pobladores del lugar y otros.

- Desarrollar campañas de información pública y alentar la participación responsable de todos los sectores, como apoyo político y social para instrumentar el uso eficiente y la protección del recurso hídrico.

5.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de locos (2006). Guatemala.

- Acuerdo legislativo 18-93. Constitución Política de la República de Guatemala (1993). Guatemala.

Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA). (2003). *Plan maestro de manejo integrado de la cuenca y del lago de Amatitlán.*

- Banco de Guatemala (BANGUAT), & Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2009). *Cuenta integrada de tierra y ecosistemas (CITE). Sistema de contabilidad ambiental y económica integrada de Guatemala.* Recuperado a partir de http://biblio3.url.edu.gt/publiclg/IARNA/divulgativa/08.pdf

- Banco Mundial. (2017). *Diagnóstico de agua, saneamiento e higiene y su relación con la pobreza y nutrición en Guatemala.* Washington, D.C. Recuperado a partir de http://documentos.bancomundial.org/curated/es/845711520948334504/pdf/124240-WP-PUBLIC-WWPDGuatemalaSP.pdf

- Castellanos, E., & Guerra, A. (2009). *El cambio climático y sus efectos sobre el desarrollo humano en Guatemala.* Cuadernos de desarrollo humano 2007/2008. Guatemala.

- CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), & Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2015). *Agricultura sostenible adaptada al clima (ASAC): alternativas para el Corredor Seco en Guatemala.* Cali, Colombia. Recuperado a partir de https://cgspace.cgiar.org/rest/bitstreams/115217/retrieve

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Fondo Nórdico de Desarrollo (NDF), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), & Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2018). *La economía del cambio climático en Guatemala - Documento técnico 2018.* Ciudad de México. Recuperado a partir de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43725/1/S1800650_es.pdf

- Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). Coguanor Ngo 29 001:99. Agua potable (1985). Guatemala.

- Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. (2000). *Evaluación de recursos de agua de Guatemala.* Recuperado a partir de http://www.sam.usace.army.mil/Portals/46/docs/military/engineering/docs/WRA/Guatemala/Guatemala WRA Spanish.pdf

- Gobernación de Escuintla, Acción Contra el Hambre (ACH), & Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). (2017). *Sistematización de la experiencia de las mesas técnicas de los ríos Madre Vieja y Achiguate en el departamento de Escuintla.* Guatemala. Recuperado a partir de https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/libro_sitematizacion_de_mesas_tecnicas_-_baja_resolucion.pdf

- Guerra, A., & Alvarado, M. (2006). *De la Sierra de las Minas al valle de San Jerónimo: acciones locales para la gestión integrada del agua.* Turrialba: CATIE.

- Guerra, A., & Reyes, L. (2008). Experiencia de participación y contribuciones de los recursos naturales en la subcuenca del Río Ixtacapa. *Revista Mesoamericana de la Conservación*, 1(2), 19–26. https://doi.org/ISSN: 1998-0493

- Global Water Partnership Centroamérica (GWP). (2015). *Situación de los recursos hídricos en Centroamérica.* Tegucigalpa. Recuperado a partir de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/srh_guatemala_2016.pdf

- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2012). *Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012: vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar.

- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL), & Asociación Instituto de Incidencia Ambiental (IIA). (2006). *Perfil ambiental de Guatemala 2006: tendencias* y reflexiones sobre la gestión ambiental. Guatemala. Recuperado a partir de https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=41022

- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2016). *Encuesta de condiciones de vida 2014. Tomo I*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística.

- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). (2014). Prácticas de adaptación a la variabilidad y cambio climático en los cultivos de maíz y frijol en Guatemala. Guatemala.

- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). (2017). *Informe de labores 2016*. Guatemala. Recuperado a partir de https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2017/04/ICC-Informe-de-labores-2016.pdf

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2013). Política de promoción del riego 2013-2023. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2013). *Informe ambiental del estado de Guatemala 2012*. Guatemala.

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (WWAP). (2012). *The United Nations World Water Development report 4: managing water under uncertainty and risk (Vol. 1)*. Paris: World Water Assessment Programme, UNESCO.

- Programa Clima, Naturaleza y Comunidades en Guatemala (USAID CNCG). (2017). *Acciones exitosas de adaptación al cambio climático y reducción* de la pobreza en el altiplano occidental de Guatemala. Recuperado a partir de http://www.usaid-cncg.org/wp-content/uploads/2018/04/Acciones-Exitosas-Final-1.pdf

- Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). (2012). *Diagnóstico del agua en las Américas*. México, D.F. Recuperado a partir de http://www.ianas.org/water/book/guatemala.pdf

- Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). (2015). *Desafíos del agua urbana en las Américas*. México, D.F. Recuperado a partir de http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002452/245202s.pdf

- Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). (2018). *Calidad del agua en las Américas*.

- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN). (2006). Política nacional de gestión integrada de los recursos hídricos y de la estrategia nacional de gestión integrada de los recursos hídricos. Guatemala. Recuperado a partir de http://cebem.org/revistaredesma/vol11/pdf/legislacion/engirh_guatemala.pdf

- USAID Nexos Locales. (2017). *Planes municipales de adaptación al cambio climático*.

6

AGRICULTURA
Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Autores: Ana Lucía Solano Garrido[1] y Wener Ochoa[2]
Autor contribuyente: Jaime Luis Carrera[3]

[1] Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala, alsolano@uvg.edu.gt
[2] Programa de Doctorado en Cambio Climático, Universidad de San Carlos de Guatemala, wenerochoa@gmail.com

[3] Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad, Universidad Rafael Landívar

Forma de citar este capítulo:
Solano Garrido, A. L., & Ochoa, W. (2019). Agricultura y seguridad alimentaria.
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. 108–141). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Mensajes clave:

- La agricultura debe evolucionar a sistemas que estén más armonizados con el funcionamiento de los ecosistemas para garantizar la seguridad alimentaria, la gestión sostenible de la tierra y del agua y la conservación de la agrobiodiversidad en un escenario de cambio climático.
- Desde lo institucional, la planificación en este sector debe buscar todas las sinergias posibles para la adaptación y la mitigación simultáneamente, evitando que las medidas de mitigación reduzcan el bienestar y la productividad de los agricultores.
- Se debe abordar el problema de inseguridad alimentaria con un enfoque sistémico e integral. Las acciones aisladas que no contemplen intervenciones en varios puntos del problema verán limitada su efectividad.

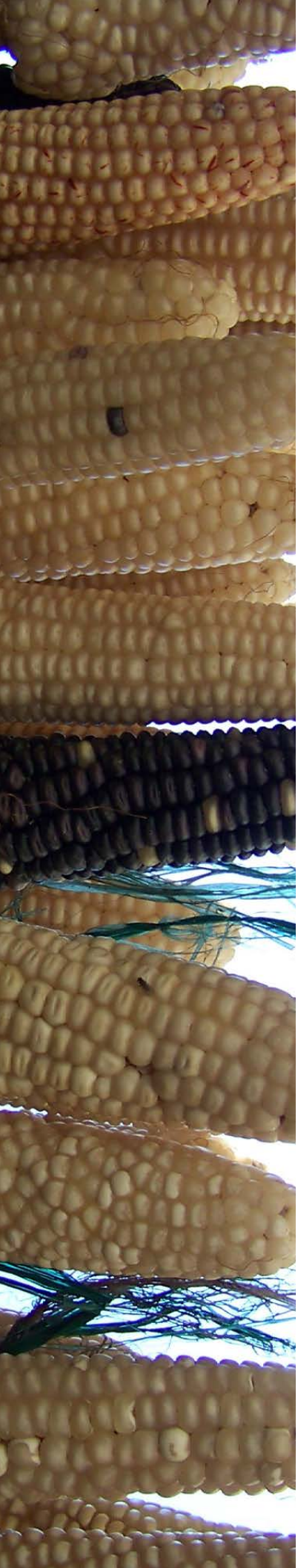
RESUMEN

La actividad agropecuaria aporta el 21 % del producto interno bruto. Constituye la principal fuente de empleo y aporta aproximadamente 36 % del total de las divisas a través de las exportaciones. En Guatemala, se identifican por lo menos tres modalidades de producción agrícola: agricultura de subsistencia campesina, la agricultura semicomercial y la agricultura de exportación. Tanto la agricultura de exportación como la de subsistencia son un desafío bajo los patrones de variabilidad climática actual, debido a que son altamente sensibles a los cambios de temperatura y lluvia. Los impactos previstos del cambio climático aumentarán la variabilidad y posibilidad de que ocurran eventos extremos como sequías, inundaciones y heladas, las cuales amenazan los medios de vida de miles de familias y la base de la alimentación del país. Sumado a los efectos, actuales y previstos del cambio climático, se debe considerar la vulnerabilidad del sistema productivo por factores como pobreza, bajos niveles de educación, incertidumbre en tenencia de la tierra, poco acceso al agua, exposición a plagas, desnutrición crónica, etc.

Aunque el sector agrícola es vulnerable, también hay oportunidades para generar nuevos modelos de producción que ayuden a adaptarse y a mitigar el cambio climático por medio de medidas sociopolíticas, financieras y técnicas con enfoque integral. La tendencia a nivel mundial muestra que la agricultura debe evolucionar a sistemas que estén más armonizados con el funcionamiento de los ecosistemas para garantizar la seguridad alimentaria, la gestión sostenible de la tierra y del agua, y la conservación de la agrobiodiversidad, la cual es la base biológica para la adaptación de la agricultura al cambio climático. Asimismo, es fundamental un sistema de gobernanza nacional que reevalúe las políticas agropecuarias actuales y promueva los mercados agroecológicos.

Desde lo institucional, la planificación en este sector debe buscar todas las sinergias posibles tanto para la adaptación como para la mitigación y evitar que las medidas de mitigación reduzcan el bienestar y la productividad de los agricultores. Es crucial trabajar de manera más articulada entre todas las entidades del Estado y también fortalecer la organización local en los territorios. La cultura de planificación y una visión a largo plazo son fundamentales para generar medidas de adaptación transformacionales.

De la mano con el tema de producción de alimentos, se debe abordar el problema de inseguridad alimentaria con un enfoque sistémico e integral. Las acciones aisladas que no contemplen intervenciones en varios puntos del problema verán limitada su efectividad.



CONTENIDO

6.1 La agricultura de Guatemala en el contexto del cambio climático 112
- 6.1.1 Potenciales impactos del cambio climático en la agricultura 113
- 6.1.2 Dinámicas en el sector agrícola que aumentan la vulnerabilidad al cambio climático 114
- 6.1.3 El sector agrícola como contribuyente a las causas del cambio climático 117

6.2 Medidas para mejorar la productividad, mitigar las causas del cambio climático y fortalecer la capacidad de adaptación en el sector agrícola 118
- 6.2.1 Adaptación basada en ecosistemas (AbE) 119
- 6.2.2 Agricultura climáticamente inteligente (ACI) 120
- 6.2.3 La agricultura orgánica 120
- 6.2.4 Acceso a información climática, prácticas agrícolas y mercados 121
- 6.2.5 Agrobiodiversidad, mejoramiento genético y el papel de la biotecnología en la agricultura 121
  - 6.2.5.1 Bancos de semillas: una medida de conservación de la agrobiodiversidad y de adaptación al cambio climático 122
- 6.2.6 La importancia de la infraestructura en el desarrollo agrícola 123
- 6.2.7 Manejo de plagas y enfermedades 124
- 6.2.8 Los conocimientos ancestrales en la agricultura 125
- 6.2.9 Diversificación de actividades agropecuarias y de ingresos 125
- 6.2.10 Manejo integrado del agua y del suelo 125
  - 6.2.10.1 Buenas prácticas agrícolas para amortiguar eventos extremos 126
- 6.2.11 Nuevas oportunidades y nuevos retos para la agricultura ante los efectos del cambio climático 126
- 6.2.12 Adaptación en los sistemas de producción animal 127
- 6.2.13 Recursos pesqueros 128

6.3 Situación actual de la seguridad alimentaria en el país 129
- 6.3.1 Medidas técnicas para la adaptación local 133
  - 6.3.1.1 Huertos familiares 133

6.4 Acciones prioritarias para lograr la sostenibilidad en la agricultura y mejoras a la situación de inseguridad alimentaria en el país 133

6.5 Vacíos de información 134

6.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 135

6.1 La agricultura de Guatemala en el contexto del cambio climático

De los 108 889 kilómetros cuadrados del territorio de Guatemala, el 38 % está cubierto por cultivos agrícolas, el 15 % por tierras con pastizales destinadas a la ganadería, el 11 % por agricultura permanente y de temporada, el 24 % por la combinación de bosques secundarios y arbustos que crecen en suelos degradados o secos, y el 5 % restante se compone de aguas continentales, pantanos y áreas urbanas (Solomons et al., 2017).

Según la Cámara del Agro (2018), la actividad agropecuaria aporta aproximadamente el 21 % del producto interno bruto (PIB) (14 % actividad agrícola y 7 % actividad pecuaria), constituye la principal fuente de empleo (75 %) y aporta aproximadamente 36 % del total de las divisas a través de las exportaciones (Banco de Guatemala, 2017). Las principales modalidades agrícolas incluyen la agricultura de subsistencia campesina, la agricultura semicomercial y la agricultura de exportación. Esta clasificación se basa en el acceso a las tierras, el tamaño de estas, el acceso a créditos, seguros, tecnología, mercado y educación (Solomons et al., 2017). Alrededor de 93 % de los productores son propietarios de una explotación agrícola de un máximo de 1.6 ha (Iarna-URL, IICA, & McGill University, 2015). Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA, 2014) los principales cultivos y sectores relacionados con la agricultura son granos básicos (principalmente maíz, frijol y arroz), banano, caña de azúcar, café, palma de aceite, caucho, cardamomo, cultivos comerciales (arveja, ejotes y brócoli), papa, mango, papaya, ganado (carne y productos lácteos), aves y el sector porcino.

Aparte de los cultivos extensivos y de exportación, los cuales cuentan con más recursos financieros y tecnológicos, gran parte de la agricultura que se realiza en el país es a pequeña escala y con recursos limitados. Los productores en condición de subsistencia e infrasubsistencia comúnmente se ubican en áreas remotas altamente vulnerables y se enfrentan a múltiples estreses, como la pobreza, marginación, bajos niveles de educación, poco acceso a la salud, limitado apoyo institucional, exposición a plagas y enfermedades e inseguridad alimentaria estacional (Bacon et al., 2014). Asimismo, muchos de ellos se encuentran en las cumbres y laderas de las montañas (marginalización física), donde la productividad es baja y el acceso a la información, tecnología y soporte técnico son limitados (marginalización social) (Tucker, Eakin, & Castellanos, 2010).

En general, la agricultura de subsistencia se ha convertido en un verdadero desafío bajo los patrones de la variabilidad climática actual, debido a que son altamente sensibles a los cambios de temperatura y a los regímenes de precipitación, por ser mayormente cultivos de secano (Viguera, Martinez-Rodriguez, Donatti, Harvey, & Alpizar, 2017). Estos cambios representan una gran amenaza, que pone en riesgo los medios de vida de miles de familias y la base de la alimentación del país. Sin embargo, aunque el sector agrícola es vulnerable en varios aspectos, también tiene un gran potencial para contribuir a la mitigación[1] y a la reducción de los impactos negativos por medio de estrategias de adaptación con un enfoque integral (FAO, 2016).

En este capítulo, se presentan los potenciales impactos del cambio climático en el sector agrícola, la vulnerabilidad actual del sector y medidas para fortalecer la capacidad de adaptación de los agricultores. En este sentido, es importante recalcar que la adaptación, especialmente en este sector, debe realizarse con dimensión local en función del contexto social, económico y ecológico para alcanzar la sostenibilidad en el largo plazo (Hulme, 2003; IPCC, 2014). No todas las medidas de adaptación son adecuadas y asequibles para todos los productores por cuestiones económicas, culturales, legales, entre otras razones (IPCC, 2014; Viguera et al., 2017). La elección de una estrategia de adaptación va a depender de las opciones disponibles a escala local, de la tenencia de la tierra, de las facilidades que pueda aportar el gobierno, de la información disponible, de la situación económica y del interés de cada productor. La adaptación es un proceso continuo que debe considerar impactos actuales y futuros (Hulme, 2003).

1 Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero **(sección 3)**.

6.1.1 Potenciales impactos del cambio climático en la agricultura

La agricultura es un sector que debe abordarse desde dos enfoques: primero, como un sector muy vulnerable al cambio climático en el que es necesario plantear medidas de adaptación urgentemente y, segundo, como uno de los sectores que aporta significativamente a las causas del cambio en el clima (FAO, 2014) **(capítulo 11)**. Para el 2030, los estudios realizados a la fecha indican que, en Guatemala, habrá cambios significativos en la temperatura y la precipitación, mayor prevalencia de plagas y enfermedades, degradación del suelo, estrés hídrico, cambios en el uso del suelo y sequías e inundaciones, que afectarán significativamente los diferentes cultivos y repercutirán en la calidad de vida de los habitantes, en la economía, aumento de la pobreza y la inseguridad alimentaria (Castellanos & Guerra, 2009).

Aunque los efectos de los cambios en el clima sobre la producción de cultivos varían ampliamente de una región a otra, se espera que los cambios anticipados tengan grandes efectos y sean de gran envergadura, principalmente en zonas tropicales de países en desarrollo con regímenes de precipitación que se encuentran entre semiárido y húmedo (Cline, 2008). Las implicaciones pueden ser muy profundas para los pequeños y medianos agricultores que se ubican en áreas vulnerables, quienes subsisten con la producción de maíz, frijol, hortalizas, etc. Jones y Thornton (2003), indican que existe mayor preocupación por las áreas donde predomina la agricultura de subsistencia, porque la disminución de tan solo una tonelada por hectárea de productividad podría ocasionar grandes desequilibrios en los medios de vida del área rural.

En Guatemala, se concentran dos fenómenos meteorológicos relacionados con el cambio climático que presentan un mayor impacto: uno es la precipitación con cambios en los patrones de lluvia tanto temporal como espacial; el otro es el aumento o descenso de la temperatura, que se manifiesta en sequías o heladas. Estos cambios también se manifiestan en la velocidad de evaporación y de la humedad relativa. De acuerdo con el Perfil Ambiental en Guatemala (Iarna-URL, 2009), las amenazas relacionadas con la lluvia son los deslizamientos e inundaciones, mayormente en el altiplano occidental, y las sequías en el corredor seco oriental y occidental y en una parte del norte de Petén. Las heladas del altiplano occidental se presentan mayormente en el área de Huehuetenango, Quetzaltenango, San Marcos y Sololá. El riesgo a inundaciones se concentra en Petén, la costa sur e Izabal. Cada una de estas amenazas afecta grandemente a la agricultura, convirtiendo las zonas afectadas por dichas amenazas en áreas de riesgo (MARN, 2017) **(capítulo 4)**.

En general el impacto del cambio climático será considerable para los países en desarrollo, como los del istmo centroamericano, debido a su dependencia económica de la agricultura y los recursos naturales, su baja capacidad adaptativa y su ubicación geográfica (Magrin et al., 2014). En la región, se espera una reducción muy importante de la productividad del maíz, frijol y arroz, cultivos que cubren el 90 % de la producción destinada al consumo interno. En cuanto al café, uno de los principales cultivos de exportación, si se consideran incrementos en la temperatura media de entre +2 y +2.5 °C y reducciones en la precipitación de entre -5 y -10 por ciento, las áreas aptas para su producción entre alturas de 600 a 1000 msnm se podrían reducir entre 38 % y 89 % (CEPAL, 2016). Asimismo, se prevé que algunos municipios como San José (Escuintla) pierdan en el 2030 el 8 % del área óptima para su producción (Bouroncle et al., 2015).

Otro efecto que puede darse es la reducción de la calidad de los alimentos. Esto sucede porque la planta tiene mayor rendimiento al estar en un clima más enriquecido con dióxido de carbono. No obstante, este rendimiento cambia la relación entre el carbono y el nitrógeno y hace que los productos de las plantas disminuyan su calidad nutricional y se perjudique su apariencia y constitución (textura, sabor, forma), lo cual causa pérdidas económicas importantes (CEPAL, 2016).

6.1.2 Dinámicas en el sector agrícola que aumentan la vulnerabilidad al cambio climático

Los impactos potenciales del cambio climático en la agricultura pueden ser variados. Sin embargo, existen varios factores que de por sí hacen que el sector agrícola sea especialmente vulnerable a estos cambios. Uno de los principales factores es que la mayoría de la agricultura que se practica en Guatemala es dependiente de la lluvia (llamada agricultura de secano), por lo que el cambio en la intensidad y temporalidad de la precipitación, a más altas temperaturas, afectará la disponibilidad hidrológica del país causando una baja productividad o la pérdida total de los cultivos. De acuerdo con el Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL, 2016), la disponibilidad hídrica promedio por persona en el año 2015 fue cercana a 6300 metros cúbicos, de los cuales el 78 % correspondió a la disponibilidad hídrica superficial. Las áreas con alta disponibilidad de agua están ubicadas en las cuencas pertenecientes al golfo de México y corresponden a zonas con baja densidad poblacional; mientras que las cuencas con menor disponibilidad hídrica son las que se ubican en la zona denominada «corredor seco», que es una zona árida o zona con precipitación limitada, perteneciente en su mayor parte a la cuenca del Motagua. La disponibilidad hídrica por vertiente hidrográfica y la ponderación del estrés hídrico a nivel de subcuenca para el año 2015 en Guatemala se muestran en el Cuadro 6-1 y Cuadro 6-2.

Cuadro 6-1 Disponibilidad hídrica en Guatemala por vertiente hidrográfica, con base en el escenario de cambio climático A2

Vertiente	2015	2020	2050
Mar Caribe	27 321.50	23 984.36	19 216.58
Golfo de México	41 410.32	34 660.27	29 842.61
Océano Pacífico	26 385.69	22 698.54	21 462.46
TOTAL	95 117.51	81 343.17	70 521.65

Nota: Los datos se presentan en millones de m^3 al año. El escenario A2 proyecta un aumento en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial. Adaptado de IARNA (2016).

Cuadro 6-2 Disponibilidad hídrica por habitante en Guatemala al 2015 según vertiente hidrográfica

Vertiente	Población al año 2015	Disponibilidad hídrica	Disponibilidad hídrica superficial
Mar Caribe	5 466 705.44	6 971.77	5 761.11
Golfo de México	2 823 545.67	10 844.23	8 985.23
Océano Pacífico	6 822 528.21	3 867.44	2 608.38

Nota: Los datos de disponibilidad hídrica y disponibilidad hídrica superficial están dados en m^3/hab/año. Tomado de IARNA (2016).

De acuerdo con este mismo estudio, los escenarios de disponibilidad hídrica no son muy alentadores, ya que disminuyen un 30 % para el mar Caribe, 19 % para el océano Pacífico y 28 % para el golfo de México, con un promedio nacional del 26 %.

Los datos de demanda de recursos varían de acuerdo con la fuente, como se discute en el **capítulo 5**. GWP Centroamérica (2017) reporta que la demanda del recurso hídrico representa el 22 % de la oferta hídrica. Del total de la demanda, el 37 % es empleado por la agroindustria; las demás actividades agrícolas y silvícolas consumen el 31 %; para generación de energía se emplea el 24 %; mientras que el consumo domiciliar representa el 2 %, como se puede ver en la Figura 6-1 .

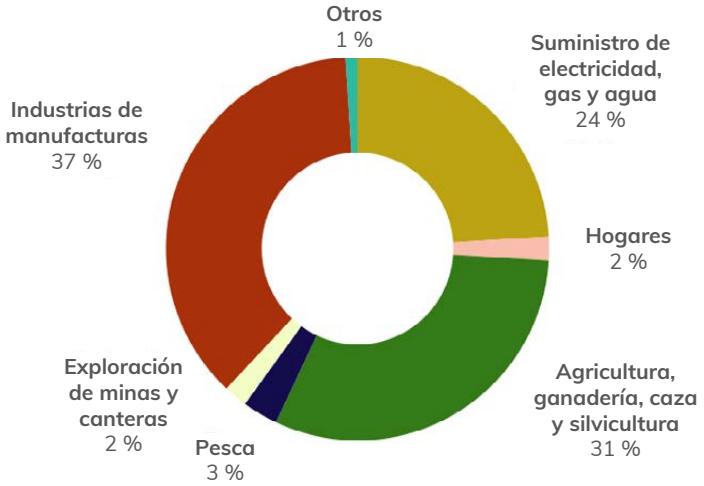


Figura 6-1 Demanda del recurso hídrico por sectores. En donde los sectores que mayor demanda representan son «industria de manufacturas» (37 %), «agricultura, ganadería, caza y silvicultura» (31 %) y «suministro de electricidad, gas y agua» (24 %). La categoría «otros» incluye el sector de la construcción, comercio y servicios. Adaptado de GWP Centroamérica (2017).

Las condiciones del suelo es otro de los factores fundamentales para asegurar la producción agrícola; pues el suelo es un fuerte regulador del ciclo del carbono, elemento crucial para la generación de materia orgánica. La degradación sistemática de este recurso genera procesos de erosión, lo cual reduce su fertilidad y su capacidad de almacenar agua y participar en el intercambio de elementos esenciales para la vida en los ecosistemas. Los procesos de erosión tienden a incrementarse debido a la poca cobertura forestal, ausencia de prácticas de conservación de suelos, e intensidad y frecuencia de las precipitaciones por efectos del cambio climático (FAO, 2014).

De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2014), los suelos sanos, en conjunto con los océanos, desempeñan una función importante en almacenar carbono. Cuando los suelos se gestionan de manera sostenible, juegan un papel significativo en la mitigación del cambio climático a través del almacenamiento de carbono y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Los cambios de uso del suelo y la erosión de los suelos son responsables del 10 % de todas las emisiones de GEI.

La erosión provoca considerables pérdidas de suelos en Guatemala y es uno de los principales agentes de degradación, que abarca la fertilidad y las condiciones físicas y químicas del suelo. Dentro de las principales causas de erosión se encuentran la deforestación vinculada a los cambios de uso del suelo y las diversas actividades agropecuarias; así como el riego excesivo, exceso de labranza, deficientes o nulas prácticas de conservación de suelos y las quemas, que han provocado una pérdida de 148 millones de toneladas métricas de suelo fértil, con un promedio de 1161.89 de ton/ha/año de acuerdo con registros del MAGA (Tobías & Duro, 2013). A esto es necesario adicionarle que los eventos extremos se han intensificado en la región con el progreso del cambio climático, causando cambios en las condiciones del suelo e incrementando la erosión, especialmente por los eventos extremos de lluvias (Rosenzweig, Iglesius, Yang, Epstein, & Chivian, 2001).

Otro de los factores que afectan la degradación de los suelos es el sobreuso, que se da principalmente en las regiones montañosas, donde los sistemas de cultivo que se utilizan superan fácilmente a la capacidad física de la tierra para soportarlos sin degradarse. El Informe Ambiental del Estado de Guatemala 2016 (MARN, 2017) indica que una tercera parte (33 %) de este sobreuso es debido a los cultivos anuales, principalmente granos básicos, los cuales, dada la imposibilidad de recopilar la información, se consideraron como cultivos limpios que no contemplan medidas de conservación de suelos. El 32 % se debe a cultivos permanentes y pastos, cuya intensidad de uso supera a las regiones agrológicas de categoría V en el caso de los cultivos y VII en el caso de los pastos. La intensidad de uso en categoría de sobreutilización por departamento se muestra en la Figura 6-2, donde sobresalen los departamentos de Chiquimula, Jalapa, Jutiapa, Zacapa y San Marcos. Esto se relaciona con las comunidades asentadas y la cantidad de población que vive en extrema pobreza, utilizando tierras no aptas para la agricultura para su subsistencia.

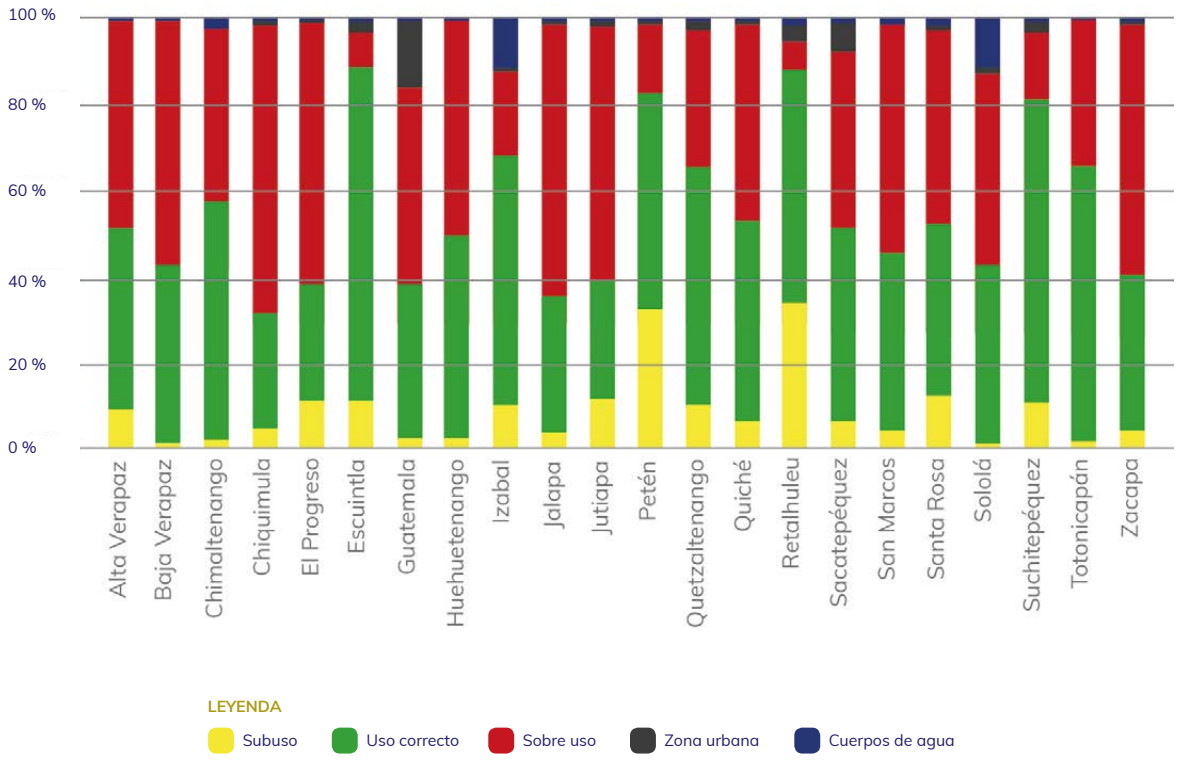


Figura 6-2 Intensidad de uso de la tierra por departamento en la República de Guatemala. Siendo los departamentos de Chiquimula, Jalapa, Jutiapa, Zacapa y San Marcos los que mayor sobre uso del suelo presentan. Nota: esta clasificación no considera las áreas protegidas por lo que la categoría de «subuso» puede estar sobrevalorada. Tomado de MARN (2017).

Con el cambio en la temperatura y la precipitación, se prevén modificaciones de los ecosistemas, lo cual causará un desequilibrio en la cadena trófica y promoverá la expansión de ciertas especies, así como la extinción de otras. La pérdida de la diversidad biológica es un tema crítico que no se ha estudiado profundamente; aunque se cuenta con modelos climáticos y de poblaciones de varias especies, aún es incierto cómo se darán los cambios en los ecosistemas **(capítulo 7)**. En el caso de la agricultura, se prevé que las zonas agroecológicas cambien y algunos cultivos tengan que migrar a una mayor altitud, o que simplemente ya no sean viables. En el caso inverso, estos cambios pueden representar una oportunidad para sembrar distintos cultivos en zonas que eran demasiado frías (CIAT, 2012).

Una parte fundamental de la pérdida o cambio en la diversidad biológica es el aumento de plagas y enfermedades de los cultivos agrícolas, que, exacerbados por el cambio en la humedad o la temperatura, puedan volverse más agresivos o expandan su área de distribución natural. Un ejemplo es el ataque de la roya del café, que devastó su producción en Centroamérica recientemente (Avelino et al., 2015).

Otro de los grandes problemas que enfrenta una gran cantidad de agricultores, especialmente los pequeños, es la incertidumbre en la tenencia de la tierra. El hecho de que muchos productores en condición de subsistencia e infrasubsistencia no tienen un título formal de su terreno, o no está reconocido en ningún registro, restringe su acceso a créditos o apoyo financiero, lo cual puede afectar directamente su posibilidad de implementar medidas de adaptación. Esto se puede agravar por la falta de ingresos y altos niveles de pobreza (Pokorny & Jong, 2015). El cambio climático exacerba el efecto de estos factores aumentando la vulnerabilidad de los productores (Eakin, 2005; Magrin et al., 2014; Tucker et al., 2010).

6.1.3 El sector agrícola como contribuyente a las causas del cambio climático

Como se mencionó anteriormente, el sector agrícola también contribuye a las causas del cambio climático de dos formas: la primera es por la aportación de GEI provenientes de fertilizantes (a través de la emisión de óxido nitroso [N_2O]) y del metano [CH_4] que se origina de los gases que produce el ganado como producto de la fermentación entérica en su digestión; la segunda es por la disminución de los bosques, que son los principales sumideros de carbono, y la deforestación promovida por el avance de la frontera agrícola **(capítulo 11)**.

El cambio de uso de la tierra es una de las grandes preocupaciones a nivel nacional. Castellanos (2013) menciona que el principal factor de la deforestación no son los campesinos que expanden la agricultura de subsistencia porque, de hecho, los departamentos más poblados y pobres del país presentan mayores tasas de reforestación. El cambio más bien ha sido promovido por otras dinámicas socioeconómicas.

El MARN (2017) indica la tendencia de la tasa de cobertura forestal para departamentos que sufrieron pérdidas específicas, incluidos Petén, que presenta la mayor pérdida en el país, y Chiquimula, como el departamento que más pérdida presentó en relación con la cobertura (Cuadro 6-3). Es necesario tomar en cuenta que ambos departamentos (incluyendo además a Jutiapa) son de los que más pérdidas de bosque presentan y también son los que están en zonas del país con climas tendientes a presentar dificultad para la gestión del recurso hídrico. Aunado a eso, presentan una propensión mayor a aumentar temperaturas y disminuir precipitación, según se describe en el **capítulo 3**.

Cuadro 6-3 Cambios netos y tasas de cambio de la cobertura forestal a nivel departamental para el periodo 2006-2010

Departamento	Cobertura 2006	Cobertura 2010	Cambio neto 2006-2010	Cambio anual	Tasa de cambio anual
Chiquimula	40 256	30 192	-10 063	-1908	-4.74
Petén	1 927 215	1 802 604	-124 611	-47 412	-2.08
Guatemala	32 920	57 852	-5 139	-1 544	-2.45
Santa Rosa	51 046	46 304	-4 472	-1 281	-2.51
Jutiapa	15 651	12 730	-2 920	-555	-3.55

Nota: La columna cambio neto presenta el número de hectáreas en que disminuyó la cobertura entre 2006 y 2010. Las columnas de «cobertura 2006», «cobertura 2010» y «cambio neto 2006-2010» se expresan en hectáreas. La columna «cambio anual» se expresa en hectáreas por año. La «tasa de cambio anual» se expresa en porcentaje. Elaboración propia, basado en GIMBUT (2014).

Con la pérdida del bosque también se pierde el hábitat de la flora y fauna, lo cual genera desequilibrio en la cadena alimenticia, sobreexplotación de los recursos, contaminación e invasión de especies exóticas, entre otros problemas (Loening & Markussen, 2003).

Los principales factores del cambio de uso de la tierra son los cultivos de agroexportación, la ganadería, la alta dependencia en la utilización de leña para consumo energético, la tala ilegal y los incendios. El Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) reportó 616 casos de incendios forestales en el 2015, que afectaron 11 260 hectáreas; del área afectada, 53 % corresponde a bosques mixtos, 29 % a bosques de coníferas y 8 % a latifoliadas. Entre las causas más frecuentes se encuentran los incendios intencionados (63 %) y los provocados por quemas agrícolas (23 %) (GIMBUT, 2014). Con relación a la tala ilegal, el MARN (2017) reportó que para el 2012 se habían identificado 1235 industrias (entre aserraderos y carpinterías) que operan ilegalmente.

En el Informe Ambiental del Estado de Guatemala 2016 se menciona que el aprovechamiento forestal sostenible es permitido dentro de algunas categorías de manejo de áreas protegidas, sin embargo, en el periodo 2006-2010 se estimó que más del 30 % de la deforestación ocurre dentro de las áreas protegidas. En 2006, se redujo del bosque 30.7 millones de metros cúbicos de madera, de los cuales el 95 % se destinó como aprovechamientos (equivalente a 29.1 millones de metros cúbicos de madera) y el restante 5 % se debió a incendios o muerte natural (MARN, 2017).

6.2 Medidas para mejorar la productividad, mitigar las causas del cambio climático y fortalecer la capacidad de adaptación en el sector agrícola

Cuando se habla de adaptación, la primera medida que debe tomarse es reducir la vulnerabilidad y exposición a la variabilidad climática actual (IPCC, 2014). La vulnerabilidad está íntimamente relacionada con el nivel de desarrollo económico y social de una población (Gómez, 2001) **(capítulo 4)**. Por esta razón, se debe trabajar especialmente en los aspectos relacionados con la economía y la educación de este sector. Los agricultores implementarán acciones de adaptación en la medida en que tengan acceso a recursos económicos e información en el tema, además de una mejor gestión de las organizaciones locales (CEPAL, 2016).

En el plano económico, actualmente se cuenta con seguros agrícolas y pecuarios prestados por el sistema de banca tradicional del país, aunque poco accesibles para pequeños agricultores. El seguro agrícola es una rama de los seguros que se clasifican por daños y pérdidas según el Código de Comercio (Decreto 2-70, 1970) y se especializa en la cobertura de los cultivos del sector agrícola, especialmente contra riesgos climáticos. El seguro agrícola cubre el rendimiento o la cosecha esperada y cubre el potencial productivo del asegurado (máxima capacidad del cultivo de acuerdo con el paquete tecnológico que el productor desea emplear[2]). El tiempo de cobertura depende de cada cosecha, ya que se asegura el ciclo del producto. Las aseguradoras y reaseguradoras[3] tienen un listado de productos que pueden y no pueden ser asegurados, con base en el riesgo que ellos estiman (Lobos, 2014).

Según Lobos (2014), en el estudio realizado al programa Dacrédito[4], el seguro es una buena alternativa para los productores que tienen la capacidad económica de adquirirlo debido a que protege la cosecha de cualquier eventualidad, incluidas las pérdidas por plagas. Aparte del servicio del seguro, el programa brinda asistencia técnica a los asegurados para minimizar el riesgo tanto para el productor como para la aseguradora. Sin embargo, se identificó que no existe una cultura de prevención y la falta de interés de adquirir este servicio se debe principalmente al costo. También existe desconocimiento del servicio y de cómo funciona, lo cual crea cierta desconfianza en los potenciales usuarios. Las aseguradoras y agencias bancarias son las que promueven los seguros, pero la información llega a un sector limitado. Según este estudio, realizado en la zona occidental de Chimaltenango y en el municipio de la Nueva Concepción del departamento de Escuintla, los usuarios son principalmente agroexportadores de hortalizas, maíz y tabaco.

En el tema de acceso a préstamos bancarios, existen varias limitantes que hacen inaccesibles los servicios financieros para los agricultores (Eakin, Bojórquez-Tapia, Diaz, Castellanos, & Haggar, 2011), especialmente para los productores en condición de subsistencia e infrasubsistencia, como las siguientes:

- Los servicios tradicionales de préstamos que ofrecen los bancos son poco accesibles por los requisitos y documentación requerida (cuenta de ahorro, título de propiedad, etc).
- Las tasas de interés son altas.
- Los bancos tradicionales cuentan con pocas agencias en el área rural del país.
- Existen otras entidades financieras que han tenido mayor éxito en el área rural del país por el modelo de sus servicios a nivel local, como por ejemplo: cooperativas de ahorro y crédito y empresas de telefonía que prestan el servicio de transacción de remesas.

2 El paquete tecnológico es un documento que contiene las especificaciones técnicas del cultivo autorizadas para la contratación del seguro agrícola.
3 Estas son las que dan soporte económico a las aseguradoras nacionales.
4 Dácredito es una entidad promotora del crédito y seguro agropecuario, donde participan Banco G&T Continental, Banco Agromercantil, Banco de la Republica, Financiera SUMMA, Banco Americano y Banco Promerica. Las aseguradoras participantes son Seguros G&T, Seguros Agromercantil y Reaseguradora Proagro. Los fondos para el crédito agrícola provienen de la banca privada y los fondos para el subsidio del seguro agrícola y otros provienen del Fideicomiso para el Desarrollo Rural Guate Invierte creado por el MAGA siendo la financiera G&T Continental S.A. como fiduciario, la administradora de los fondos.

Algunas modalidades de subsidios por parte del gobierno o asociaciones de productores han sido poco eficientes, no han logrado un avance de la estructura básica institucional y el beneficio no ha sido significativo para los agricultores. La distribución de fertilizantes ha sido una política gubernamental, que tomó más fuerza en la administración de 2000-2004, pero, en general, se ha considerado más una estrategia para ganar popularidad entre la población rural que una política estratégica concertada (Martínez-Rodríguez, Viguera, Donatti, Harvey, & Alpízar, 2017).

En el plano social, la organización es clave para enfrentar los momentos de crisis, pero también para que el apoyo técnico y económico pueda llegar de una forma más organizada y se pueda beneficiar a más personas. Las cooperativas y asociaciones de productores tienen más ventajas en el acceso a mejores mercados dentro y fuera del país, como en el caso de las asociaciones de exportadores de hortalizas, frutales, caficultores, entre otros (Eakin et al., 2011; Tucker et al., 2010).

En cuanto a las medidas técnicas de adaptación, los agricultores han realizado varias acciones en sus terrenos tomando en cuenta conocimientos ancestrales, apoyo técnico de entidades de gobierno u organizaciones no gubernamentales, o simplemente compartiendo experiencias con sus vecinos y experimentando.

En cuanto al apoyo del gobierno, el MAGA, en el marco del Programa de Agricultura Familiar para el Fortalecimiento de la Economía Campesina (PAFFEC), ha creado el Sistema Nacional de Extensión Rural (SNER), el cual tiene como objetivo potenciar las capacidades de producción, organización y autogestión de la población rural del país por medio de la educación no formal y ejecución participativa. La metodología del SNER se basa en la identificación de población objetivo que pueda conformar grupos de trabajo e identificar líderes para formar un Centro de Aprendizaje para el Desarrollo Rural denominado CADER. Con la conformación de los CADER se asegura una mayor cobertura para la formación de los agricultores en temas de interés (MAGA, 2011). Aun así, el sistema sigue siendo centralizado y la cobertura no llega a los lugares más remotos del país.

También, agencias de cooperación internacional y entidades a nivel mundial, como FAO, han lanzado nuevos conceptos y programas para promover la mitigación y adaptación al cambio climático en el sector agrícola. Esta información ha sido trasladada a Guatemala por medio de talleres y actividades que reúnen a actores claves para analizar la situación actual y presentar alternativas a los tomadores de decisión. Sin embargo, aunque se tiene bastante información sobre buenas prácticas para combatir los efectos del cambio climático, no todas las medidas serán adecuadas para todos los casos, cómo se mencionó al inicio de este capítulo.

En el estudio realizado por Tucker, et al. (2010) con productores de café, se pudo evidenciar que las medidas de adaptación entre los mismos productores, dentro del mismo país o la misma región, son distintas. Un productor puede aplicar una o más de diez diferentes medidas de adaptación, que van desde prácticas de conservación de suelos, manejo de la sombra, manejo integrado de plagas y diversificación de cultivos hasta el cambio total del cultivo o incluso abandonar la actividad agrícola.

En casos extremos, las medidas de adaptación a los desastres relacionados con el clima tienden a ser reactivas y con visión a corto plazo, en lugar de ser proactivas. Es el caso de las familias que por la falta de recursos económicos han decidido retirar a sus hijos de la escuela, han disminuido la calidad y cantidad de la dieta y, en algunos casos, han migrado dentro o fuera del país en busca de mejores oportunidades. Obviamente estas medidas de adaptación pueden funcionar en el corto plazo, pero en el largo plazo las consecuencias son negativas tanto para la familia como para la sociedad (Tucker et al., 2010).

6.2.1 Adaptación basada en ecosistemas (AbE)

La adaptación basada en ecosistemas es una opción de adaptación estructural y preventiva, que consiste en el uso de la diversidad biológica, los recursos naturales y los servicios que estos proveen como parte de una estrategia integral de adaptación a los efectos adversos del cambio climático (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2009). Se basa en la conservación, restauración y manejo sostenible de los ecosistemas naturales y antropogénicos; e

incluye actividades tradicionales, como manejo forestal integral, uso de agroecosistemas y manejo del agua y del suelo (Martínez-Rodríguez et al., 2017).

En las estrategias de adaptación al cambio climático, la AbE puede ser una de las opciones más importantes, mediante el manejo comunitario, y la restauración y conservación de los ecosistemas. Para lograrlo, es necesario el ordenamiento territorial, pues muchos de los impactos del cambio climático pasan también por la forma en que se está utilizando actualmente el territorio. En ese sentido, es importante introducir ciertas regulaciones ambientales y cumplir con las legislaciones vigentes; reconocer y cuantificar los servicios ecosistémicos de importancia para la agricultura; y monitorear, evaluar y disponer en todos los casos de información confiable, creíble y analizada para poder tomar decisiones informadas (CEPAL, 2016).

6.2.2 Agricultura climáticamente inteligente (ACI)

La agricultura climáticamente inteligente, tal y como fue definida y presentada por la FAO en la Conferencia sobre Agricultura, Seguridad Alimentaria y Cambio Climático de 2010 en La Haya, contribuye al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, integrando sus tres dimensiones: económica, social y ambiente. Asimismo, aborda de forma conjunta la seguridad alimentaria y los retos climáticos basándose en tres pilares fundamentales (FAO, 2010):

- Incrementar de forma sostenible la productividad y los ingresos agrícolas
- Adoptar y desarrollar resiliencia al cambio climático
- Reducir y/o eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero donde sea posible

En Guatemala, el MAGA, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Programa de Investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS) patrocinaron el desarrollo y evaluación de un portafolio de prácticas de ACI priorizando las prácticas más adecuadas, especialmente para la zona del corredor seco. El objetivo de este trabajo es que la información generada sirva para la toma de decisiones a nivel gubernamental para ayudar a los productores a incrementar la productividad, la resiliencia y disminuir las emisiones de carbono. Para identificar estas prácticas y priorizarlas, se llevaron a cabo varios talleres en los que participaron representantes de todos los sectores relacionados con la producción agrícola, incluidos universidades y centros de investigación. Como resultado de esta discusión, las prácticas priorizadas fueron las siguientes (Corner-Dolloff et al., 2015):

- Implementación de sistemas agroforestales
- Terrazas (prácticas de conservación de suelos)
- Cosecha de agua de lluvia
- Uso de variedades tolerantes al estrés hídrico y a plagas y enfermedades
- Bancos de semillas

Este estudio fue entregado a las autoridades de gobierno y se espera que la priorización pueda ser útil en la toma de decisiones.

6.2.3 La agricultura orgánica

La agricultura orgánica es otra opción que incluye principios de sostenibilidad que pueden aportar elementos para fortalecer la capacidad adaptativa de los agricultores (CEPAL, 2016). Sin embargo, también ha sido un tema de discusión, en donde se cuestiona si los beneficios obtenidos por la certificación compensan el esfuerzo económico que el productor debe realizar para implementar ciertas prácticas y cubrir gastos de auditorías. Según Solano (2017), en un estudio realizado con productores de café a pequeña escala, certificados y no certificados, no se determinó una evidencia clara que indique que las plantaciones de café certificadas sean más resilientes al cambio climático que las plantaciones que no poseen una certificación. Por otro lado, también se determinó que la relación entre la certificación y el beneficio social, ambiental y económico es compleja y dependerá del tipo de certificación (si se gestiona de forma individual o grupal, o por medio de asociación o cooperativa) y del acceso al mercado, entre otros factores.

6.2.4 Acceso a información climática, prácticas agrícolas y mercados

El manejo del riesgo climático es una de las medidas más importantes, que solo se logra con acceso a la información climática; por ejemplo, con monitoreo del clima y de la producción, con el uso de pronósticos y con sistemas de alerta temprana (CEPAL, 2016).

En Guatemala, la generación de información climática tiene grandes limitaciones, como se menciona en el **capítulo 1**, pero uno de los mayores problemas es la falta de difusión apropiada y la aplicación de esta información para la toma de decisiones.

En este sentido, la tecnología digital tiene un gran potencial para crear canales de comunicación efectivos. En Guatemala, se han desarrollado algunas iniciativas de este tipo para enviar información climática, de mercados y de buenas prácticas por medio de mensajes de texto, aplicaciones en «teléfonos inteligentes» y video o tutoriales en Youtube. Un ejemplo del uso de esta tecnología es la aplicación Coffee Cloud[5]. Esta aplicación conecta a los institutos de café y productores de Centroamérica con la información climática regional[6] y con información sobre el estado de sus plantaciones (por ejemplo, plagas y enfermedades) para tomar decisiones informadas en el manejo de su cultivo.

Actualmente, aunque muchas personas cuentan con un teléfono móvil, aún existen lugares en donde la señal telefónica es limitada. Es posible que, con los acelerados cambios tecnológicos, en un futuro cercano, estas limitaciones puedan superarse y la cobertura sea más amplia. Es necesario pensar desde ahora cómo ampliar el uso de esta tecnología para que se convierta en una herramienta de comunicación útil que fortalezca la capacidad adaptativa de los agricultores.

Un punto importante en este sentido es tomar en cuenta la pertinencia cultural (idioma, especialmente), conocimiento y forma de uso de la tecnología digital, público a quien va dirigido el mensaje y el alcance que se desea tener.

En el tema de mercados es necesario crear mecanismos en donde la oferta y la demanda tengan un punto de encuentro. Los productos agropecuarios son perecederos y el acceso a mercados cercanos es fundamental para evitar pérdidas económicas. Algunos productos como el café han logrado establecer nichos de mercado especializados, por la calidad del producto, lo cual les ha permitido, en algunos casos, reducir los riesgos de la inestabilidad del mercado global (Eakin et al., 2011).

6.2.5 Agrobiodiversidad, mejoramiento genético y el papel de la biotecnología en la agricultura

La región mesoamericana ocupa el segundo lugar de las regiones con mayor diversidad de especies y endemismo, ya que alberga alrededor del siete al 10 % de las formas de vida conocidas en el planeta. En la décima Convención de Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica (COP-10), celebrada en la ciudad de Nagoya (UNEP, 2010), se reconoció e incluyó a Guatemala dentro del Grupo de Países Megadiversos, puesto que cuenta con el 46 % de todas las plantas existentes en Centroamérica y el 40 % del total de especies endémicas de Mesoamérica. En cuanto a fauna, se encuentran más de 100 especies de peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos (CONAP, 2013).

Aparte de esta alta diversidad biológica, es importante tener en cuenta que Guatemala también tiene una riqueza importante en agrobiodiversidad, que representa una fracción muy pequeña de la diversidad biológica en general. La agrobiodiversidad no es un producto natural, sino un producto de la intervención humana que se inició hace 10 000 años aproximadamente. La agricultura y la domesticación y diversificación de plantas están relacionadas con el cambio climático que se dio hace siglos por causas naturales. Desde ese entonces, la evolución que se ha dado en las especies ha dependido de la diversidad genética disponible y de la selección natural o

5 Disponible en Centro Clima (http://www.centroclima.org/coffee-cloud/#Home).
6 Registros climáticos históricos y actuales, modelos predictivos de precipitación, recomendaciones de la perspectiva climática regional del Foro del Clima de América Central.

la selección humana; Esto significa que la diversidad genética es fundamental para que pueda darse y continuar el proceso evolutivo de las especies (CEPAL, 2016).

Existen alrededor de 300 000 especies de plantas vasculares conocidas; de esas, solo unas mil especies (los cultivos) se considera que han pasado el umbral de la domesticación. Las especies domesticadas ya no pueden sobrevivir en condiciones silvestres y dependen de los seres humanos para su sobrevivencia. De las 1000 especies domesticadas, unas 500 están ampliamente distribuidas por el mundo y 120 de ellas son muy importantes a nivel nacional e internacional. Sin embargo, tan solo 30 especies de plantas proveen casi todo el aporte calórico de la dieta humana a nivel mundial; el maíz, trigo, arroz y papas aportan el 60 %. La diversidad se hace mayor dentro de cada una de estas especies por las variedades que se han creado: se estima que hay más de 50 000 subespecies, razas y variedades ancestrales y locales (CEPAL, 2016).

La evolución de las especies ha ido avanzando con el uso de nuevas tecnologías. Dentro de lo más reciente, la biotecnología tiene una aplicación muy importante en la agricultura, ya que ofrece una gama de posibilidades para superar barreras físicas en ciertos cultivos, como la tolerancia a ciertas condiciones climáticas, plagas y enfermedades, por ejemplo (CEPAL, 2016).

El tema de los cultivos transgénicos todavía es un tema poco abordado en el país por el desconocimiento de este y porque la información que se ha divulgado al respecto es poco veraz sobre los riesgos que realmente podrían existir para la salud humana y el ambiente. Algunos científicos como Quist y Chapela (2001) expresan su preocupación por los efectos de los transgénicos introducidos, debido a que el grado de conectividad genética entre los cultivos genéticamente modificados y las variedades locales y parientes silvestres es un determinante para la historia evolutiva de los cultivos y agroecosistemas en el mundo. Por otro lado, hasta el momento, el uso regulado a nivel local de maíz transgénico con características de resistencia a insectos podría ayudar a la eliminación de plagas y a la prevención de su resistencia, como se ha observado después de varias décadas de aplicación en Estados Unidos. Además, se ha demostrado que el maíz Bt puede tener niveles reducidos de micotoxinas de fumonisina, los cuales son hongos que pueden afectar negativamente la salud humana. Por lo tanto, esta biotecnología podría reducir la aplicación regional de insecticidas, así como el nivel de contaminación por micotoxinas en el maíz (Solomons et al., 2017). Sin embargo, para tener acceso a estas tecnologías es necesario tener una regulación en el país, lo cual aún es un tema pendiente en Guatemala.

6.2.5.1 Bancos de semillas: una medida de conservación de la agrobiodiversidad y de adaptación al cambio climático

La FAO (2010) reconoce que el establecimiento de bancos comunitarios de semillas es una estrategia importante para afrontar el cambio climático en países con alta vulnerabilidad. Este tipo de bancos facilita la restauración de los sistemas agrícolas en caso de desastres y promueven la conservación de los recursos fitogenéticos y la agrobiodiversidad local (Maselli, 2013, 2014).

Las estrategias internacionales, como el Plan de acción mundial para la conservación y la utilización sostenible de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (FAO, 2012) y el Plan de acción estratégico para fortalecer la conservación y uso de los recursos fitogenéticos mesoamericanos para la adaptación de la agricultura al cambio climático (Bioversity International, 2013), reiteran la importancia de los bancos comunitarios de semillas. Asimismo, resaltan la necesidad de establecer vínculos entre los bancos comunitarios y nacionales de germoplasma, a través del establecimiento de redes nacionales con la participación de los agricultores y los sectores relacionados con el tema (Maselli, 2017).

Los esfuerzos e iniciativas a nivel nacional en esta área se iniciaron a través de la FAO con el proyecto Atinar II en la cuenca del lago Atitlán, en Sololá, el cual surge para apoyar el proceso de recuperación de activos familiares afectados por la tormenta tropical Stan, ocurrida en 2005. Posteriormente, la FAO reportó el establecimiento de 355 bancos de semillas. Otras instituciones, como la Asociación

de los Cuchumatanes y el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), han establecido bancos comunitarios de semillas en el Occidente. La Mancomunidad Copan Ch'ortí', en la región del corredor seco, ha establecido también nueve bancos comunitarios de semillas en Camotán, Chiquimula. La Universidad del Valle de Guatemala (UVG) estableció cinco bancos comunitarios de semillas, distribuidos en aldeas de los departamentos de Sololá, Chiquimula, Zacapa y Alta Verapaz, en el marco del proyecto «Establecimiento de una red preliminar de bancos comunitarios de semillas en regiones vulnerables del país, para disponer de semillas en caso de desastres». Además, la UVG llevó a cabo otro proyecto titulado «Integrando la agrobiodiversidad a cadenas de valor para afrontar el cambio climático y el riesgo nutricional, en áreas vulnerables del corredor seco de Guatemala». Ese proyecto fue coordinado a nivel internacional por Bioversity International y se ejecutó en Mali, India y Guatemala (Maselli, 2017).

Dentro del marco de ese proyecto, se elaboró un documento con el propósito de contribuir a identificar los elementos, actores y metodologías necesarios para que los agricultores establezcan su propio mecanismo de comunicación, intercambio de semillas y experiencias. Como resultado de este ejercicio, se identificaron cuatro elementos clave para fortalecer los bancos existentes: liderazgo en la comunidad, comunicación efectiva, fortalecimiento de capacidades y distribución de semillas (Maselli, 2017).

Es importante resaltar que la meta de desarrollar un mecanismo de comunicación e intercambio es que los agricultores sean parte de las estrategias que ellos puedan ejecutar por su cuenta, en caso de no obtener el apoyo de instancias del Gobierno o de otros sectores. Si se logra tener un mecanismo de este tipo, se facilitaría el establecimiento de los vínculos entre los bancos de semillas existentes para afrontar de mejor forma los riesgos del cambio climático en las comunidades climáticamente vulnerables. Al mismo tiempo, se promovería la continuidad de la conservación de los recursos fitogenéticos de una forma participativa (Maselli, 2014).

6.2.6 La importancia de la infraestructura en el desarrollo agrícola

En el tema de infraestructura, se pueden abarcar dos aspectos: la infraestructura que se utiliza directamente para la optimización de la producción en campo y la infraestructura pública que se requiere para poder comercializar los productos.

En cuanto a la infraestructura agrícola en campo, es importante destacar los beneficios que se tienen actualmente con la producción en invernaderos bajo condiciones controladas y el uso de macro y micro-túneles. Estas tecnologías permiten controlar directamente la variabilidad climática y crear las condiciones ambientales óptimas para el desarrollo del cultivo, y evitan la exposición a plagas y enfermedades. La desventaja de estas tecnologías son los altos costos en la construcción y en la automatización de las condiciones climáticas. Sin embargo, según el estudio realizado por Porres, De León, De León y Cifuentes (2015) la producción de tomate en invernaderos artesanales y de baja tecnología es rentable a pesar de la variabilidad de los precios. La rentabilidad tiene potencial de crecimiento al incrementar la eficiencia en la productividad y el acceso a mejores mercados por un producto de mayor calidad.

La infraestructura para el riego es un aspecto fundamental por considerar bajo la alerta de una disminución en la precipitación por el cambio climático. Guatemala ocupa los puestos 18 y 15 en productividad de maíz y frijol, respectivamente, entre un grupo de 23 países evaluados por la FAO. Esto contrasta con la alta productividad de cultivos que tienen riego, como el banano, el de mayor productividad en Centroamérica; la caña de azúcar, que ocupa el tercer lugar en el ranking mundial; y la palma de aceite bajo riego en la costa sur, que se encuentra entre las más productivas a nivel mundial. En el 2013 estos tres cultivos de exportación ocuparon el 71 % del total del área irrigada y utilizan el 69 % del volumen total de agua para riego. Esta comparación evidencia la alta vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria en el país, en un contexto de alta pobreza rural y una agricultura basada en cultivos estacionales, dependientes de la lluvia (MAGA, 2013).

Por otra parte, el riego en sistemas productivos de pequeña y mediana escala no contribuye con todo su potencial a la dinamización de la agricultura de valor, debido al limitado acceso que estos productores tienen a crédito, asistencia técnica, mercados y activos productivos. Existen casi 50 000 hectáreas bajo riego artesanal, sistemas de minirriego y unidades de riego construidas por el Estado con bajos niveles de eficiencia, sin sostenibilidad ambiental y escasa vinculación a cadenas de valor (MAGA, 2013).

Por esta razón, el MAGA, en el año 2013, establece una política para desarrollar el riego en Guatemala durante el periodo 2013-2023; la cual está alineada al Pacto Hambre Cero (para reducir la inseguridad alimentaria y la desnutrición). Guatemala tiene un amplio potencial de riego, ya que actualmente solo el 29 % de las áreas agrícolas con muy alta y alta necesidad de riego cuentan con agua. En el pasado, la promoción del riego se enfocaba predominantemente en incrementar el área bajo riego y en construir infraestructura dentro de las fincas. En esta política, se plantea la necesidad de la participación del Estado en la construcción de infraestructura pública fuera de las fincas, en los centros de almacenamiento y en las vías de conducción de agua hasta un punto donde los productores puedan tener acceso y conducirla hacia sus parcelas a precios competitivos para incrementar sus áreas de cosecha, su productividad y ganancias. La política también incluye un manejo integrado del riego, impulsando la sostenibilidad ambiental, la gobernabilidad del uso del agua, y la competitividad de pequeños y medianos productores (MAGA, 2013).

En cuanto a la infraestructura pública, uno de los principales obstáculos para el desarrollo agrícola es la infraestructura de transporte (carreteras y puentes). Si la exportación de productos ha de mantenerse o expandirse, las carreteras deberán ampliarse y mejorarse, así como las instalaciones portuarias y muelles (Solomons et al., 2017).

6.2.7 Manejo de plagas y enfermedades

En la agricultura, en todas las fases del cultivo se debe lidiar con plagas, enfermedades y malezas que pueden perjudicar su desarrollo. A pesar de la abundancia de plagas, se estima que la mayoría son controladas por enemigos naturales que mantienen estable la población, ya sea de insectos o microorganismos (Viguera et al., 2017). Este control biológico es un servicio ecosistémico que se ha ido perdiendo por la reducción de la diversidad biológica en el agrosistema y el uso de productos químicos, que, si bien ayudan a aumentar la productividad del cultivo, también tienen efectos colaterales en el ambiente y en la salud humana y animal.

Para tener un bajo nivel de plagas y enfermedades en los agrosistemas se debe tratar de recrear la estructura natural del ecosistema, como se menciona en las prácticas de la agricultura basada en ecosistemas y la agricultura climáticamente inteligente. Algunos aspectos a considerar son los siguientes (Viguera et al., 2017):

- Alta diversidad de los cultivos en tiempo y espacio.
- Discontinuidad de monocultivos a través de rotaciones, uso de variedades de maduración rápida y áreas de descanso del suelo (periodos sin cultivo).
- Campos dispersos, que recreen la estructura de un mosaico de cultivos y tierras no cultivadas que puedan proveer hábitat para los enemigos naturales.
- Tener un cultivo perenne dominante, pues son más estables que las áreas que solo tienen cultivos anuales.
- Presencia de niveles tolerables de malezas.
- Alta diversidad genética, ya sea por el uso de múltiples variedades o por múltiples especies.
- Prácticas que mejoren la microbiota del suelo y su contenido de carbono.

El Manejo Integrado de Plagas, así como las técnicas de control biológico, son metodologías que cada vez se utilizan más en cultivos como el café, la papa, vegetales, entre otros. Sin embargo, son técnicas que requieren de conocimiento técnico para poder aplicarlas (Solano, 2017).

Otra herramienta para disminuir la incidencia de plagas es la creación de variedades resistentes a ciertas plagas. Para esto es necesaria la innovación científica y tecnológica para desarrollar los especímenes, ya sea por métodos de fitomejoramiento tradicionales o por medio de la biotecnología.

6.2.8 Los conocimientos ancestrales en la agricultura

Un activo importante que se tiene en la región centroamericana, considerado un derecho constitucional para Guatemala (según el artículo 58 y 66 de la Constitución Política de la República de Guatemala [Acuerdo legislativo 18-93, 1993], es el conocimiento tradicional. Desde la época precolombina, las comunidades han tenido experiencia en el manejo del agua y han podido pronosticar variaciones del clima y la estación de lluvias para organizar los calendarios de siembra de acuerdo con esos conocimientos. Asimismo, han desarrollado prácticas agrícolas que integran los servicios ecosistémicos. Si bien es cierto que el cambio climático está introduciendo un factor de estrés en el conocimiento tradicional de estas culturas, toda su experiencia debe ser aprovechada. Un aspecto importante en ese proceso es el trabajo conjunto con representantes de ambos lados del conocimiento (CEPAL, 2016). En el **capítulo 13** de este reporte se abordan con más detalle varias prácticas agrícolas tradicionales.

6.2.9 Diversificación de actividades agropecuarias y de ingresos

La diversificación es una de las estrategias de adaptación más importantes para el manejo del riesgo en la producción agrícola, especialmente en la producción a pequeña escala. En general, los agrosistemas son menos vulnerables a las pérdidas catastróficas cuando existe una amplia variedad de cultivos en varios arreglos espaciales y temporales dentro de un terreno. Esto puede compensar los ingresos de la familia en caso de pérdida de un cultivo (Baca, Läderach, Haggar, Schroth, & Ovalle, 2014).

El sistema agroforestal de café con sombra, el sistema Quesungual y Kuxur Rum (FAO, 2018), y los sistemas silvopastoriles son ejemplos de cómo la diversificación de los cultivos mejora los medios de vida de las familias gracias al uso eficiente de la unidad productiva (Viguera et al., 2017).

Otro sistema de diversificación agrícola es el sistema milpa, el cual es el resultado histórico de la relación humano naturaleza y como centro, el maíz. El sistema se considera domesticado e integrado a la vida cotidiana, lo cual le da un sentido cultural muy profundo que, junto a la siembra de otras plantas, brinda un mayor contenido alimenticio (Méndez, 2017).

Otra estrategia que se ha identificado ha sido la diversificación del ingreso económico con otra actividad no necesariamente agrícola que permita mantener los medios de vida de las familias. Ejemplo de estas actividades es el trabajo asalariado en construcción, en otras fincas, en prestación de servicios turísticos o en un comercio propio (Eakin et al., 2011).

6.2.10 Manejo integrado del agua y del suelo

Como se mencionó anteriormente, la agricultura de Guatemala es, en su mayoría, dependiente del agua de la lluvia. Los cultivos de agroexportación, que ocupan la mayor área del país (caña de azúcar, banano y palma), cuentan con la tecnología necesaria para irrigar, pero la gran mayoría de agricultores que no tienen estas posibilidades deben buscar alternativas para el almacenamiento, aprovechamiento y uso eficiente del agua.

Todas las medidas relacionadas con el manejo integrado del agua, tales como el riego por goteo, la cosecha de agua de lluvia, el almacenamiento de agua, la transferencia y el uso eficiente del agua, el barbecho, la secuencia de cultivos, el manejo de agua subterránea, la incorporación de materia orgánica a los suelos y la cero labranza, son medidas hacia las que se tiene que apuntar. Esto se debe a que el cambio en los patrones de lluvia en la mayor parte de las regiones está provocando, por un lado, inundaciones debidas al exceso de lluvia y, por otro, escasez derivada de periodos de sequía (Viguera et al., 2017).

El tema del manejo de los recursos hídricos en general se detalla en el **capítulo 5** de este reporte.

Las prácticas de conservación de suelo son fundamentales y urgentes de aplicar. Como se menciona en el apartado de vulnerabilidad del sector agrícola, la condición de los suelos es preocupante debido a que se han visto afectados por procesos de erosión por sobreuso, mayormente en las laderas de las montañas. Las prácticas de ACI y Abe promueven fuertemente la conservación de los suelos como uno de los pilares fundamentales para sostener la producción y la calidad de los productos.

6.2.10.1 Buenas prácticas agrícolas para amortiguar eventos extremos

La agricultura, la seguridad alimentaria y la nutrición de los guatemaltecos se puede ver seriamente afectada por eventos climáticos extremos, ya que esto limita la cantidad de alimentos disponible, pone en riesgo la calidad de estos y dificulta el acceso a los puntos de comercialización (CEPAL, 2017).

Los eventos extremos que se prevén debido al cambio climático pueden ser por exceso de lluvia (huracanes, tormentas e, incluso, mayor intensidad de la lluvia en corto tiempo) o, por el contrario, derivados de la escasez de lluvia (sequía, desertificación), además de las heladas, que son más difíciles de predecir y de mitigar.

En 1998, el huracán Mitch deterioró las condiciones de vida de casi 32 millones de centroamericanos. El sector económico más afectado fue el agropecuario, que sufrió más de tres cuartas partes de los daños estimados en los sectores productivos. Las pérdidas totales se estiman en USD 6656 millones, equivalentes al 13 % del PIB regional (Holt-Giménez, 2001).

A pesar de este evento catastrófico, el daño agrícola no fue igual en todos los sitios, en parte por la intensidad de la lluvia, el tipo de vegetación, la geología y la topografía de cada área; pero también por el tipo de manejo de los sistemas agrícolas y sus medios de conservación. Para conocer el efecto del manejo, después del Huracán Mitch, Holt-Giménez (2002) realizó un estudio en 1800 fincas ubicadas en Guatemala, Honduras y Nicaragua, en el cual se exploraron las condiciones en que las prácticas sostenibles se correlacionaron con la resiliencia agroecológica. Los resultados del estudio indican que muchas de las prácticas que se estaban implementando y que ayudaron a amortiguar el efecto del huracán tenían más de 30 años de ser promocionadas entre los agricultores. Algunas de estas prácticas se enumeran a continuación:

- Prácticas de conservación de suelos: barreras vivas, zanjas, terrazas de piedra, surcos con mínima labranza.
- Utilización de plantas de cobertura: plantas que ayudan a fijar nitrógeno, para producir abono verde y proteger el suelo.
- Agroforestería: para obtención de leña y otros alimentos; generan materia orgánica que se incorpora al suelo y reducen los deslaves.
- Manejo integrado de plagas.

Las prácticas convencionales en el área de estudio que no ayudaron a amortiguar los efectos del huracán fueron la roza y quema, arar a favor de la pendiente y uso de agroquímicos (Holt-Giménez, 2002).

6.2.11 Nuevas oportunidades y nuevos retos para la agricultura ante los efectos del cambio climático

Según el estudio realizado por Borouncle et al. (2015), en donde se evaluó la ganancia o pérdida neta que tendrán las zonas aptas para el cultivo de café, caña de azúcar, frijol, maíz y sorgo, se encontró que los cultivos más sensibles a los cambios previstos en el clima son el frijol y el café. Por ende, se prevé que disminuirán las áreas aptas para su cultivo en todo el país. Sin embargo, en algunos municipios aparecerán zonas aptas (más frescas y a mayor altura) para el cultivo del café como en la Sierra Madre y en los Cuchumatanes. Con el frijol, se prevé que

las zonas bajas perderán aptitud para su cultivo y se ganarán hipotéticas zonas aptas a mayor altura. Las áreas aptas para el cultivo de maíz disminuirán en las zonas más bajas de Petén, Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz e Izabal; de igual forma que el café y el frijol, se ganaría aptitud para su cultivo en zonas más altas. La caña de azúcar perderá zonas aptas en las bajuras de todos los municipios de la costa sur e Izabal, Jutiapa y Chiquimula. Inclusive el sorgo perderá zonas aptas para su cultivo en los departamentos en donde tiene cierta importancia actualmente, principalmente en los departamentos de Santa Rosa, Jutiapa, Chiquimula y Zacapa, así como en Baja Verapaz (Bouroncle et al., 2015).

El reto es enfrentar estos cambios teniendo en cuenta dos aspectos fundamentales: primero, que aunque existen áreas aptas a mayor altitud, estas áreas generalmente están cubiertas de bosque o son áreas importantes para la recarga hídrica, por lo cual el uso agrícola y la conservación de los servicios ecosistémicos entrarían en conflicto (Bouroncle et al., 2015); segundo, que se requiere un cambio conceptual, incluso cultural, en las zonas que ya no serán aptas para ciertos cultivos para migrar a otros u otras asociaciones de cultivos que sean rentables.

El punto importante en este planteamiento es no perder de vista que por asegurar la producción de ciertos cultivos en el corto plazo se generen condiciones que aumenten la vulnerabilidad. Es importante recordar la premisa que plantea el IPCC (2014), que una pobre planificación para obtener resultados a corto plazo o una insuficiente anticipación de las consecuencias podrían dar lugar a una adaptación incorrecta y, como resultado de esto, solo se aumentaría la vulnerabilidad o la exposición del grupo destinatario de la adaptación en el futuro, o bien la vulnerabilidad de otras personas, lugares o sectores.

Por otro lado, también se debe ver el cambio como una oportunidad para obtener otros productos, para diversificar las actividades productivas y para innovar. Estos procesos de transición necesitarán el apoyo e involucramiento de todos los sectores del país.

6.2.12 Adaptación en los sistemas de producción animal

El subsector pecuario está integrado por las cadenas productivas de leche, ganadería de carne de bovino, ganadería de carne de cerdo, carne de pollo y huevos, así como la apicultura, las cuales comprenden los procesos de comercialización de materia prima, transformación industrial y comercialización de productos terminados, que son distribuidos al consumidor final (Cámara del Agro & CABI, 2013).

Según el estudio «Inteligencia de consumo de productos agropecuarios» realizado por el Central American Business Intelligence (CABI) y la Cámara del Agro en el 2013, el consumo de productos cárnicos en las familias guatemaltecas alcanza los GTQ 9342 millones anuales. El principal mercado es el departamento de Guatemala con 33 % del consumo, seguido por Huehuetenango (7 %), Escuintla (6 %), Quetzaltenango (5 %) y Quiché (5 %). Los principales productos son carne de pollo o gallina (28 %), carne de res sin hueso (27 %) y carne de res con hueso (17 %). La relación urbana rural del consumo de estos productos es de 1.30, es decir que en las urbes se gasta 30 % más en este rubro que en el área rural. La tendencia es similar para los productos lácteos de consumo familiar alcanzan los GTQ 3692 millones anuales y su principal mercado es el departamento de Guatemala con 33 % del total de consumo, seguido por Escuintla (7 %), Quetzaltenango (5 %) y Huehuetenango (5 %). Los principales productos son: huevo de gallina (43 %), queso fresco o duro (23 %), leche líquida (16 %) y crema fresca (15 %). La relación urbana rural del consumo de estos productos es de 1.37, es decir que en las urbes se gasta 37 % más en este rubro que en el área rural (Cámara del Agro & CABI, 2013).

Con la información anterior, es evidente que este subsector es significativo para el país tanto en el tema económico como en la dieta de la población, por la cantidad de proteína que aportan estos alimentos.

La ganadería es un sector productivo que ha crecido debido a un aumento en los precios regionales de la carne. Si bien esto ha aportado a la economía nacional y regional, también ha contribuido al cambio del

uso del suelo hacia áreas de pastoreo para instalar sistemas ganaderos extensivos con impactos y repercusiones en el área rural y el medio ambiente, lo cual ha propiciado la generación de más gases de efecto invernadero (GEI). La ganadería, en el contexto del cambio climático, debe abordarse desde dos perspectivas: primero, mejorando las prácticas de producción para que la actividad no contribuya al aumento de GEI ni a la eliminación de sumideros, como los bosques; segundo, desde la adaptación del sistema productivo a los cambios del clima para que no se vea afectada la economía de este sector (Jiménez et al., 2009).

Existen opciones técnicas que permiten mitigar las emisiones producidas por la ganadería. Uno de los enfoques más promovidos es retomar los principios agroecológicos e implementar sistemas agroforestales y silvopastoriles. También es necesario realizar cambios tecnológicos para mantener o incrementar la productividad animal en un contexto de conservación y buen manejo de los recursos naturales (Jiménez et al., 2009).

Es importante conservar el enfoque de manejo integral de los sistemas de producción animal y la crianza sostenible porque, aparte de obtener materias primas como la carne, la leche y la lana, también proveen fuerza de trabajo y el excremento puede ser utilizado para elaborar fertilizantes y biogás. Adicionalmente, la mayoría de los animales son más resistentes que los cultivos a las variaciones del clima, por lo tanto, en condiciones en donde un evento climático podría acabar con los cultivos es a través de la venta de animales que las familias campesinas pueden sobreponerse a las pérdidas. También la crianza, desde una gallina hasta animales mayores, pueden ser una estrategia para obtener recursos para la producción agrícola. De esta manera, la producción animal a pequeña escala es un componente central en la estrategia de seguridad alimentaria de las familias (Galvão, Silveira, Nascimento, & Nogueira, 2010).

6.2.13 Recursos pesqueros

Las pesquerías no son, hasta el momento, una actividad económica muy desarrollada en Guatemala y no tienen un aporte económico tan significativo como otros sectores productivos; su aporte al PIB es del 0.03 %. Sin embargo, contribuyen a la seguridad alimentaria y al bienestar económico de la población guatemalteca que vive en las zonas costeras del país. Esta actividad se desarrolla principalmente en las aguas del Pacífico y del Atlántico.

Existe un sector importante que trabaja en la pesca artesanal en aguas continentales o interiores en todo el territorio y que produce aproximadamente 15 500 toneladas métricas de productos hidrobiológicos por año. La producción anual de las pesquerías oceánicas es de aproximadamente 32 000 toneladas métricas de productos hidrobiológicos, como el atún, varios tipos de pescado (tiburón, dorado, meros, pargos, sardinas, entre otros), crustáceos (cangrejo, camarón, langosta) y moluscos (almejas, calamares, ostiones y caracoles) (Solomons et al., 2017).

En el año 2003, las exportaciones totales alcanzaron aproximadamente 23 000 toneladas métricas, representando ingresos de USD 50 y USD 80 millones para el país. Las actividades de acuicultura que no son artesanales se centran en la producción de camarón y tilapia (FAO, 2005). Sin embargo, existe poca información sobre los volúmenes de producción y estadísticas que permitan medir la aportación de esta actividad a la economía nacional y a la seguridad alimentaria (Solomons et al., 2017).

Recientemente se reportó una notable reducción en la captura de recursos marinos, no solo dentro de las aguas jurisdiccionales del país, sino más allá de ellas. Los posibles factores se han asociado a un débil control de la pesca artesanal e industrial, a la degradación del fondo marino y al cambio climático que ha perturbado los patrones naturales y la distribución de las especies marinas (FAO, 2005).

Los recursos pesqueros en aguas continentales también han sido degradados por el agua contaminada que proviene de poblados cercanos y residuos de plásticos, entre otros factores que afectan la abundancia y diversidad biológica de las especies de agua dulce (Solomons et al., 2017).

Los ríos concentran los contaminantes que captan en las cuencas y los llevan a la costa marina, donde existen ecosistemas altamente sensibles para la reproducción de especies tanto de agua dulce como

salada, como los estuarios. Los ríos que desembocan en el mar llevan el 80 % de los contaminantes que afectan las franjas costeras (Escobar, 2002), situación que aumenta la vulnerabilidad de este ecosistema. El tema se aborda con mayor detalle en el **capítulo 8**.

6.3 Situación actual de la seguridad alimentaria en el país

La dieta básica guatemalteca continúa basándose en los elementos tradicionales de maíz, frijol, verduras y café, con pocas fuentes de alimento de origen animal. Sin embargo, con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) aumentó la accesibilidad a alimentos procesados de exportación de bajo costo y en algunos casos, con bajo contenido nutricional, que se han agregado a la dieta, pero sin beneficios para la salud (Solomons et al., 2017).

El 30.4 % de la población guatemalteca sufre de inseguridad alimentaria y nutricional (Magrin et al., 2014). La prevalencia de retraso en el crecimiento (baja estatura), que es una de las manifestaciones más severas de la inseguridad alimentaria y nutricional, representa el 46.5 % de niños menores de cinco años (MSPAS, INE, & ICF International, 2017), el porcentaje más alto en el hemisferio occidental (Solomons et al., 2017).

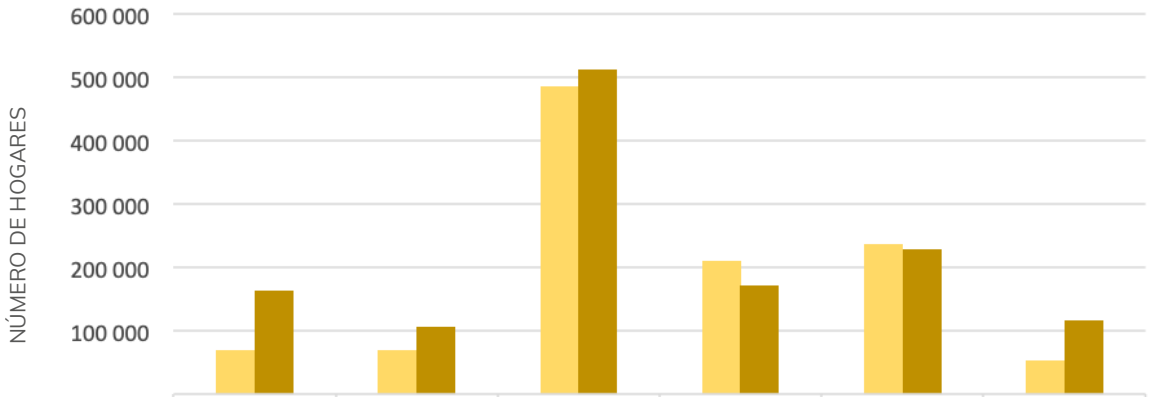
Más del 70 % de los casos de desnutrición crónica infantil (retraso en el crecimiento) a nivel nacional se concentran en hogares rurales dedicados principalmente a las actividades agrícolas. En estos hogares, uno de cada dos niños (53 %) presenta esta condición (MSPAS et al., 2017). La situación de los hogares rurales es altamente vulnerable por la precariedad sistémica que se manifiesta por las altas tasas de pobreza, la falta de acceso a servicios básicos adecuados (agua potable, saneamiento), el limitado acceso a activos productivos (tierra, riego, tecnología) y capacidades para lidiar con las contingencias climáticas, y la falta de desarrollo humano y territorial (educación, vivienda, salud, empleo) (Iarna-URL, IICA, Gálvez, & Andrews, 2015; Iarna-URL, IICA, & McGill University, 2015). De acuerdo con el INE (2016), el 62 % de las personas que viven en pobreza extrema y el 41 % que vive en pobreza moderada están empleados en el sector agropecuario. El Cuadro 6-4 presenta las principales características de los hogares agropecuarios de pequeña escala con base en la clasificación que utilizan los instrumentos de política pública en el país (MAGA, 2011, 2016, 2017).

Cuadro 6-4 Características de los hogares agropecuarios por tipología, año 2011

Tipo de hogares agropecuarios	Área con la que cuenta para cultivar (ha)	Principal destino de la producción	Contrata mano de obra	Incidencia de pobreza en 2011 (porcentaje)		
				Pobres extremos	Pobres no extremos	No pobres
Sin tierra	No posee	No aplica	n.a	25.5	41.0	33.5
Infrasubsistencia	Menor a 0.35	Consumo propio	No	20.8	60.2	19.0
Subsistencia	Entre 0.35 y 0.7	Consumo propio	No	16.1	49.6	34.3
Excedentarios	Entre 0.7 y 3.5	Consumo propio Venta (parcial)	Sí	16.4	51.1	32.5
Pequeños comerciales	Entre 3.5 y 22.5	Venta (mercado interno principalmente)	Sí	18.5	48.8	32.7
Grandes comerciales	Más de 22.5	Venta (mercado interno y externo)	Sí	0.0	46.4	53.6

Nota: La columna área con la que cuenta para cultivar está dada en hectáreas. Los valores de la incidencia de la pobreza en 2011 están dados en porcentaje de la población total de Guatemala. Tomado de Iarna-URL (2019).

La seguridad alimentaria y nutricional de la población guatemalteca está fuertemente vinculada a la actividad agrícola, y por lo tanto al cambio climático en al menos dos vías. La primera tiene que ver con el número de hogares agropecuarios que dependen de su propia producción como la principal vía para acceder a alimentos y, por lo tanto, deben generar capacidades para adaptarse a la variabilidad climática y los eventos extremos. En este sentido son particularmente vulnerables los hogares agropecuarios de infrasubsistencia, subsistencia y excedentarios, los cuales destinan la mayor parte de su tierra a la producción de maíz, frijol negro y papa (BID, 2013). Los datos disponibles muestran que los dos primeros han crecido en número en los últimos años, en tanto que los hogares agropecuarios excedentarios (y los pequeños comerciales) disminuyeron (Figura 6-3).



	Sin tierra	Infra subsistencia	Subsistencia	Excedentarios	Pequeños comerciantes	Grandes comerciantes
2006	68 988	69 077	486 307	210 559	236 904	53 075
2011	164 097	105 856	513 395	171 420	228 621	115 988

Figura 6-3 Distribución de los números de hogares agropecuarios según tipología para los años 2006 y 2011. Los hogares agropecuarios de infrasubsistencia y de subsistencia crecieron en número en los últimos años mientras que los hogares agropecuarios excedentarios (y los pequeños comerciales) disminuyeron. Elaboración propia, basado en Iarna-URL (2019).

La capacidad de respuesta se reduce no solo por la precariedad de la situación socioeconómica de los hogares, sino también por la ocurrencia cada vez más frecuente de los eventos climáticos extremos (Figura 6-4). Las evaluaciones del impacto de la sequía en 2014 estimaron una población afectada de 275 000 familias y la pérdida total de la cosecha de maíz en 26 000 ha y parcial en otras 70 000. Además, 248 000 de esos hogares (1.5 millones de personas) se encontraban en condiciones de inseguridad alimentaria moderada, y 30 000 en inseguridad alimentaria severa (OCHA, UNETE, & Sistema de Naciones Unidas, 2014).

Figura 6-3 Ciclo de la inseguridad alimentaria. La precariedad de la situación socioeconómica de la población de un país y el aumento en la frecuencia de eventos climáticos son los principales factores en la reducción de la capacidad de respuesta ante la inseguridad alimentaria. Adaptado de ONU (2015).

Otra forma en que el cambio climático tiene un efecto importante sobre la seguridad alimentaria y nutricional es a través de su influencia en el empleo agrícola, ya que tiene un impacto en las distintas producciones y, por lo tanto, en los ingresos rurales y el acceso a los alimentos. Un estudio que utilizó un Análisis de Equilibrio General estimó que el impacto de un escenario de sequías frecuentes reduciría el aporte de la agricultura al PIB en un 23 % y generaría efectos negativos en los salarios de los trabajadores agrícolas no calificados (Vargas et al., 2016). Esta situación se suma a la realidad de subempleo que ocurre en el sector agrícola, en el que los ingresos del 93 % de los trabajadores están por debajo del salario mínimo (ASIES, 2012). Por otro lado, el ingreso promedio por hora en el sector se redujo en 12 % entre el 2000 y 2014, lo que ha agudizado la precariedad en la que subsisten muchos de los hogares rurales (Sánchez, Scott, & López, 2016).

Las mujeres juegan un papel fundamental en la agricultura rural. Ellas realizan tradicionalmente actividades específicas como la fertilización, la crianza de animales, el desgranado y almacenamiento de granos, el lavado y empaque de productos, y participan en la comercialización de la producción (Peláez-Ponce & Juárez-Arellano, s/f). Como resultado de la falta de acceso a recursos económicos y empleo, muchos de los hombres (encargados del hogar) han migrado al extranjero, lo cual ha provocado un cambio en la dinámica familiar, en la que se observan nuevos desafíos para las mujeres, quienes ahora deben encargarse del hogar y asumir más responsabilidades en la producción de alimentos.

Entre estos desafíos, sobresalen las restricciones en la mano de obra, la falta de conocimientos y la ausencia de asistencia técnica (Banco Mundial, 2015). Se estima, además, que el 25 % de los jornaleros en las fincas agrícolas son mujeres (CODECA, 2013). De acuerdo con CODECA (2013), las condiciones laborales que ellas deben afrontar son desiguales e injustas: i) el 53 % de las mujeres no reciben pago alguno al ser considerado complemento del trabajo de algún hombre; ii) el 73 % recibe salarios inferiores al de los hombres y muy por debajo del salario mínimo; y iii) no poseen derecho a la maternidad.

En conclusión, las causas de la inseguridad alimentaria y malnutrición (especialmente en niños menores de seis años) son varias y se relacionan con variables socioeconómicas estructurales que no están directamente vinculadas al clima, pero que incrementan la vulnerabilidad de la población ante los posibles impactos del cambio climático. Las principales causas se relacionan con problemas del país, como por ejemplo la baja educación nutricional, falta de acceso a saneamiento, falta de acceso a salud preventiva y reactiva; desempleo, bajos ingresos, migración, alta dependencia de la remesa, desintegración familiar, dinámica de programas sociales, respuestas institucionales, educación, y sus efectos sobre los problemas anteriormente mencionados (Iarna-URL, IICA, & McGill University, 2015).

Otras causas de inestabilidad en materia de seguridad alimentaria y nutricional, más relacionadas con las debilidades en el sistema de producción agropecuario actual, se enumeran a continuación (Solomons et al., 2017):

- Deforestación por cambio de uso del suelo.
- Erosión del suelo debido a cultivos en pendientes pronunciadas sin prácticas de conservación.
- La pérdida gradual de fertilidad y calidad del suelo, desertificación y erosión genética.
- El bajo uso de las variedades mejoradas en los cultivos básicos.
- Poca participación del sector público agrícola en el apoyo a los productores en condición de subsistencia e infrasubsistencia mediante programas eficaces de investigación agronómica y de extensión.
- Limitados programas de riego a pesar de la disponibilidad de agua superficial y subterránea.
- Alta dependencia del uso de fertilizantes químicos y pesticidas importados.
- El bajo nivel educativo de los productores.
- Falta de programas eficaces que pongan en contacto a los productores, asociaciones y cooperativas con las cadenas de valor de los cultivos y los mercados nacionales e internacionales.
- La alta dependencia en las remesas externas.

6.3.1 Medidas técnicas para la adaptación local

Iarna/URL, IICA y McGill University (2015) identifican un conjunto de intervenciones que permitirían fortalecer los sistemas alimentarios de los productores en condición de subsistencia e infrasubsistencia y que responden también a un contexto de cambio climático. Asimismo, se proponen los siguientes deteminantes inmediatos y subyacentes que se asocian a la inseguridad alimentaria y nutricional: i) la diversificación de los sistemas productivos, mediante componentes pecuarios (aves, en particular); ii) la diversificación de la dieta del hogar, con énfasis en la incorporación de productos de origen animal (huevos y lácteos); iii) estrategias para mejorar y garantizar el acceso a agua para consumo y producción de alimentos; y iv) acciones de saneamiento básico.

En cuanto a la atención de los determinantes básicos o estructurales, las intervenciones priorizadas deberían de atender: i) la cobertura y calidad de la educación, como estrategia para viabilizar y diversificar los medios de vida; ii) las intervenciones dirigidas al desarrollo territorial (generación de empleo, infraestructura, acceso a servicios básicos); y iii) acciones orientadas al empoderamiento de las mujeres.

6.3.1.1 Huertos familiares

Azurdia, López, Ovando y Leiva (2006) definen los huertos familiares como agroecosistemas constituidos por gran diversidad de especies distribuidas en diferentes estratos verticales y horizontales dentro de una vivienda.

Las comunidades han adoptado esta medida naturalmente desde hace muchos años. Los huertos familiares juegan un papel muy importante, no solo en la conservación de la diversidad genética, sino particularmente en la participación de las mujeres. El huerto representa un campo experimental, con materiales que se encuentran en el mercado o que se intercambian entre los hogares. En el huerto familiar se conservan, mejoran, seleccionan, diversifican y distribuyen materiales y, de esa manera, se mantienen y se conservan cultivos «subutilizados». Y no solamente de cultivos, sino también de los productores que están interactuando con esos cultivos, que forman parte de su proceso evolutivo. En dichos procesos de conservación y aprovechamiento consiguen seguridad alimentaria, sostenibilidad y resiliencia (CEPAL, 2016).

Cabe destacar el uso de plantas de uso medicinal, que se conservan en los huertos familiares, las cuales ocupan el tercer lugar después de las plantas destinadas a la alimentación y ornamentación. Estudios conducidos en 46 huertos familiares de la zona semiárida de Guatemala mostraron que 55 especies se utilizan como plantas medicinales. Asimismo, los resultados obtenidos en 46 huertos familiares de la zona cálido-húmeda de Alta Verapaz y en 31 huertos familiares de la zona fría mostraron resultados similares con la presencia de 75 y 98 especies dentro de esta categoría (Azurdia et al., 2006).

6.4 Acciones prioritarias para lograr la sostenibilidad en la agricultura y mejoras a la situación de inseguridad alimentaria en el país

A nivel gubernamental, Guatemala ha iniciado un proceso de planificación para la adaptación en la agricultura con el apoyo de varias entidades nacionales e internacionales. Una de las más activas ha sido la FAO a través de sus programas; también la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y los programas de investigación como el Programa de Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS-CGIAR).

Con la participación de varios actores nacionales, como la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, organizaciones no gubernamentales, la academia, sector privado y los distintos ministerios, también se ha avanzado en desarrollar el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC) (CNCC, 2016), que abarca todos los sectores del país, entre ellos el sector agropecuario.

En la gestación de estos planes es evidente que existe una necesidad, y es un reto a la vez, de replantear el modelo agropecuario actual. Las tendencias a nivel mundial muestran que la agricultura debe migrar a sistemas que estén más armonizados con el funcionamiento de los ecosistemas para lograr una mejor

adaptación y la mitigación de las causas del cambio climático. Dentro de esta nueva perspectiva, la agrobiodiversidad juega un papel fundamental, ya que es la base biológica de la adaptación de la agricultura al cambio climático. También son fundamentales el uso eficiente del agua, del suelo y de los servicios ecosistémicos (FAO, 2010), y cambiar el paradigma de los monocultivos intensivos hacia agroecosistemas diversificados que aporten a la resiliencia y a fortalecer la seguridad alimentaria (CEPAL, 2016).

Desde el punto de vista institucional, hay mucho por hacer. Empezando porque la mayoría de los instrumentos que se han elaborado para la mitigación y adaptación al cambio climático han sido construidos sin indicadores claros sobre el cumplimiento de metas, especialmente en el tema de desarrollo, reducción de la pobreza, reducción de la seguridad alimentaria o la intensificación sostenible de la producción. Se han planteado exclusivamente para enfrentar los impactos del cambio climático, en vez de integrarlos a los planes de desarrollo sectorial o nacional. También la planificación de la adaptación se ha trabajado de manera separada de la planificación para la mitigación, a pesar de las sinergias posibles en el sector para contribuir a ambas metas simultáneamente (Witkowski, Medina H., Borda, & Fajardo, 2017). Sin embargo, es necesario recalcar que se debe ser cuidadoso con las medidas de mitigación adoptadas en países como Guatemala (con alta vulnerabilidad), porque reducir las emisiones no puede significar, en ningún momento, reducir el bienestar o afectar las condiciones de vida de las personas, especialmente de las poblaciones más vulnerables (CEPAL, 2016).

Para lograr avances en el sector, es crucial trabajar de manera más articulada entre los gobiernos locales, el MARN, que tradicionalmente ha sido la institución con competencia y acceso a recursos en el tema de cambio climático, y todos los demás ministerios. Es crucial también que en el país se refuerce la cultura de planificación en sus instituciones para asegurar que cada nuevo instrumento de planificación que se genera haya considerado el contexto institucional ya existente y tomado en cuenta los instrumentos que se gestan regionalmente y los mandatos de los acuerdos globales (Witkowski et al., 2017).

Las instituciones locales y gubernamentales tienen que ser capaces de lograr una visión estratégica de largo plazo, que perdure más allá de los ciclos políticos y genere bases de conocimiento e información necesarias para diseñar medidas de adaptación que permitan una transformación en el corto, mediano y largo plazo (Witkowski et al., 2017).

Es necesario evaluar el funcionamiento del sistema de extensión agrícola para buscar su descentralización y facilitar el acceso a todos los agricultores, promoviendo más la participación de las mujeres.

En el tema de seguridad alimentaria, es necesario comprender y combatir el problema con un enfoque sistémico e integral. El modelo general de la inseguridad alimentaria y la desnutrición crónica infantil en el análisis de los datos del estudio realizado por IARNA (2015) confirma que las acciones aisladas que no contemplen intervenciones en varios puntos del sistema verán limitada su efectividad.

Teniendo en cuenta que la adaptación es un proceso, es necesario fomentar espacios de aprendizaje continuo e intercambio de experiencias. Los intercambios de experiencias dentro del país y entre países son vitales para poder buscar soluciones conjuntas a los retos más apremiantes, de manera que se puedan canalizar recursos financieros y técnicos para acelerar el proceso (Witkowski et al., 2017).

6.5 Vacíos de información

Si bien es muy importante entender lo que ha sucedido en el pasado y en el presente, es importante seguir trabajando en las proyecciones a futuro. Actualmente se han generado modelos climáticos que analizan la productividad de los cultivos más importantes de la región centroamericana para mediados de siglo, pero hace falta desarrollar modelos más sofisticados para analizar otros cultivos. Los modelos también son una herramienta importante para entender los cambios en los ecosistemas, especialmente los cambios en especies en peligro de extinción y en los servicios ecosistémicos. Pero más allá de eso, es necesario que los modelos climáticos nos ayuden a entender, desde lo local a lo regional, los cambios globales y los precios del mercado. Sin esta información y con los efectos del cambio climático, será muy

difícil desarrollar políticas y estrategias a nivel nacional o regional que ayuden a mantener e incrementar los ingresos de los productores (Hannah et al., 2017).

Es necesario estudiar más las especies nativas y diseminar buenas prácticas de conservación, haciendo buen uso de la ciencia y de los conocimientos modernos junto con el conocimiento ancestral (CEPAL, 2016). El país debe generar indicadores y sistemas de monitoreo y evaluación que permitan medir el progreso relativo de las inversiones en adaptación. Este tema es prácticamente incipiente y se ha limitado a realizar monitoreo y evaluación desde un enfoque muy programático, para medir el cumplimiento de actividades y no el impacto real de las medidas de adaptación priorizadas (Witkowski et al., 2017).

También es necesario realizar una sistematización de experiencias exitosas de adaptación en distintas regiones del país, inversión en investigación agropecuaria, innovación en prácticas agrícolas, verificación de prácticas con bajas emisiones o consideradas «carbono neutral» y el desarrollo de proyectos para establecer sistemas de incentivos o venta de certificados de carbono para promover la compensación de huella ecológica.

6.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo legislativo 18-93. Constitución Política de la República de Guatemala (1993). Guatemala.
- Asociación de Investigación y Estudios Sociales (ASIES). (2012). El comercio exterior y el empleo agrícola en Guatemala. *Momento*, 27(5), 18.
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., ... Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7(2), 303–321. https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9
- Azurdia, C., López, E., Ovando, W., & Leiva, M. (2006). *Plantas medicinales en huertos familiares*. Recuperado a partir de http://www.chmguatemala.org/network/other/F1134401743/F1160066279/F1160066527/1119222930
- Baca, M., Läderach, P., Haggar, J., Schroth, G., & Ovalle, O. (2014). An integrated framework for assessing vulnerability to climate change and developing adaptation strategies for coffee growing families in Mesoamerica. *PLoS ONE*, 9(2), 1–11. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088463
- Bacon, C. M., Sundstrom, W. A., Flores Gómez, M. E., Méndez, E., Santos, R., Goldoftas, B., & Dougherty, I. (2014). Explaining the «hungry farmer paradox»: Smallholders and fair trade cooperatives navigate seasonality and change in Nicaragua's corn and coffee markets. *Global Environmental Change*, 25(1), 133–149. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.02.005
- Banco de Guatemala. (2017). *Guatemala en cifras 2017*. Guatemala.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2013). *Reflexiones sobre el desarrollo de la economía rural de Guatemala*. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Banco Mundial. (2015). *Social sector expenditure and institutions review. Report 78000*. Washington, D.C.: Central America Country Management Unit, Poverty Reduction and Economic Management.
- Bioversity International. (2013). *Plan de acción estratégico para fortalecer la conservación y el uso de los recursos fitogenéticos mesoamericanos para la adaptación de la agricultura al cambio climático - PAEM 2014-2024*. Cali, Colombia. Recuperado a partir de https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Plan_de_accion_estrategico_para_fortalacer_la_conservation__PAEM_1683.pdf

- Bouroncle, C., Imbach, P., Läderach, P., Rodríguez, B., Medellín, C., Fung, E., ... Donatti, C. I. (2015). *La agricultura de Guatemala y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación?* Copenhague, Dinamarca: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Cámara del Agro. (2018). *Huella del Agro nacional*. Guatemala.
- Cámara del Agro, & Central American Business Intelligence (CABI). (2013). *Inteligencia de consumo de productos agrícolas (demanda actual del mercado nacional)*. Guatemala.
- Castellanos, E. (2013). ¿Cómo estará el entorno ambiental en Guatemala en las siguientes décadas? *Revista UVG*, (26), 51–55. Recuperado a partir de http://www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-26/5.COMO ESTARA EL ENTORNO AMBIENTAL.pdf
- Castellanos, E., & Guerra, A. (2009). *El cambio climático y sus efectos sobre el desarrollo humano en Guatemala*. Cuadernos de desarrollo humano 2007/2008. Guatemala.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (2012). *Escenarios del impacto del clima futuro en áreas de cultivo de café en Guatemala*. Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Cline, W. R. (2008). Global warming and agriculture. *Finance and Development*, (March), 23–27. https://doi.org/10.1002/9780470752630.ch18
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2016). *Agrobiodiversidad, agricultura familiar y cambio climático. Serie seminarios y conferencias* (Vol. 85). Santiago de Chile. Recuperado a partir de https://www.cepal.org/es/publicaciones/40299-agrobiodiversidad-agricultura-familiar-cambio-climatico
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2017). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina: síntesis de políticas públicas sobre cambio climático*. Santiago de Chile.
- Comité de Desarrollo Campesino (CODECA). (2013). *Situación laboral de trabajadores/as agrícolas en Guatemala*. Mazatenango, Guatemala: Comité de Desarrollo Campesino.
- Consejo Nacional de Cambio Climático (CNCC). (2016). *Plan de acción nacional de cambio climático*. Guatemala. Recuperado a partir de http://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2016/10/Plan-de-Acción-Nacional-de-Cambio-Climático-ver-oct-2016-aprobado-1.pdf
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). (2013). Política nacional de diversidad biológica (Acuerdo Gubernativo 220 -2011) Estrategia nacional de diversidad biológica y su plan de acción (Resolución 01-16-2012) La década de la vida y el desarrollo. Políticas, programas y proyectos (01-2013). Consejo Nacional de Áreas Protegidas.
- Corner-Dolloff, C., Nowak, A., Lizarazo, M., Fuentes, M., Mejía, M., & Rojas, E. (2015). *Prioritizing Investments in Climate-Smart Agriculture in Guatemala*.
- Decreto 2-70. Código de Comercio de Guatemala (1970). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Eakin, H. (2005). Institutional change, climate risk, and rural vulnerability: Cases from Central Mexico. *World Development*, 33(11), 1923–1938. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2005.06.005
- Eakin, H., Bojórquez-Tapia, L. A., Diaz, R. M., Castellanos, E., & Haggar, J. (2011). Adaptive capacity and social-environmental change: Theoretical and operational modeling of smallholder coffee systems response in mesoamerican pacific RIM. *Environmental Management*, 47(3), 352–367. https://doi.org/10.1007/s00267-010-9603-2

Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Galvão, A., Silveira, L., Nascimento, M., & Nogueira, F. (2010). *En invierno sembramos, en verano criamos: integración agricultura-producción pecuaria en la región semiárida de Paraíba*. Revista de agroecología LEISA, 26(1). Recuperado a partir de http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-26-numero-1/1744-en-invierno-sembramos-en-verano-criamos-integracion-agricultura-produccion-pecuaria-en-la-region-semiarida-de-paraiba

Global Water Partnership (GWP) Centroamérica. (2017). *Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: hacia una gestión integrada*. Tegucigalpa, Honduras: Global Water Partnership Central America.

Gómez, J. J. (2001). *Vulnerabilidad y Ambiente*. Santiago de Chile.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014). *Cambio climático 2014: impactos, adaptación y vulnerabilidad - Resumen para responsables de políticas. Contribución del grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. (C. Field, V. Barros, D. Dokken, K. Mach, M. Mastrandrea, E. Bilir, ... L. White, Eds.). Ginebra: Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra (GIMBUT). (2014). *Mapa de bosques y uso de la tierra 2012 y mapa de cambios en uso de la tierra 2001- 2010 para estimación de emisiones de gases de efecto invernadero*. Guatemala.

Hannah, L., Donatti, C. I., Harvey, C. A., Alfaro, E., Rodriguez, D. A., Bouroncle, C., ... Solano, A. L. (2017). Regional modeling of climate change impacts on smallholder agriculture and ecosystems in Central America. *Climatic Change*, 141(1), 29–45. https://doi.org/10.1007/s10584-016-1867-y

Holt-Giménez, E. (2001). Midiendo la resistencia agroecológica contra el huracán Mitch. *Revista de agroecología LEISA*, 7–10.

Holt-Giménez, E. (2002). Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93, 87–105. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00006-3

Hulme, M. (2003). Abrupt climate change: can society cope? *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 361, 2001–2021.

Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2009). *Perfil ambiental de Guatemala 2008-2009: las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo*. Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar.

Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2015). *Proyecto inseguridad alimentaria y desnutrición en Guatemala*. Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar.

Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2016). *Gota a gota, el futuro se acota. Una mirada a la disponibilidad presente y futura del agua en Guatemala*. Guatemala.

Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2019). *Perfil ambiental de Guatemala 2019*. Guatemala: en proceso de publicación.

Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Gálvez, J., & Andrews, K. (2015). *Perfil del agro y la ruralidad de Guatemala 2014 Situación actual y tendencias*. Guatemala: Cara Parens.

Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), & McGill University. (2015). *Análisis sistémico y territorial de la seguridad alimentaria y nutricional en Guatemala: Consideraciones para mejorar prácticas y políticas públicas*. Guatemala: Cara Parens.

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2016). *Encuesta de condiciones de vida 2014*. Tomo I. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística.

Jiménez, G., Quechulpa, S., Esquivel, B., Pinto, L. S., Montes, F. R., Ruiz, M., & Márquez, C. (2009). Ganadería y cambio climático: mitigación y adaptación en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Revista de agroecología LEISA*, 26(1). Recuperado a partir de http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-26-numero-1/1741-ganaderia-y-cambio-climatico-mitigacion-y-adaptacion-en-comunidades-indigenas-de-chiapas-mexico

Jones, P. G., & Thornton, P. K. (2003). The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change*, 13(1), 51–59. https://doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00090-0

Lobos, A. (2014). *Análisis del seguro agrícola para productores apoyados por el programa Dacrédito*. Universidad Rafael Landívar.

Loening, L. J., & Markussen, M. (2003). *Pobreza, deforestación y pérdida de la biodiversidad en Guatemala*. Ibero America Institute for Economic Research.

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

Martínez-Rodríguez, M. R., Viguera, B., Donatti, C. I., Harvey, C. A., & Alpízar, F. (2017). *Como enfrentar el cambio climático desde la agricultura: prácticas de adaptación basadas en ecosistemas (AbE)*. Turrialba: Conservación Internacional-CATIE.

Maselli, S. (2013). Recursos filogenéticos: elementos clave para el desarrollo y la seguridad alimentaria. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, 26, 56–59.

Maselli, S. (2014). *Manual técnico operativo para el funcionamiento y manejo de semillas en bancos comunitarios*. Ciudad de Guatemala.

Maselli, S. (2017). *Identificación de elementos para conformar una Red Nacional de Bancos Comunitarios de Semillas y fortalecer el funcionamiento de los Bancos ya existentes*. Ciudad de Guatemala: Universidad Del Valle de Guatemala, Biodiversity Internacional, Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, FIDA y la Unión Europea.

- Méndez, J. J. (2017). *Compendio de prácticas ancestrales del sistema milpa*. Guatemala: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2011). *Sistema nacional de extensión agrícola. Planteamiento y avances*. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2013). Política de promoción del riego 2013-2023. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2014). *El agro en cifras 2014*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2016). Política agropecuaria 2016-2020. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2017). *Ruta de trabajo para la incorporación de consideraciones de género en el proceso nacional REDD+ de Guatemala*. Guatemala.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2017). *Informe ambiental del estado de Guatemala 2016. Guatemala*. Recuperado a partir de http://www.marn.gob.gt/Multimedios/8879.pdf
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), Instituto Nacional de Estadística (INE), & ICF International. (2017). *VI encuesta nacional de salud materno infantil 2014-2015. Informe final*. Guatemala: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
- Oficina de Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA), UNETE, & Sistema de Naciones Unidas. (2014). *Plan de respuesta canícula prolongada/sequía 2014*. Guatemala.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *World Risk Report 2015*. Recuperado a partir de http://climate-l.iisd.org/news/worldrisk-report-2015-food-insecurity-increases-disaster-risk/
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2005). *Resumen informativo sobre la pesca por países*. FAO. Ciudad de Guatemala. Recuperado a partir de ftp://ftp.fao.org/FI/DOCUMENT/fcp/en/FI_CP_BO.pdf%5Cnftp://ftp.fao.org/FI/DOCUMENT/fcp/es/FI_CP_VE.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2010). *Climate-Smart agriculture: Policies, practices and financing for food security, adaptation and mitigation*. Rome. https://doi.org/10.1111/j.1467-6346.2009.02662.x
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2012). *Segundo plan de acción mundial para los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). *Adaptación de la agricultura al cambio climático*. Recuperado a partir de http://www.fao.org/fileadmin/templates/tci/pdf/backgroundnotes/webposting_SP.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Agricultura. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). *Caracterización de los sistemas agroforestales Kuxur Rum y Quesungual en el corredor seco de Guatemala y Honduras.* Ciudad de Panamá: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Peláez-Ponce, A. V., & Juárez-Arellano, H. (s/f). *Lineamientos estratégicos para el fortalecimiento de la agricultura familiar y la inclusión en Guatemala.* Guatemala: IICA.
- Pokorny, B., & Jong, W. de. (2015). Smallholders and forest landscape transitions: locally devised development strategies of the tropical Americas. *International Forestry Review*, 17(S1), 1–19. https://doi.org/10.1505/ifor.11.2.155
- Porres, V., De León, D., De León, E., & Cifuentes, R. (2015). Producción de tomate bajo invernaderos a pequeña escala ¿es rentable? *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, (31), 46–53.
- Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (UNEP). (2010). *Informe de la décima reunión de la conferencia de las partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica.* Nagoya, Japón.
- Quist, D., & Chapela, I. (2001). Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature*, 414(10), 541–543.
- Rosenzweig, C., Iglesius, A., Yang, X. B., Epstein, P. R., & Chivian, E. (2001). Climate change and extreme weather events - Implications for food production, plant diseases, and pests. *Global change & Human Health*, 2(2), 90–104. https://doi.org/10.1023/A:1015086831467
- Sánchez, S., Scott, K., & López, H. (2016). *Guatemala: Closing gaps to generate more inclusive growth.* Washington, D.C.: Banco Mundial.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2009). *Connecting biodiversity and climate change mitigation and adaptation: Report of the second ad hoc technical expert group on biodiversity and climate change.* CBD Technical Series. Montreal.
- Solano, A. L. (2017). *The Lima Declaration on Biodiversity and Climate Change: Contributions from Science to Policy for Sustainable Development.* Guatemala: Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- Solomons, N. W., Castellanos, E., Cifuentes Velásquez, F. R., Maselli Conde, S., Orozco Figueroa, M. N., Pennington, P. M., ... Zambrano Ruano, G. G. (2017). Seguridad alimentaria y nutricional en Guatemala. En Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS) (Ed.), *Retos y oportunidades de la seguridad alimentaria y nutricional en las Américas. El punto de vista de las Academias de Ciencias* (pp. 352–375). México: IANAS.
- Tobías, H., & Duro, J. (2013). *Estado del recurso suelo en Guatemala, prioridades y necesidades para su manejo sostenible.* La Habana, Cuba.
- Tucker, C. M., Eakin, H., & Castellanos, E. (2010). Preceptions of risk and adaptation: Coffee producers, markets shocks, and extreme weather in Central America and Mexico. *Global Environmental Change*, 20(1), 23–32.
- Vargas, R., Escobar, P., Cabrera, M., Cabrera, J., Hernández, V., & Guzmán, V. (2016). *Food vulnerability in Guatemala: a static general equilibrium analysis.* Guatemala.

Viguera, B., Martinez-Rodriguez, M. R., Donatti, C. I., Harvey, C. A., & Alpizar, F. (2017). *El clima, el cambio climático, la vulnerabilidad y acciones contra el cambio climatico: conceptos básicos*. Turrialba: CATIE.

Witkowski, K., Medina H., D., Borda, A. C., & Fajardo, K. (2017). *Planificando para la adaptación al cambio climático en la agricultura: análisis participativo del estado actual, retos y oportunidades en América Central y Sur*. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

7

DIVERSIDAD BIOLÓGICA
Y ECOSISTEMAS TERRESTRES

Autores: Jaime Luis Carrera[1], Virginia Mosquera Salles[2] y Alejandro Gándara[3]
Autores contribuyentes: Daniel Ariano Sánchez[4] y Javier Rivas Romero[5]

[1] Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad, Universidad Rafael Landívar, jlcarrera@url.edu.gt
[2] Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad, Universidad Rafael Landívar, vmosquera@url.edu.gt
[3] Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad, Universidad Rafael Landívar, ggandara@url.edu.gt

[4] Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad, Universidad del Valle de Guatemala
[5] Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala

Forma de citar este capítulo:
Carrera, J. L., Mosquera Salles, V., & Gándara, A. (2019). Diversidad biológica y ecosistemas terrestres.
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. 142–169). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Mensajes clave:

- Debido al cambio climático, es altamente probable que Guatemala experimente una transición de ecosistemas muy húmedos y húmedos (excedentarios en agua) a ecosistemas secos y muy secos (deficitarios en agua), lo que generará cambios en los bienes y servicios ecosistémicos provistos.

- Actualmente se ha registrado cambios en la distribución de especies (anfibios, aves y marsupiales) de ecosistemas húmedos y de montaña hacia territorios con condiciones climáticas más propicias para su sobrevivencia. Algunas han desaparecido de regiones donde se consideraban abundantes. Es altamente probable que en el futuro se observe la reducción de las poblaciones de algunas especies, e incluso la extinción de otras.

- Algunos ecosistemas secos han evidenciado poseer una preadaptabilidad a condiciones extremas de déficit de agua, por lo que se consideran estratégicas para la provisión de algunos servicios ecosistémicos y la preservación de recursos genéticos.

RESUMEN

La diversidad biológica de Guatemala enfrenta retos importantes frente al cambio climático y los seguirá enfrentando en las siguientes décadas. Diversos estudios proyectan una transición de ecosistemas terrestres muy húmedos y húmedos (excedentarios en agua) hacia ecosistemas secos y muy secos (deficitarios en agua), lo que supondrá una transformación de las diversas formas de vida y de sus interacciones con su entorno biótico y abiótico. Las evaluaciones y estudios desarrollados en los últimos años evidencian modificaciones en los patrones de distribución y en el comportamiento de diferentes especies en diversos ecosistemas del país. También se ha observado la desaparición de algunas especies de regiones donde años atrás eran consideradas abundantes. Ante los impactos presentes y futuros del cambio climático, las estrategias para atenuar la intensidad y gravedad de esos impactos en la diversidad biológica y ecosistemas existentes en el país pueden agruparse en: i) estrategias de conservación y manejo de los ecosistemas (establecimiento de áreas protegidas, corredores biológicos y mecanismos de protección de los ecosistemas); ii) manejo forestal sostenible; iii) restauración de ecosistemas deteriorados; iii) adaptación de la gestión con consideración del cambio climático; iv) adopción de enfoques basados en los ecosistemas para la gestión del agua, la planificación del territorio y el desarrollo de producciones agrícolas, entre otros.

CONTENIDO

7.1 Introducción 146

7.2 Ecosistemas de Guatemala 146
- 7.2.1 Enfoque de zonas de vida con base en el sistema de Holdridge 146
- 7.2.2 Clasificación por ecorregiones 148

7.3 Impactos observados y potenciales del cambio climático sobre la diversidad biológica 150
- 7.3.1 Impactos potenciales en las zonas de vida 150
  - 7.3.1.1 Bosques muy húmedos, pluviales montanos 152
  - 7.3.1.2 Bosques húmedos y muy húmedos montanos 153
  - 7.3.1.3 Bosques secos y muy secos 154
  - 7.3.1.4 Manglares 155

7.4 Medidas de adaptación 156
- 7.4.1 Mecanismos de mantenimiento y protección de ecosistemas 156
- 7.4.2 Manejo forestal sostenible 159
- 7.4.3 Restauración de ecosistemas 160
- 7.4.4 Adaptación de la gestión para enfrentar el cambio climático 161
- 7.4.5 Adaptación basada en ecosistemas 161
- 7.4.6 Financiamiento para la gestión de la diversidad biológica 161

7.5 Vacíos de información 162

7.6 Consideraciones finales 162

7.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 163

7.1 Introducción

El concepto de biodiversidad o diversidad biológica se refiere a la variabilidad de organismos vivos; abarca la diversidad de ecosistemas terrestres, acuáticos, marinos y los complejos ecológicos de los que forman parte; y comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas (ONU, 1992). Entre otros, la diversidad biológica de un país se refleja en el número y variedad de ecosistemas que posee, en la cantidad y diversidad de especies en cada región y entre las regiones, y en el número de endemismos[1] (Iarna-URL & IIA, 2004).

La importancia de la diversidad biológica para las sociedades es vital, ya que suministra la mayoría de servicios ecosistémicos que las comunidades humanas requieren para su sobrevivencia y bienestar (CONAP, 2008). Los ecosistemas no solo desempeñan un papel fundamental en el resguardo de la vida silvestre, sino que además generan gran parte de los servicios que permitirán adaptarse y mitigar los cambios del clima, como el secuestro de carbono, la mitigación de desastres, la provisión de agua potable y el mantenimiento de los suelos (Dudley et al., 2010).

En este capítulo se presentan los desafíos actuales y potenciales que el cambio climático implicará para la diversidad biológica del país, con énfasis en los ecosistemas terrestres.

7.2 Ecosistemas de Guatemala

La diversidad biológica actual de Guatemala es, en su origen, el resultado de la historia geológica y climática del país, pues el territorio centroamericano, al quedar prácticamente como un corredor entre la masa neoártica de Norteamérica y la del neotrópico del sur, permitió la formación de variados microclimas y la consecuente migración y evolución de especies (Schuster & Bonis, 2008). Otros determinantes que explican la importante diversidad biológica de Guatemala son (Castañeda, 2008): i) la antigüedad geológica del istmo centroamericano; ii) la ubicación geográfica entre dos océanos (Pacífico y Atlántico); iii) la variabilidad altitudinal que va desde los cero hasta los 4000 metros sobre el nivel del mar; y iv) la disposición de cadenas montañosas que permiten la migración recíproca entre los hemisferios norte y sur.

La comunidad científica ha propuesto distintos enfoques para clasificar ecosistemas; estos se basan, en síntesis, en alguno de los siguientes criterios (Castañeda, 2008): i) aspectos climáticos; ii) factores fisiográficos o edáficos; iii) elementos vegetativos; o iv) la combinación de varios criterios (llamados aproximaciones ecosistemáticas). De acuerdo con Castañeda (2008) la extensa variedad de factores que determinan los procesos ecológicos, y por lo tanto a los ecosistemas mismos, sugiere la necesidad de contar con varias clasificaciones, de acuerdo al propósito que se busque al distinguir comunidades vegetales. En Guatemala existen varias clasificaciones (CONAP, 2008; Iarna-URL & IIA, 2004). Para el propósito de este apartado se describen a continuación dos de ellas: i) la clasificación basada en el sistema de Holdridge (zonas de vida); y ii) la clasificación por ecorregiones.

7.2.1 Enfoque de zonas de vida con base en el sistema de Holdridge

El sistema de Holdridge (1967) se sintetiza en un diagrama (Figura 7-1) que relaciona la biotemperatura media anual (expresada en grados centígrados), la precipitación anual (expresada en milímetros) y la humedad (relación entre temperatura y precipitación). El diagrama presenta hexágonos que representan la zona de vida en donde coinciden las tres características climáticas (Emanuel, Shugart, & Stevenson, 1985; Holdridge, 1967; Iarna-URL, 2011).

La Figura 7-1 muestra un ajuste del diagrama original de Holdridge, propuesto para Guatemala en el proceso de elaboración del mapa de zonas de vida más reciente generado en el país (Pérez, Gándara, Rosito, Maas, & Gálvez, 2016). De acuerdo con Pérez et al. (2016) el diagrama se modificó debido a que se observaron inconsistencias durante la etapa de validación en campo; estas obedecían a la presencia de una zona transicional en el país. Lo anterior se corrigió truncando los hexágonos del diagrama de Holdridge en la línea horizontal de los 24 °C.

1 Se refiere a especies propias y exclusivas de determinada localidad o región (RAE, 2019a).

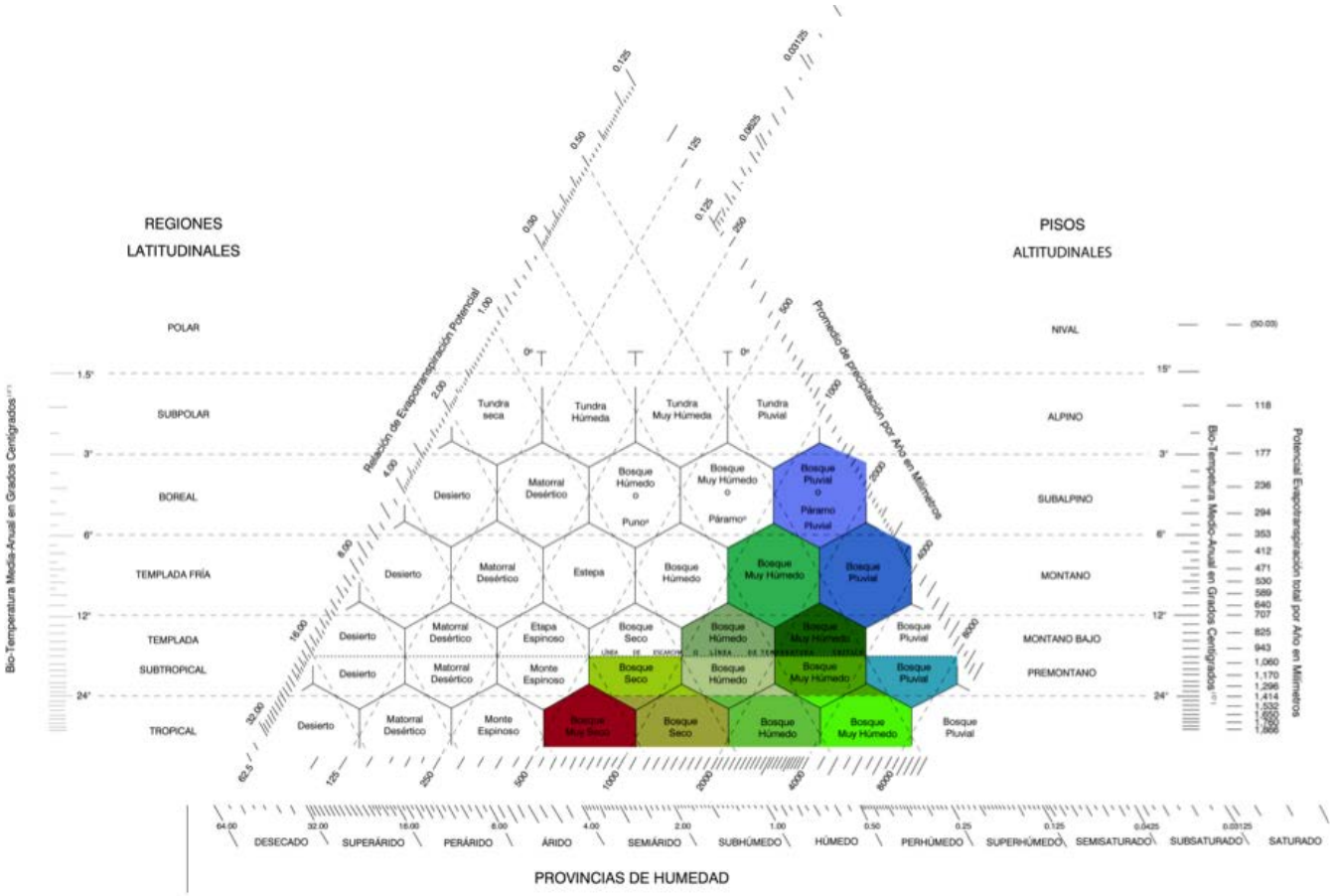


Figura 7-1 Diagrama de clasificación de zonas de vida de Holdridge corregido para Guatemala. Este fue modificado debido a que se observaron inconsistencias durante la etapa de validación en campo. Estas incongruencias se debían principalmente a la presencia de una zona transicional en el país. Tomado de Pérez et al. (2016).

De acuerdo con el Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL, 2011, 2018), en Guatemala pueden identificarse 16 zonas de vida, todas dentro del rango latitudinal tropical, y dentro de un rango altitudinal entre «basal»[2] y subandino. La distribución de las zonas de vida en el país se presenta en Cuadro 7-1 y en la Figura 7-4. La zona de vida con mayor predominio en el país es el bosque húmedo (aproximadamente el 57 % del territorio nacional); principalmente en los pisos altitudinales de montano bajo (bh-MBT), premontano (bh-PMT) y «basal» (bh-T). En esta zona de vida se presenta una relación evapotranspiración/precipitación menor a uno, por lo que son ecosistemas excedentarios de agua (Iarna-URL, 2011; Iarna-URL & IIA, 2004).

2 Se le denomina piso altitudinal «basal» a aquellas zonas de vida que se encuentran entre el nivel del mar y los 1000 msnm y que en la clasificación de Holdridge aparece sin un nombre denominador.

Cuadro 7-1 Extensión de las zonas de vida de Guatemala

Provincia de humedad	Zona de vida	Denominación	Extensión (km²)	Porcentaje del territorio nacional
Perhúmeda	Bosque pluvial-Subandino tropical	bp-SAT	31	0.03
	Bosque pluvial-Montano tropical	bp-MT	29	0.03
	Bosque pluvial-Premontano tropical	bp-PMT	308	0.28
Superhúmeda	Bosque muy húmedo-Montano tropical	bmh-MT	2271	2.09
	Bosque muy húmedo-Montano bajo tropical	bmh-MBT	2584	2.37
	Bosque muy húmedo-Premontano tropial	bmh-PMT	9006	8.27
	Bosque muy húmedo-Tropical	bmh-T	6212	5.70
Húmeda	Bosque húmedo-Montano tropical	bh-MT	34	0.03
	Bosque húmedo-Montano bajo tropical	bh-MBT	12 041	11.06
	Bosque húmedo-Premontano tropical	bh-PMT	15 513	14.25
	Bosque húmedo-Tropical	bh-T	34 700	31.87
Subhúmeda	Bosque seco-Montano bajo tropical	bs-MBT	50	0.05
	Bosque seco-Premontano tropical	bs-PMT	4489	4.12
	Bosque seco-Tropical	bs-T	20 815	19.12
Semiárida	Bosque muy seco-Tropical	bms-T	789	0.72
	Monte espinoso-Premontano tropical	me-PMT	15	0.01

Nota: Los datos de extensión se presentan en kilómetros cuadrados y en porcentaje del territorio nacional. Elaboración propia, basado en Iarna-URL (2011) y Pérez et al. (2016).

7.2.2 Clasificación por ecorregiones

Una ecorregión es una unidad relativamente grande de tierra geográficamente delimitada, que contiene un arreglo distintivo de comunidades naturales que comparten la mayoría de sus especies, la dinámica ecológica, las condiciones ambientales, y cuyas interacciones ecológicas son fundamentales para su permanencia a largo plazo (Castañeda, 2008; Dinerstein et al., 1995; Iarna-URL & IIA, 2004). La clasificación por ecorregiones es ecosistemática, en cuanto integra componentes geológicos, morfológicos, climáticos y de vegetación para la determinación de las ecorregiones (Castañeda, 2008), como se aprecia en la descripción en el Cuadro 7-2. En el caso de Guatemala, se han identificado 14 ecorregiones. La distribución geográfica en el territorio nacional se presenta en la Figura 7-2.

Cuadro 7-2 Síntesis descriptiva de las 14 ecorregiones de Guatemala

Tipo de ecosistema	Ecorregión	Descripción	Área potencial de vegetación natural	Porcentaje del país
Bosques muy húmedos, pluviales montanos (incluye bosques nubosos)	Bosques montanos centroamericanos	Bosques latifoliados, húmedos, tropicales y subtropicales, en tierras volcánicas, tierras calizas altas del norte, tierras metamórficas y tierras volcánicas de la bocacosta	593 900	5.49
	Bosques montanos de Chiapas	Bosques latifoliados, húmedos, tropicales y subtropicales, en tierras calizas altas del norte	18 700	0.17
Bosques húmedos montanos	Bosques de pino-encino centroamericanos	Bosques de coníferas tropicales y subtropicales en tierras altas volcánicas, tierras calizas altas y bajas del norte, tierras metamórficas y tierras volcánicas de la bocacosta.	2 933 500	27.13
Bosques pluviales, muy húmedos, y húmedos basales	Bosques húmedos del Atlántico centroamericano	Bosques latifoliados, húmedos, tropicales y subtropicales, en tierras calizas altas del Norte, tierras de las llanuras de inundación del Norte y tierras metamórficas	774 500	7.16
	Bosque húmedos de Petén-Veracruz	Bosques latifoliados tropicales y subtropicales en tierras calizas bajas y tierras altas del norte.	4 773 700	44.15
	Bosques húmedos de la Sierra Madre de Chiapas	Bosques latifoliados, húmedos, tropicales y subtropicales, en tierras altas volcánicas, tierras de la llanura costera del Pacífico y tierras volcánicas de la bocacosta. Se le considera una de las regiones más biodiversas de la Tierra.	573 200	5.30
	Bosques húmedos de Yucatán	Bosques de latifoliados húmedos tropicales y subtropicales en tierras calizas bajas del norte.	12 100	0.11
Bosques secos, deciduos y bosque espinoso	Bosques secos centroamericanos	Bosques latifoliados secos, tropicales y subtropicales, en tierras altas volcánicas, en tierras altas volcánicas, tierras de la llanura costera del Pacífico y tierras volcánicas de la bocacosta.	660 700	6.11
	Bosques secos de la depresión de Chiapas	Bosques latifoliados secos, tropicales y subtropicales, en tierras calizas altas del norte	89 600	0.83
	Arbustal espinoso del valle del Motagua	Vegetación considerada propia de desiertos y matorrales xéricos en tierras metamórficas. Se considera el área más seca de Centroamérica	232 800	2.15
Manglares	Manglares de la costa beliceña	Manglares en tierras de la llanura de la inundación del norte. Relacionada con la barrera del arrecife coralino mesoamericano	35 100	0.32
	Manglares del bosque seco de la costa del Pacífico	Manglares en tierras de la llanura costera del Pacífico	26 100	0.24
	Manglares de Tehuantepec-El Manchón	Manglares en tierras de la llanura costera del Pacífico. Presenta los manglares más altos de Guatemala	87 300	0.81
	Manglares del norte de Honduras	Manglares en tierras de la llanura de inundación del norte	1 900	0.02

Leyenda

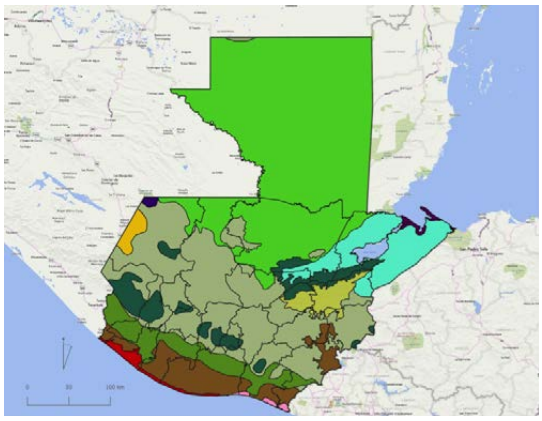


Figura 7-2 Mapa de ecorregiones de la República de Guatemala. Esta clasificación ecosistemática integra componentes geológicos, morfológicos, climáticos y de vegetación para la determinación de cada una de las ecorregiones a nivel nacional. Adaptado de Iarna-URL (2009).

Nota: El área potencial de vegetación natural está dada en hectáreas. Elaboración propia, basado en Castañeda (2008), Iarna-URL (2011) y Byers, Sandoval & López-Selva (2016).

7.3 Impactos observados y potenciales del cambio climático sobre la diversidad biológica

Los impactos potenciales del cambio climático en la diversidad biológica se refieren a los efectos previsibles de este fenómeno sobre los sistemas naturales, en ausencia de acciones de adaptación (IPCC, 2007a). Dichos impactos potenciales son el resultado, por un lado, de la exposición a las modificaciones del clima a las que se verá sometido en el futuro un sistema en particular, las cuales fueron discutidas en la primera parte de este reporte **(sección 1)**; y por el otro, de la sensibilidad que el sistema presente frente a esas variaciones concretas (Delgado et al., 2016). En los sistemas forestales, la exposición al cambio climático podrá inducir transformaciones en los distintos niveles de organización, desde cambios en la productividad y la fenología de los individuos, hasta modificaciones en la abundancia y distribución de las especies o en la estructura misma de los ecosistemas (CEPAL, 2017; Corlett, 2012; Iarna-URL, 2011; IPCC, 1997, 2001; Settele et al., 2014).

A continuación se discuten los escenarios que se han construido sobre las potenciales modificaciones de las zonas de vida, en el contexto de las variaciones probables del clima en el país. Luego se presenta el conocimiento disponible sobre la sensibilidad de algunos ecosistemas y especies determinadas a las variaciones climáticas recientes en el territorio nacional. Finalmente se consideran algunos aspectos adicionales que determinan que la sensibilidad de los sistemas naturales, frente al cambio climático, se incremente en el país.

7.3.1 Impactos potenciales en las zonas de vida

Como aproximación general para evaluar el impacto del cambio climático en la diversidad biológica en Guatemala y Centroamérica, varios estudios han elaborado escenarios con base en el sistema de zonas de vida de Holdridge (CEPAL, 2012; CEPAL, NDF, BID, & MARN, 2018; Iarna-URL, 2011, 2018). Los resultados y las tendencias presentadas en los distintos estudios son similares en cuanto al efecto que los probables escenarios climáticos tendrán en el futuro en las diferentes provincias de humedad. El más relevante es la ampliación de las provincias de humedad deficitarias en humedad (zonas de vida secas). A continuación, se discuten los escenarios generados a partir del mapa de zonas de vida más reciente elaborado para Guatemala (Iarna-URL, 2011, 2018; Pérez et al., 2016).

Como ya se ha mencionado, el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge identifica zonas biogeográficas con base en la relación que existe entre las comunidades vegetales, la latitud y altitud y tres variables climáticas (biotemperatura, precipitación promedio anual y evapotranspiración potencial). Bajo este enfoque es previsible que los cambios de clima induzcan el desplazamiento de las zonas de vida y los ecosistemas (CEPAL et al., 2018), por lo que es posible simular el impacto potencial que diferentes escenarios climáticos tendrían en la distribución y extensión de las zonas de vida actuales (Emanuel et al., 1985; Jiménez, 2009; Smith, Shugart, Bonan, & Smith, 1992).

IARNA/URL (2011) evaluó esos cambios potenciales para los años 2050 y 2080, con base en los escenarios climáticos A2 y B2 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)[3], utilizando el modelo de circulación del clima global HADCM3 elaborado por el Hadley Center del Reino Unido. La Figura 7-4 muestra que tanto en el escenario A2 como en el B2, las provincias de humedad que disminuyen en extensión son las muy húmedas y húmedas, en tanto que las provincias de humedad secas, muy secas y espinosas aumentan. En el escenario A2 para el año 2050, permanecerían únicamente 14 de las 16 zonas de vida con que actualmente cuenta el país, pues tanto la zona de vida bp-SAT como la bh-MT desaparecerían; para el año 2080 desaparecería además la zona de vida bp-PMT, por lo que ya no existiría ninguna zona de vida pluvial. Estas tendencias son similares en el escenario B2 (Figura 7-4b). La Figura 7-3 permite observar los cambios en la distribución de las zonas de vida en ambos escenarios. Entre otros, las zonas de vida seca se extienden a la meseta central hacia 2050 y

3 Desarrollaron cuatro escenarios (A1, A2, B1 y B2). Cada escenario representa un nivel de desarrollo diferente determinado por aspectos humanos **(capítulo 3)**. El tipo A corresponde a un escenario pesimista donde se mantienen o aumentan las emisiones de GEI, mientras que el tipo B representa un escenario optimista en el que se disminuyeron las emisiones de GEI (IPCC, 2007b).

para el año 2080 abarcan áreas del corredor volcánico; en tanto que gran parte de la Reserva de la Biosfera Maya, en Petén, se transforma en una zona de vida muy seca. En este escenario aparece potencialmente en aumento la zona de vida monte espinoso tropical (me-T) hacia 2080, en la parte central de la cuenca del Motagua, en los departamentos de El Progreso y Zacapa.

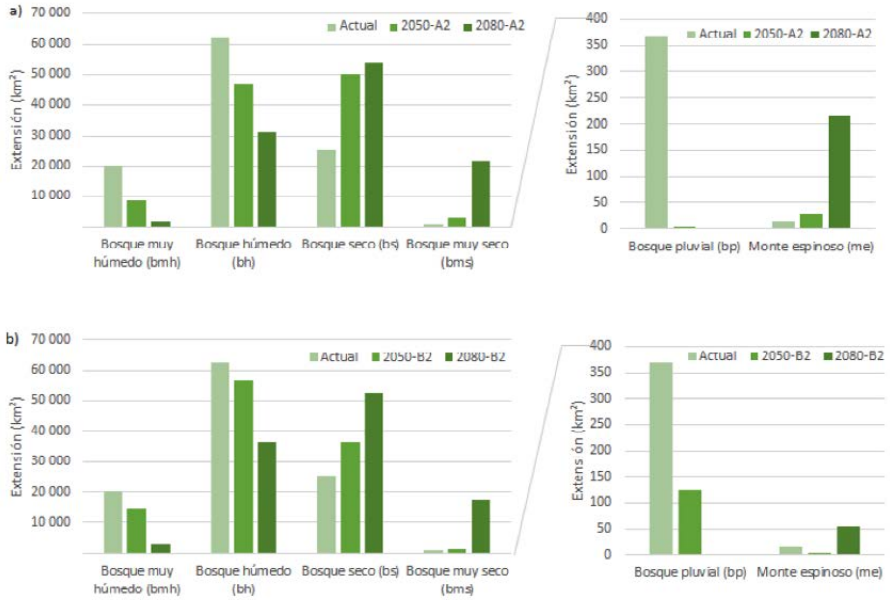
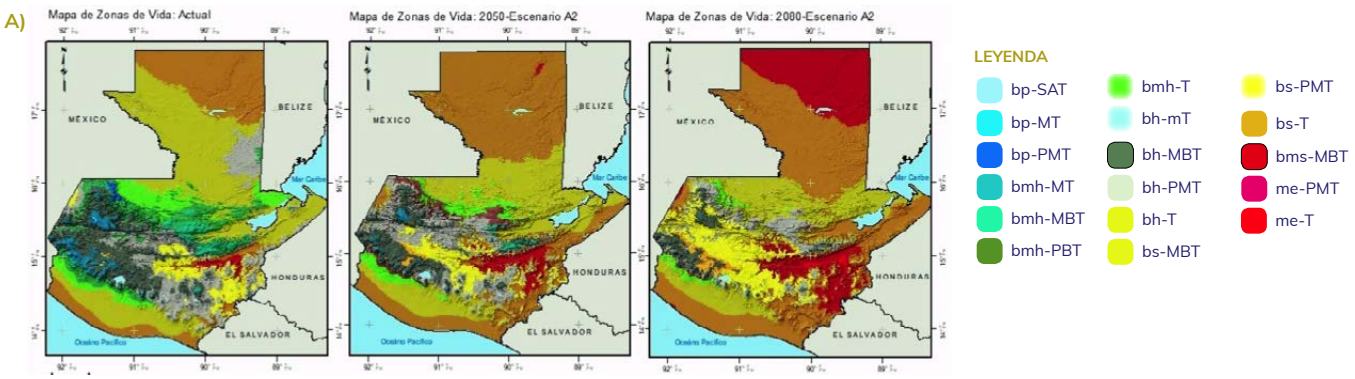


Figura 7-3 Cambios en la extensión de las provincias de humedad para 2050 y 2080 (en km²) para los escenarios A2 (a) y B2 (b). Tanto en el escenario A2 como en el B2, las provincias de humedad que disminuyen en extensión son las muy húmedas y húmedas, lo cual significa que las provincias de humedad secas muy secas y espinosas aumentan. En el escenario A2 para el año 2050, permanecerían únicamente 14 de las 16 zonas de vida con que actualmente cuenta el país, pues tanto la zona de vida bp-SAT como la bh-MT desaparecerían; para el año 2080 desaparecería además la zona de vida bp-PMT, por lo que ya no existiría ninguna zona de vida pluvial. Adaptado de Iarna-URL (2011, 2019).



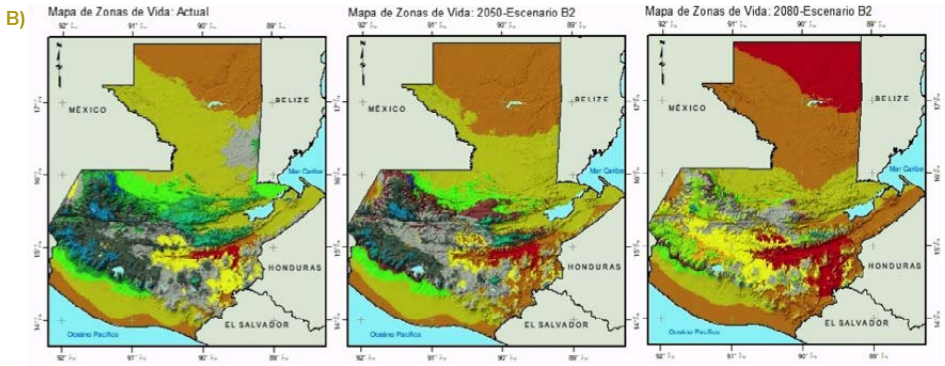


Figura 7-4 Mapas de la distribución de zonas de vida en los escenarios de cambio climático A2 (a) y B2 (b) para la actualidad, para el 2050 y para el 2080. Las zonas de vida seca se extienden a la meseta central hacia 2050 y para el año 2080 abarcan áreas del corredor volcánico; en tanto que gran parte de la Reserva de la Biosfera Maya, en el Petén, se transforma en una zona de vida muy seca. Se resalta que los escenarios consideran para el año 2080 la aparición de las zonas de vida monte espinoso premontano tropical (me-PMT) y monte espinoso tropical (me-T). Adaptado de Iarna-URL (2011, 2019).

Diferentes estudios proyectan impactos significativos del cambio climático sobre la diversidad biológica de la región mesoamericana (Anderson et al., 2008; CEPAL, 2017; Uribe, 2015). En términos generales se considera altamente probable que en Guatemala ocurran cambios en la distribución de las especies a lo largo de los distintos gradientes altitudinales, latitudinales y climáticos, una reducción en el tamaño de las poblaciones y un alto porcentaje de extinción de mamíferos, reptiles, aves y ranas (Blaustein et al., 2010; Galindo, de Miguel, & Ferrer, 2010; Iarna-URL, 2011). Los impactos concretos dependerán, entre otros, de la sensibilidad de las especies específicas (flexibilidad de los rangos de distribución, interacciones dentro de los ecosistemas), del grado de salud e integridad ecológica de los ecosistemas, la conectividad entre los espacios naturales y de la presión que otros factores de naturaleza antropogénica generan sobre los sistemas naturales, tales como la fragmentación y la deforestación del paisaje forestal (Delgado et al., 2016; Iarna-URL, 2011; Uribe, 2015). A continuación, se discuten tanto las observaciones documentadas en el país, como los impactos potenciales que a nivel de la diversidad biológica se han proyectado por tipo de ecosistema.

7.3.1.1 Bosques muy húmedos, pluviales montanos

Los escenarios de zonas de vida descritos anteriormente muestran que los bosques muy húmedos y pluviales montanos podrían ser fuertemente impactados por el cambio climático en las próximas décadas, y que podrían llegar a desaparecer en los próximos 100 años. Los estudios disponibles sugieren que, entre estos, los bosques nubosos son particularmente sensibles a los cambios de las condiciones climáticas; ya que casi todos los componentes de este ecosistema, desde el ciclo hidrológico hasta la composición de especies de plantas y animales, son afectados por su inmersión recurrente en neblinas (Foster, 2001). En este contexto, se proyecta que existirá una recomposición del ensamblaje de sus comunidades naturales como consecuencia del cambio climático; lo que implicaría la pérdida de diversidad biológica, cambios acelerados en la distribución de las especies, altas tasas de mortalidad, una limitada capacidad de recuperación de muchas especies y la extinción de algunas de ellas (Chen et al., 2011; Foster, 2001; Iarna-URL, 2011).

A nivel internacional se reconoce que los anfibios son especies altamente sensibles y vulnerables ante los cambios ambientales y climáticos (Blaustein et al., 2010; Urban, 2015), y en particular aquellas especies que habitan bosques montanos, tanto en regiones templadas como tropicales (Wells, 2007). Entre los casos documentados para Guatemala está el de las salamandras terrestres que habitaban las tierras altas del occidente del país. De acuerdo con Rovito et al. (2009), en los muestreos recientes se han encontrado *Pseudoeurycea brunnata*, *P. goebeli* y *P. rex*, únicamente en las partes más altas de sus rangos altitudinales conocidos, especialmente en el volcán Tajumulco, y no se han reportado para zonas en las que se consideraban abundantes en 1970, como es el caso del volcán Chicabal y las montañas de San Marcos.

Adicionalmente se tienen reportes de varias especies que han incrementado sus rangos altitudinales en el país, tal es el caso de la rana arborícola de riachuelo *Plectrohyla pokomchi*, cuyo rango altitudinal se incrementó en poco más de 220 metros con respecto a los datos reportados para inicios de los años 90 (Ariano-Sánchez & Gil-Escobedo, 2015); la salamandra *Nyctanolis pernix*, la cual mostró un incremento en su rango altitudinal en 550 metros con respecto a los datos conocidos de la especie (Pineda-Schwarz et al., 2018); y la salamandra de *Engelhardt Bolitoglossa engelhardti* con un incremento de 240 metros (Ruiz-Villanueva, Piedrasanta-López, & Ariano-Sánchez, 2018). Leiva (2015) modeló la distribución de tres especies de rana arborícolas *Plectrohyla matudai*, *Plectrohyla sagorum* y *Ptychohyla euthysanota* en la Reserva de Uso Múltiple de la Cuenca del Lago de Atitlán bajo distintos escenarios de cambio climático. El estudio concluye que las respuestas son especie-específicas y encontró cambios en la extensión de las áreas climáticamente adecuadas para la presencia de las especies que oscilaron entre una reducción del 58 % hasta una ampliación del 76 %, según la especie y el escenario.

Entre las aves, aquellas que habitan en las montañas tropicales han sido identificadas entre las más

vulnerables al cambio climático (Uribe, 2015) y se estima que las dificultades para adaptarse a las condiciones climáticas que les obligan a migrar a alturas cada vez mayores, podrían provocar la extinción local de algunas de las especies endémicas (Shoo, Williams, & Hero, 2005). Un caso conocido en Guatemala es el del pavo de cacho. El pavo de cacho *(Oreophasis derbianus Gray)* es un crácido monotípico (único representante de su género), endémico de algunos bosques nubosos de Chiapas, México y Guatemala (González-García, 2012). Sus principales amenazas son de origen antrópico (cacería, fragmentación de su hábitat, incendios forestales); sin embargo, las proyecciones realizadas por Peterson et al. (2001) muestran que, en el caso de México, la especie podría experimentar reducciones en su área de distribución actual de entre el 73 y el 89 %, lo que supondría con bastante probabilidad su extinción. Estas amenazas, combinadas con la dispersión, aislamiento y reducido tamaño de sus poblaciones, la colocan como una especie «En Peligro» (BirdLife International, 2016). Los resultados del estudio de Peterson et al. (2001) son igualmente válidos para el país, ya que los bosques nubosos de Chiapas y Guatemala muestran similitudes biogeográficas (Gentry, 1982; Marshall & Liebherr, 2000). La extinción del pavo de cacho probablemente repercutiría en las especies de las que se alimenta y dispersa (González-García, Santana-C., Jordano, Rico-Gray, & Urios, 2017), muchas de ellas igualmente con algún grado de amenaza (J. Rivas-Romero & Alvarez-Requena, 2018). Sin embargo, existen especies como la pasha *(Penelopina nigra Fraser)* que podría ocupar su nicho (J. A. Rivas-Romero & Soto-Shoender, 2015) y cuya población no declinaría sustancialmente (Peterson et al., 2001).

Otra especie para la cual se ha reportado cambios en su distribución es el tacuazín ratón *Marmosa mexicana*. Un estudio reciente localizó a la especie 500 metros arriba del límite altitudinal conocido para este marsupial (Lazo, Salazar, Guzmán, & Ariano-Sánchez, 2018).

7.3.1.2 Bosques húmedos y muy húmedos montanos

En Mesoamérica, uno de los ecosistemas indicadores de los bosques húmedos y muy húmedos montanos es el bosque de pino-encino de montaña (arriba de 1000 msnm). Los estudios realizados en México y Centroamérica han determinado la posibilidad de que haya impactos negativos en las poblaciones naturales de especies de importancia económica, como *Pinus patula* y *P. tecunumanii*, a causa del cambio climático (Iarna-URL, 2011). Algunas modelos proyectan impactos significativos del calentamiento global sobre la distribución de las poblaciones naturales de ambas especies; sin embargo, el establecimiento y desempeño adecuado de estas especies, en climas similares a los que se esperarían en los territorios donde se distribuyen naturalmente, sugiere que demuestran una adaptación y resiliencia a los cambios proyectados (Van Zonneveld, Jarvis, Droak, Lemma, & Leibin, 2009).

De acuerdo con Sáenz-Romero, Guzmán y Rehfeldt (2006), los modelos regionales de cambio climático sugieren que la especie *Pinus oocarpa* enfrentará un periodo de adaptación relativamente difícil entre los años 2030 y 2060, cuando se espera que sea más pronunciado el aumento de la aridez en los territorios en los que se encuentran. Entre otros, se espera una alteración en la distribución natural de la especie y una adaptación biológica en «retraso» con respecto a la velocidad de las alteraciones del clima.

7.3.1.3 Bosques secos y muy secos

En la región mesoamericana, los bosques secos son basales por lo general, es decir, están ubicados en altitudes menores a los 1000 metros (Iarna-URL, 2011). Los escenarios de cambio climático discutidos anteriormente proyectan una ampliación significativa en la distribución de estos ecosistemas. Los bosques secos se caracterizan por la estacionalidad en la precipitación. Generalmente, la precipitación promedio anual en estos bosques está por debajo de los 1600 mm de lluvia, con menos de 100 mm mensuales durante al menos cinco meses al año (Ariano-Sánchez, 2017). Asimismo, un aspecto importante para la conservación de estas regiones es que pueden recuperarse a pesar de haber sufrido degradaciones severas. Además de jugar un papel relevante para la conectividad de la diversidad biológica entre diferentes ecosistemas, Griscom y Ashton (2011) señalan que los bosques secos poseen el potencial de recuperar un estado maduro con mayor velocidad que los bosques húmedos, por lo que pueden considerarse más resilientes ante el cambio climático y por lo tanto son una fuente estratégica de servicios ecosistémicos y banco de germoplasma preadaptado a las posibles condiciones climáticas futuras.

Los organismos que viven en los bosques secos han desarrollado mecanismos que les permiten sobrevivir en ambientes cíclicos muy extremos, caracterizados por las temporadas con sequías muy prolongadas y las lluvias torrenciales concentradas en pocos meses o incluso semanas (CONAP, ZOOTROPIC, CECON, & TNC, 2009). Estos ambientes muy extremos condicionan la estructura de la vegetación, compuesta por bosques de menor estatura y área basal, con una composición florística particular. La fenología floral y de fructificación es altamente estacional; muchas especies florecen sincrónicamente durante la transición entre la época seca y la lluviosa cuando los árboles aún están sin hojas (Ariano-Sánchez, 2017).

La colonización de ambientes secos por parte de los reptiles se ha dado principalmente a causa de la habilidad que tienen algunas especies de mantener un equilibrio entre la entrada y la salida del agua; en ese sentido, las especies que habitan los bosques secos han generado mecanismos para regular, hasta cierto límite, la pérdida y ganancia de agua en una compleja interacción entre fisiología, comportamiento y ecología (Pizano & Garcia, 2014). No obstante, se proyecta que el aumento en la estacionalidad de la precipitación, el incremento en la temperatura y la reducción en la cantidad de lluvia causará estrés fisiológico a las diferentes especies de estos ecosistemas, en especial durante el periodo de estivación[4], el cual consiste en la reducción de la actividad y el metabolismo como mecanismo de adaptación a las condiciones climáticas extremas. Estudios en especies como el lagarto escorpión *Heloderma charlesbogerti* (Ariano-Sánchez & Salazar, 2015) y la iguana de órgano *Ctenosaura palearis* (Gil-Escobedo, 2016) muestran evidencia de que los periodos de estivación se han alargado, lo que podría afectar a largo plazo las condiciones fisiológicas de los animales, los cuales, luego de múltiples sequías, podrían reducir sus tasas reproductivas y de sobrevivencia, e incluso parar toda actividad reproductiva al no contar con las reservas energéticas necesarias para una adecuada producción de esperma y óvulos.

Las respuestas fenológicas de estas regiones ante condiciones ambientales cambiantes constituyen uno de los rasgos más relevantes y únicos de esos ecosistemas. Sánchez-Azofeifa et al. (2005) consideran que estas «preadaptaciones» pueden ser esenciales como mecanismos atenuantes de los efectos del cambio climático en las biotas tropicales. No obstante, estos ecosistemas son los más amenazados de las regiones tropicales, en particular por el establecimiento de desarrollos urbanos, agrícolas e industriales (Iarna-URL, 2011).

4 Es el estado fisiológico de torpor (o letargo) que presentan ciertas especies durante el verano (RAE, 2019b).

7.3.1.4 Manglares

De acuerdo con los distintos estudios, el área potencial de vegetación natural de manglar en el país oscilaría entre las 140 000 y 150 000 ha (Byers et al., 2016; Iarna-URL & IIA, 2004); en tanto que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2013) estimó para 2012 una superficie de 18 839 ha. Lo anterior supondría una desaparición de más del 80 % de los manglares que podrían haber existido en el país. En los últimos 70 años, las principales presiones que explican la reducción y deterioro de estos ecosistemas son las dinámicas agrícolas y agroindustriales en las áreas costeras y el proceso desordenado e insostenible de la urbanización (Recio, Kuper, Vallejo, Sommerville, & Jhaveri, 2016). El estado de fragmentación en que se encuentran estos ecosistemas, sumado al aislamiento de los parches de manglar, conducen a que muchos de ellos sean altamente vulnerables al cambio climático (Godoy & De Lacerda, 2015). Los principales impactos directos del cambio climático sobre los bosques de manglar están relacionados con cambios en el medio marino circundante y en las partes altas de las cuencas que drenan hacia los sitios de manglar (IPCC, 2007a) **(capítulo 8)**. El incremento acelerado en el nivel del mar, que traerá niveles mayores de agua marina dentro de los manglares, podría incrementar el efecto perjudicial de las olas y marejadas debido al posible aumento en la intensidad y recurrencia de tormentas tropicales (Ward, Friess, Day, & MacKenzie, 2016). Las sequías pueden contribuir al aumento en esta vulnerabilidad causando mayor estrés hídrico al manglar. La disminución en la precipitación total, aunada al incremento de la evaporación debido al aumento de temperatura, puede conllevar a incrementos en el nivel de salinidad del suelo; esto ocasiona disminución en la sobrevivencia de plántulas de manglar y reducción en las tasas de crecimiento, afectando la composición, diversidad, tamaño y productividad de los manglares (MARN & PNUD, 2018).

Todos estos factores podrían ocasionar un aumento en la mortalidad del manglar, así como un desplazamiento de los manglares hacia tierra adentro (MARN & PNUD, 2018). Sin embargo, los manglares no pueden desplazar sus rangos de distribución geográfica de forma natural, con una rapidez equiparable a las tasas de cambio climático actuales. Asimismo, el potencial desplazamiento del ecosistema mangle hacia tierra adentro se ve limitado por el enorme avance de la frontera agrícola, en especial de grandes monocultivos de exportación como la caña de azúcar en el Pacífico, y de las fincas ganaderas en el Atlántico.

De acuerdo con Yáñez-Arancibia (2014), la respuesta final de los ecosistemas de manglar estará determinada por el balance dinámico entre la tasa de incremento del nivel del mar, la descarga de agua dulce, la acreción sedimentaria, la migración lateral potencial y la temperatura. Cuando el incremento del nivel del mar es mucho mayor que la acreción sedimentaria, y la erosión y migración de la línea de costa sobrepasa la tasa a la cual pueden migrar los manglares, entonces el ecosistema se sumergirá y será reemplazado por un ambiente costero marino. Si la tasa del incremento del nivel del mar es mayor que la acreción sedimentaria, pero la tasa de traslado de la línea de costa no sobrepasa la capacidad del ecosistema de migrar tierra adentro, entonces el bosque de manglar podrá retraerse tierra adentro, aunque esto dependerá de los usos de suelo circundantes y del nivel de conservación que tengan los ecosistemas naturales circundantes a los manglares (bosque seco en el Pacífico o bosque húmedo en el Atlántico).

7.4 Medidas de adaptación

De acuerdo con varios autores (Lawler, 2009; Mawdsley, O'Malley, & Ojima, 2009) las estrategias de adaptación al cambio climático en el caso de la diversidad biológica son similares a las que se utilizan en la actualidad para fines de conservación. Entre los mecanismos que FAO (2013b) identifica como los principales están: i) el mantenimiento de los ecosistemas actuales; ii) el manejo forestal sostenible; iii) la restauración de los ecosistemas dañados; iv) la adaptación de la gestión para enfrentar el cambio climático; y v) la adopción de enfoques basados en los ecosistemas. Además de estos mecanismos, este apartado incluye una breve discusión sobre el financiamiento nacional en los temas de diversidad biológica.

7.4.1 Mecanismos de mantenimiento y protección de ecosistemas

El establecimiento de áreas protegidas y corredores biológicos es uno los principales mecanismos que se ha identificado como clave para el mantenimiento y conservación de los ecosistemas y su adaptación al cambio climático (FAO, 2013b). Estas áreas deberían diseñarse con el objetivo de preservar la diversidad de hábitats, incrementar las probabilidades de persistencia y movilidad de las especies, y reducir las presiones no climáticas. Las redes de áreas protegidas deberían de asegurar, al menos, la representación de los distintos tipos de bosques y la protección de los bosques primarios todavía existentes, a fin de conservar la diversidad de funciones ecológicas y estratégicas de los ecosistemas forestales de un país (Mawdsley et al., 2009; Noss, 2001).

En el caso de Guatemala, el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP) se constituye en el principal instrumento para la conservación de la diversidad biológica (Iarna-URL, 2012). A julio de 2018, el SIGAP estaba constituido por 339 áreas protegidas con una extensión de 3.46 millones de ha, lo que representa alrededor del 31 % del territorio nacional (CONAP, 2018). Con base en el enfoque de ecorregiones se ha calculado que solo siete de las 14 ecorregiones definidas para Guatemala poseen un nivel de representatividad mayor al 15 % en el SIGAP (BANGUAT & Iarna-URL, 2009). Si se analiza el nivel de representatividad de zonas de vida, 12 de las 16 definidas por IARNA (2011) poseen alguna representatividad en el SIGAP, y solo 10 superan el 15 % de representatividad (Figura 7-5). Las zonas de vida sin representación en el SIGAP son el bosque pluvial premontano tropical (bp-PMT), bosque húmedo montano tropical (bh-MT), bosque seco montano bajo tropical (bs-MBT) y monte espinoso premontano tropical (me-PMT). La zona de vida con mayor representación es el bosque seco tropical (bs-T), protegido principalmente a través de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM).

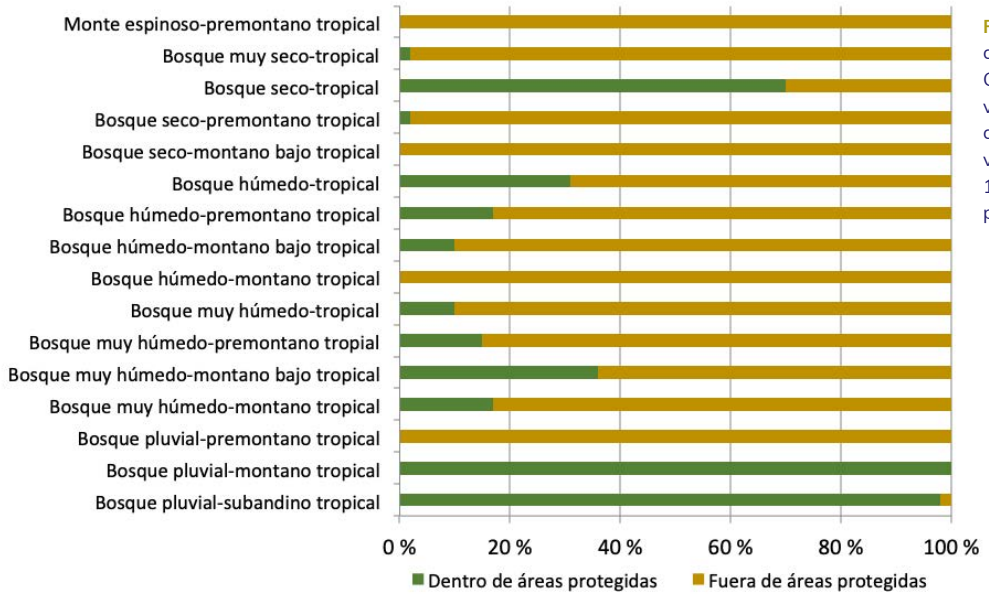


Figura 7-5 Representatividad de las diferentes zonas de vida dentro del SIGAP en porcentajes. De las zonas de vida definidas por IARNA solamente 12 de las 16 poseen alguna representatividad en el SIGAP y solo 10 superan el 15 % de representatividad. Elaboración propia, basado en Iarna-URL (2011).

La Figura 7-6 muestra en qué medida cambiaría la conformación del SIGAP con base en los cambios en las zonas de vida presentadas anteriormente en el escenario A2. En síntesis, se observa un cambio significativo en las zonas de vida que lo conformarían. Por ejemplo, la zona de vida bosque húmedo tropical (bh-T) pasaría de representar el 33 % del SIGAP en 2015, a representar el 13.5 y el 5.7% en 2050 y 2080 respectivamente (Figura 7-6). Por otro lado, la presencia de los ecosistemas secos se incrementaría del 44 % en 2015, hasta el 84 % del SIGAP para el año 2080. Los resultados evidencian algunas implicaciones del cambio en las condiciones climáticas para los mecanismos actuales de conservación.

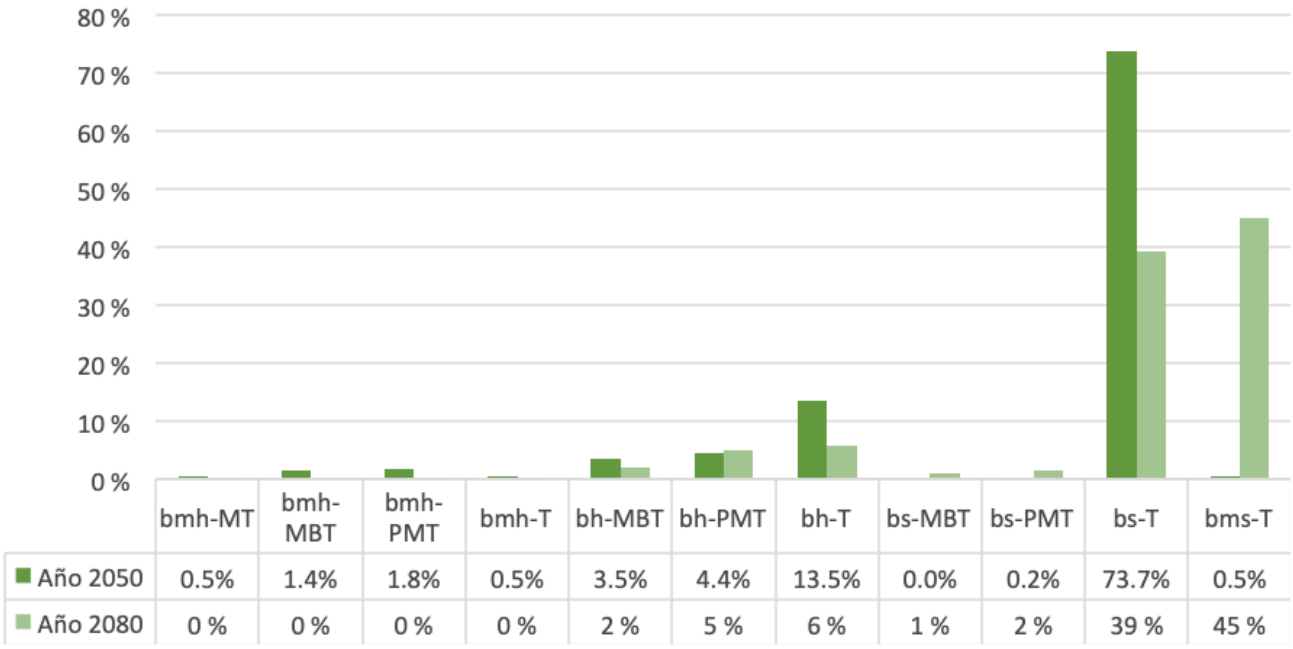


Figura 7-6 Zonas de vida representadas dentro del SIGAP bajo el escenario A2 en 2050 (verde oscuro) y bajo el escenario A2-2080 (verde claro). Bajo este escenario la presencia de los ecosistemas secos se incrementaría del 44 % en 2015 hasta el 84 % del SIGAP para el año 2080. Elaboración propia, basado en Iarna-URL (2019).

Si bien el establecimiento de un sistema de áreas protegidas es un elemento importante para el mantenimiento de los ecosistemas, esto no garantiza una administración adecuada. Ese asunto es uno de los principales desafíos, ya que la última evaluación de la efectividad de manejo de las áreas protegidas (CONAP, 2014) mostró que de las 77 áreas consideradas, solo 12 presentaron un nivel aceptable. Las otras 65 áreas (88 % de la extensión evaluada) presentaron un nivel de efectividad de manejo, de regular a no aceptable. Las principales deficiencias se encontraron en el ámbito económico que evalúa los presupuestos y la autosostenibilidad financiera de las áreas; así también, en el ámbito recursos naturales y culturales que considera el nivel de conocimiento, manejo, monitoreo y protección de los bienes naturales y culturales de las áreas protegidas.

Otro mecanismo importante y complementario de conservación de los ecosistemas forestales han sido los programas de incentivos forestales que se han establecido en el país, los cuales también ayudan a la mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI) **(capítulo 12)**. Los más importantes, en los últimos 20 años, han sido el Programa de incentivos forestales (PINFOR) que funcionó entre 1997 y 2016 (INAB, 2014); el Programa de incentivos para el establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques (PROBOSQUE) que inició en 2017 (Decreto 2-2015, 2015) y tendrá una duración de 30 años; y el Programa de incentivos forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal (PINPEP) que dio inicio en 2007 (Decreto 51-2010, 2010). A través de estos tres programas se han establecido proyectos de manejo de bosque natural con fines de protección, los cuales representaron, en conjunto, más de 327 000 hectáreas para el periodo 1998-2017. La incorporación anual de bosque natural al manejo para protección se muestra en la Figura 7-7.

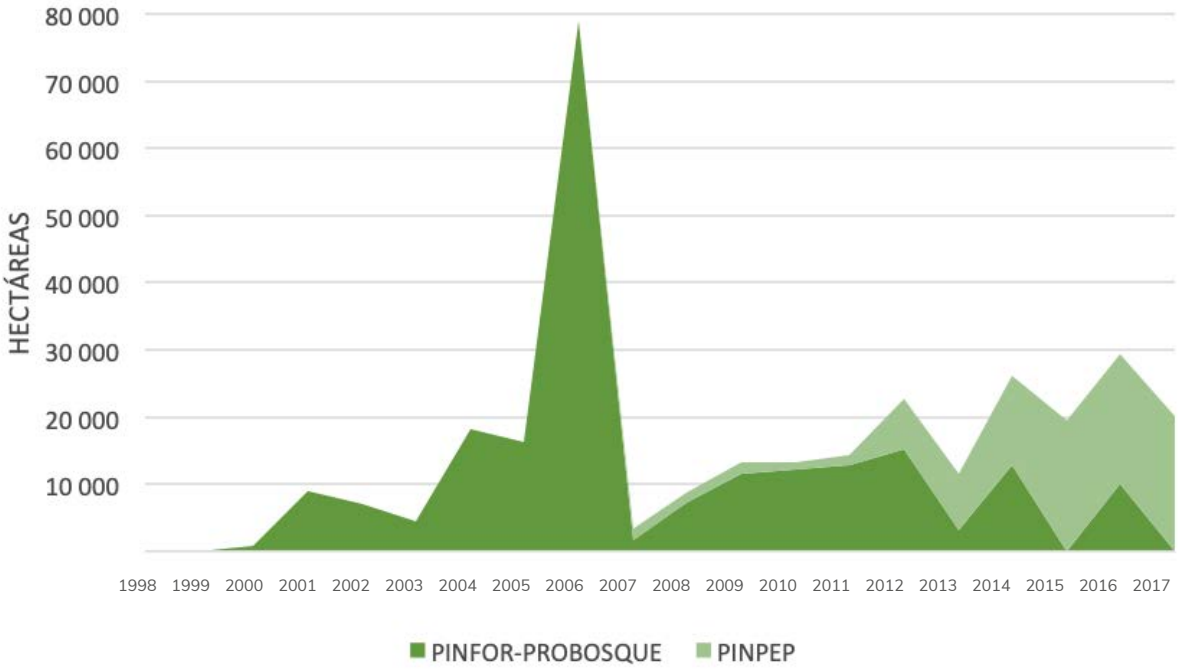


Figura 7-7 Superficie incorporada anualmente bajo la modalidad de proyectos de manejo forestal con fines de protección a través de los distintos programas de incentivos forestales (en ha) para el periodo 1997-2017. Fuente: Elaboración propia, basado en INAB (2018b, 2018a).

7.4.2 Manejo forestal sostenible

El manejo forestal sostenible es otro mecanismo que permite mantener y conservar los ecosistemas forestales y los bienes y servicios que estos proveen (FAO, 2013a). El proceso más importante de manejo forestal sostenible que se ha establecido en el país es el de las concesiones forestales en la Zona de Usos Múltiples de la Reserva de la Biosfera Maya, en el norte del departamento de Petén. Actualmente la superficie que se encuentra concesionada bajo este mecanismo administrativo, tanto en concesiones comunitarias como industriales, supera las 475 000 hectáreas (Cuadro 7-3).

Cuadro 7-3 Superficie bajo cada categoría de manejo de la Reserva de la Biosfera Maya y extensión de las diferentes modalidades de concesiones forestales en el año 2017

Zonas de la RBM		Área	Porcentaje de la RBM
Zona de Usos Múltiples	Concesiones comunitarias	349.9	16.6
	Concesiones inactivas	48.4	2.3
	Concesiones industriales	128.9	6.1
	No concesionado	266.7	12.7
Zona de amortiguamiento		463.8	22.1
Zona núcleo		844.2	40.2
Total		2101.9	100.0

Nota: RBM = Reserva de Biosfera Maya. Los valores del área están en miles de hectáreas y porcentaje del territorio de la Reserva de Biosfera Maya. Elaboración propia, basada en ACOFOP & PRISMA (2017).

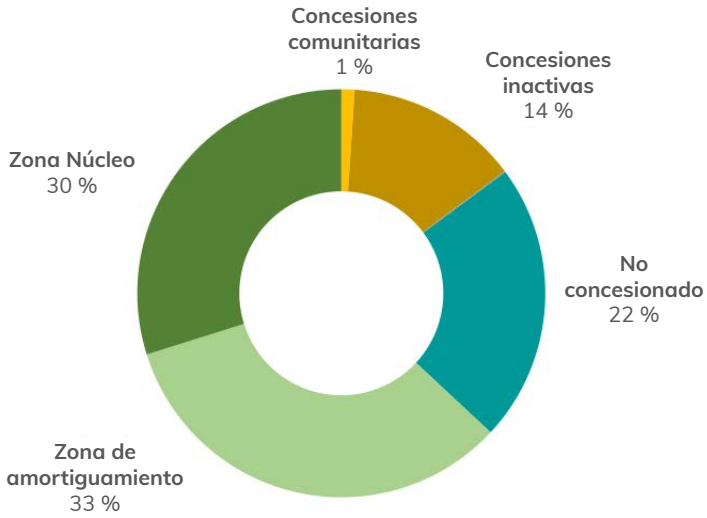


Figura 7-8 Proporción de la tasa de incidencia de incendios forestales en las diferentes zonas y tipos de manejo de la RBM (Reserva de la Biosfera Maya). El manejo forestal comunitario a través de las concesiones comunitarias ha implicado una reducción significativa en esas áreas con respecto al resto de la RBM. La tasa de incidencia de incendios es igual al número de puntos de calor por área de la zona en miles de ha multiplicado por 100. Elaboración propia, basado en ACOFOP & PRISMA (2017).

De acuerdo con Gómez y Méndez (2007); el proceso concesionario ha generado tanto beneficios ambientales como sociales. Entre los primeros se puede subrayar: i) la certificación, a través del sello SmartWood© del Forest Stewardship Council, de la administración y manejo del bosque de las concesiones activas; ii) la reducción significativa de los incendios forestales; y iii) la reducción del avance de la frontera agrícola. En cuanto a los beneficios sociales, las concesiones forestales han promovido la diversificación y fortalecimiento de los medios de vida de las comunidades, que incluyen desde la producción agrícola hasta proyectos turísticos, y el fortalecimiento de la organización comunitaria.

La Figura 7-8 permite observar cómo el manejo forestal sostenible puede ser una estrategia efectiva de adaptación frente al cambio climático, en particular en las condiciones de mayor estrés hídrico que se espera para Guatemala. En síntesis, el manejo de las concesiones ha implicado una reducción significativa en esas áreas con respecto al resto de la RBM, tanto en el número de incendios detectados como en su incidencia.

7.4.3 Restauración de ecosistemas

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013b) cada vez existe más evidencia de que los ecosistemas grandes y saludables tienen mayor capacidad de resistir al cambio climático. En este sentido, además de proteger bosques relativamente poco intervenidos, un segundo mecanismo para la adaptación en el caso de la diversidad biológica lo constituye la restauración ecológica de los sistemas naturales, proceso que también ayuda a la mitigación de GEI **(capítulo 12)**. La Estrategia Nacional de Restauración del Paisaje Forestal (ENRPF) es el principal instrumento que, a nivel nacional, intenta ordenar las acciones de restauración de los ecosistemas. La restauración del paisaje forestal se define como «el proceso orientado a recuperar, mantener y optimizar la diversidad biológica y el flujo de bienes y servicios ecosistémicos para el desarrollo, ajustado al sistema de valores y creencias locales e implementadas con un enfoque intersectorial» (Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2015).

Entre sus acciones, la ENRPF pretende propiciar la articulación y coordinación con otros mecanismos que a nivel nacional poseen potencial para generar acciones de restauración de los ecosistemas forestales, entre los que destacan (Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2015): i) la Estrategia REDD+ con la implementación de actividades propuestas dentro del Programa Nacional de Reducción de Emisiones, a través de acciones específicas como la reforestación, el establecimiento de sistemas agroforestales y la restauración forestal; y ii) el Programa de incentivos forestales PROBOSQUE para fomentar el establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala, el cual otorga pagos directos para el establecimiento de acciones de manejo forestal. La ENRPF ha definido 13 áreas potenciales para la implementación de acciones de restauración y 17 acciones de restauración específica (Cuadro 7-4).

Cuadro 7-4 Áreas potenciales para la implementación de acciones de restauración y transiciones desde el uso actual hacia otros usos

Uso actual	Áreas potenciales de restauración	Acción de restauración específica	Área
Pasto natural	Plantaciones de caoba y otras especies	Plantación caoba y especies semi-preciosas	59 015
		Plantación caoba y especies secundarias	
		Plantación caoba y melina	
	Plantaciones maderables > 1500 msnm	Plantación pino	14 739
		Plantación de pinabete	
	Sistema agroforestal granos básicos con caoba		55 922
	Sistemas agroforestales con pino		12 798
	Sistema agroforestal cacao-plátano-caoba		44 653
	Sistema silvopastoril		79 565
Guamil	Bosque ripario (50 %) y plantación caoba (50 %)		42 502
	Bosque ripario (50 %) y plantación pino (50 %)		9 373
	Bosque protegido		47 503
	Plantación maderable		251 964
	Sistema agroforestal cacao-plátano-caoba		88 868
Granos básicos	Sistema agroforestal granos básicos con caoba		74 313
	Sistema agroforestal > 1500 msnm	Sistema agroforestal granos básicos con pino	85 540
		Sistema agroforestal ejote francés con pino	
		TOTAL	866 755

Nota: La columna «Áreas potenciales de restauración» se refiere al tipo de cobertura que debería de tener ese territorio; mientras que la columna de «Acción de restauración específica» denota las acciones de seguir para la restauración. msnm = metros sobre el nivel del mar. El área está dada en hectáreas. Adaptado de Mesa Nacional de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala (2018).

Los programas de incentivos forestales también han incluido modalidades orientadas a la restauración y recuperación de los ecosistemas; en el caso del PINFOR bajo la modalidad de la regeneración natural, y en el caso de PROBOSQUE bajo la modalidad de restauración de tierras forestales degradadas. En los últimos 20 años, poco más de 4750 ha fueron incentivadas bajo estas modalidades. En 2017 se conformó la Red de Restauración de la Costa Sur que aglutina a actores del sector público, sector privado (caña de azúcar, banano, fruta), gobiernos locales, mancomunidades y organizaciones locales con el objetivo de generar acciones que promuevan la restauración de los ecosistemas forestales en el territorio (ICC, 2018).

7.4.4 Adaptación de la gestión para enfrentar el cambio climático

La gestión de la diversidad biológica en el contexto de un clima cambiante supone incorporar criterios y proyecciones de cambio climático a los mecanismos y estrategias convencionales de conservación (FAO, 2013b; Mawdsley et al., 2009; Noss, 2001). En el caso de la conservación de la fauna silvestre, FAO (2013b) afirma que en muchos casos se deberán valorar acciones tales como la ampliación o rediseño de las áreas protegidas, la reubicación de poblaciones, la alimentación artificial y en casos extremos, la construcción e ingeniería de hábitats en áreas más idóneas dadas las nuevas condiciones climáticas.

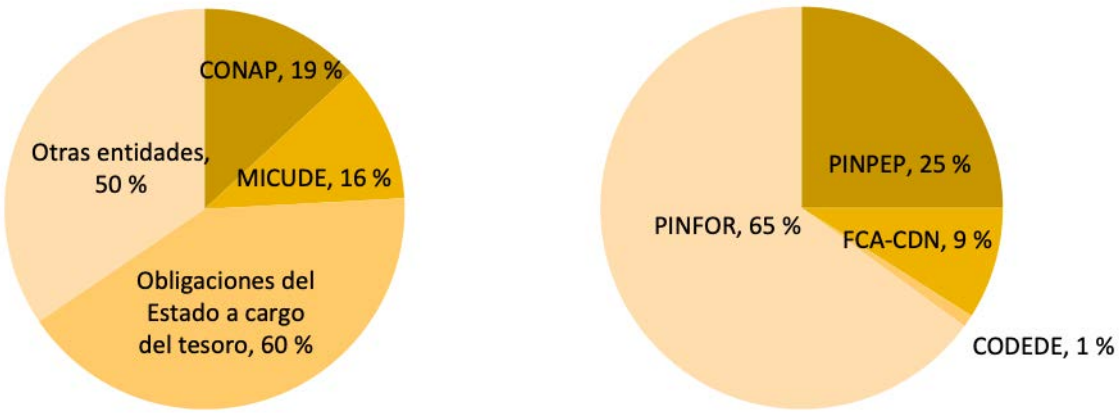
7.4.5 Adaptación basada en ecosistemas

La Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) se define como «la utilización de la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas, como parte de una estrategia más amplia de adaptación, para ayudar a las personas a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático» (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2009). El concepto detrás de la AbE es utilizar e integrar la «infraestructura verde» y los servicios ecosistémicos a las estrategias dirigidas a reducir la vulnerabilidad y fortalecer la resiliencia de las poblaciones humanas (Olivier, Probst, Renner, & Riha, 2012). En ese sentido la AbE integra una serie de mecanismos que buscan «ordenar» el uso de la tierra y de los ecosistemas naturales, tales como la gestión integrada del agua y de las cuencas, la gestión del riesgo, el establecimiento de diversos sistemas agropecuarios o las estrategias de planificación territorial (Lhumeau & Cordero, 2012).

La Estrategia Nacional de Diversidad Biológica y su Plan de Acción 2012-2022 (CONAP, 2012) plantea, por ejemplo, la oportunidad de establecer paisajes productivos sostenibles que integren la producción agrícola y la protección y conservación de los ecosistemas naturales, en tanto que los programas de incentivos forestales como PROBOSQUE y PINPEP han incluido, dentro de la cartera de proyectos aplicables para los programas, el establecimiento de proyectos agroforestales. Las medidas de adaptación basadas en ecosistemas que se realizan en Guatemala se abordan también en el **capítulo 6**.

7.4.6 Financiamiento para la gestión de la diversidad biológica

Los datos disponibles muestran que para el periodo 2010-2014 el gasto nacional en diversidad biológica sumó un acumulado de USD 331 millones, contabilizando fondos públicos y privados. Si bien el gasto total en diversidad biológica aumentó año tras año durante el periodo, el mismo se mantuvo alrededor del 0.14 % del producto interno bruto anual (Proyecto BIOFIN Guatemala, 2016). En ese periodo, el gasto público representó el 67 % del total (USD 221 millones), en tanto que el gasto privado el 33 % restante (USD 110 millones). El 44 % del gasto privado lo realizó el sector productivo, en tanto que el 32 % y el 24 % lo asumió la cooperación internacional y las organizaciones no gubernamentales respectivamente. El gasto público se distribuyó entre el gasto asumido por las entidades públicas y por las obligaciones del Estado a cargo del tesoro (Figura 7-9).



A) PRINCIPALES ENTIDADES PÚBLICAS

B) OBLIGACIONES A CARGO DEL TESORO

Figura 7-9 Distribución del gasto público en diversidad biológica (en porcentajes) ejecutado por a) entidades públicas (siendo CONAP el Consejo Nacional de Áreas Protegidas y MICUDE el Ministerio de Cultura y Deportes) y b) obligaciones a cargo del tesoro (Siendo PINFOR Proyecto de Incentivos Forestales, PINPEP Programa de Incentivos Forestales para Poseedores de Pequeñas Extensiones de Tierra de Vocación Forestal o Agroforestal, FCA-CDN Fondo para la Conservación de Bosques Tropicales de Guatemala y CODEDE Consejos Departamentales de Desarrollo Urbano). Periodo 2010-2014. Elaboración propia, basado en Proyecto BIOFIN Guatemala (2016).

7.5 Vacíos de información

Si bien en Guatemala se ha mejorado e incrementado la generación de información y conocimiento sobre la diversidad biológica y los ecosistemas en los últimos años, todavía quedan importantes vacíos de información y conocimiento sobre muchos de los procesos ecológicos que ocurren en el país. CONAP (2008) plantea que algunos temas históricamente desatendidos han sido los microorganismos, las especies de ecosistemas acuáticos, la diversidad biológica en el nivel molecular y varios grupos de flora y fauna. Un dato ilustrativo al respecto es, en todo caso, el hecho de que el ámbito con menor puntaje en las evaluaciones de las distintas áreas protegidas del SIGAP sea el del nivel de conocimiento, manejo, monitoreo y protección de los bienes naturales y culturales de las mismas.

Es importante mencionar que todavía existen, a nivel mundial, vacíos y desafíos para el entendimiento de muchos de los complejos procesos ecológicos que se dan sobre el planeta. El cambio climático implica un intento para pronosticar y adelantarse a las posibles respuestas e impactos que estos procesos tendrán ante el cambio de las condiciones del clima.

7.6 Consideraciones finales

Para dar respuesta a los veloces cambios del planeta se requiere entender a la diversidad biológica como «un componente transversal de la vida y el desarrollo del ser humano» y «base para un desarrollo social a nivel local y nacional en cuanto a seguridad alimentaria, comercio justo y provisión de bienes y servicios ambientales» con potencial de incidir en la reducción de la pobreza y la creación de oportunidades (CONAP, 2008). En ese contexto, muchas de las posibilidades de enfrentar el cambio climático pasarán por generar estrategias efectivas para la adaptación de los ecosistemas y sus funciones ecológicas.

La designación de Guatemala, en 2010, como parte del grupo de los 19 países megadiversos, los cuales albergan en conjunto el 70 % de la diversidad biológica del planeta (Iarna-URL, 2012), resalta la riqueza biológica que en el país se tiene y que ha configurado su cultura y su historia. La designación destaca la riqueza biológica y cultural del país, en particular en el tema de la agrobiodiversidad, pues al ser centro de origen de varias plantas cultivadas, representa una fuente de recursos biológicos y genéticos de importancia no solo a nivel nacional sino que a nivel mundial (CONAP, MINEX, & CECON, 2017).

7.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, E., Cherrington, E., Flores, A., Perez, J., Carrillo, R., & Sempris, E. (2008). *Potential Impacts of Climate Change on Biodiversity in Central America, Mexico, and the Dominican Republic*. Panamá: CATHALAC/USAID.

- Ariano-Sánchez, D. (2017). Introducción al bosque seco: distribución y ecología. En *El bosque estacionalmente seco de Guatemala: Flora, fauna y cultura* (pp. 9–24). Guatemala: ProNatura Japan.

- Ariano-Sánchez, D., & Gil-Escobedo, J. (2015). Natural History: *Plectrohyla pokomchi* (Rio Sananja spikethumb frog). *Herpetological Review*, 46(3), 416.

- Ariano-Sánchez, D., & Salazar, G. (2015). Spatial ecology of the endangered Guatemalan Beaded Lizard *Heloderma charlesbogerti* (Sauria: Helodermatidae), in a tropical dry forest of the Motagua Valley, Guatemala. *Mesoamerican Herpetology*, 2(1), 63–74.

- Asociación de Comunidades Forestales de Petén (ACOFOP), & Programa Regional de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente (PRISMA). (2017). *Evaluando la efectividad del control y prevención de incendios forestales en la Reserva de la Biosfera Maya*. Guatemala.

- Banco de Guatemala (BANGUAT), & Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2009). *Cuenta integrada de tierra y ecosistemas (CITE). Sistema de contabilidad ambiental y económica integrada de Guatemala*. Recuperado a partir de http://biblio3.url.edu.gt/publiclg/IARNA/divulgativa/08.pdf

- BirdLife International. (2016). *Oreophasis derbianus*. Recuperado el 10 de agosto de 2018, a partir de http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22678453A92774672.en

- Blaustein, A. R., Walls, S. C., Bancroft, B. A., Lawler, J. J., Searle, C. L., & Gervasi, S. S. (2010). Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. *Diversity*, 2(2), 281–313. https://doi.org/10.3390/d2020281

- Byers, B., Sandoval, C., & Lopez-Selva, M. M. (2016). *Guatemala tropical forest and biological diversity assessment draft report*. Guatemala.

- Castañeda, C. (2008). Diversidad de ecosistemas en Guatemala. *En Guatemala y su biodiversidad: Un enfoque histórico, cultural, biológico y económico* (pp. 181–229). Guatemala.

- Chen, I. C., Hill, J. K., Shiu, H. J., Holloway, J. D., Benedick, S., Chey, V. K., ... Thomas, C. D. (2011). Asymmetric boundary shifts of tropical montane Lepidoptera over four decades of climate warming. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 34–45. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00594.x

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2012). *La economía del cambio climático en Centroamérica: Síntesis. México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe*.

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2017). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina: síntesis de políticas públicas sobre cambio climático*. Santiago de Chile.

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Fondo Nórdico de Desarrollo (NDF), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), & Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2018). *La economía del cambio climático en Guatemala - Documento técnico 2018*. Ciudad de México. Recuperado a partir de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43725/1/S1800650_es.pdf

- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). (2008). *Guatemala y su biodiversidad: un enfoque histórico, cultural, biológico y económico*. (C. Azurdia, F. García, & M. Ríos, Eds.). Guatemala. Recuperado a partir de http://www.bchguatemala.gob.gt/Members/Esolorzano/misdocs-2012/Libro completo-vc-c portada.pd

- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). (2012). *Estrategia Nacional de Diversidad Biológica y su plan de Acción 2012-2022: La década de la vida y el desarrollo.* Consejo Nacional de Áreas Protegidas.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). (2014). *Informe de efectividad de manejo de las áreas protegidas del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas -SIGAP- 2009-2012.* (G. Ortiz, A. Díaz, L. Utrera, & C. Godoy, Eds.). Guatemala.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). (2018). Listado de áreas protegidas. Recuperado el 1 de octubre de 2018, a partir de http://www.conap.gob.gt/AreasProtegidas.aspx
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), Ministerio de Relaciones Exteriores (MINEX), & Centro de Estudios Conservacionistas de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CECON). (2017). *Informe nacional sobre los resultados de las Conferencias de las Partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica: 13a Conferencia de las Partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica; 8a Conferencia de las Partes del Protocolo de Cartagena; 2a Conferencia.*
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), ZOOTROPIC, Centro de Estudios Conservacionistas de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CECON), & The Nature Conservancy (TNC). (2009). *Plan de conservación de las regiones secas de Guatemala.* (D. Ariano-Sánchez, E. Secaira, B. García, & M. Flores, Eds.). Guatemala: The Nature Conservancy.
- Corlett, R. T. (2012). Climate change in the tropics: The end of the world as we know it? *Biological Conservation*, 151(1), 22–25. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.11.027
- Decreto 2-2015. Ley de fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y proyección de bosques en Guatemala (PROBOSQUE) (2015). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Decreto 51-2010. Ley de incentivos forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal (PINPEP) (2010). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Delgado, D., Finegan, B., Martin, M., Acosta, M., Carrillo, F., Hernández, T., ... Ribalaygua, J. (2016). *Análisis de la vulnerabilidad al cambio climático de bosques de montaña en Latinoamérica: un punto de partida para su gestión adaptativa.* Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Recuperado a partir de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8496/Analisis_de_la_vulnerabilidad.pdf
- Dinerstein, E., Olson, D., Graham, D., Webster, A., Primm, S., Bookbinder, M., & Ledec, G. (1995). *A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean.* Washington, D.C.
- Dudley, N., Stolton, S., Belokurov, A., Krueger, L., Lopoukhine, N., MacKinnon, K., ... Sekhran, N. (2010). *Natural Solutions: Protected areas helping people cope with climate change. Evaluation.* Gland, Switzerland, Washington SD and New York, USA: UICN-WCPA, TNC, UNDP, WCS, The World Banks and WWF. https://doi.org/10.1017/S0030605311001608
- Emanuel, W. R., Shugart, H. H., & Stevenson, M. P. (1985). Climatic change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystem complexes. *Climatic Change*, 7(1), 29–43. https://doi.org/10.1007/BF00139439
- Foster, P. (2001). The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55(1–2), 73–106. https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00056-3
- Galindo, L. M., de Miguel, C., & Ferrer, J. (2010). *Gráficos vitales del cambio climático para América Latina y El Caribe: Edición especial para la CP16/CP-RP 6, México.* PNUMA, CEPAL, GRID-Arendal.

- Gentry, A. H. (1982). Neotropical floristic diversity: Phytogeographical connections between Central and South America, pleistocene climatic fluctuations, or an accident of the Andean orogeny? *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 69(3), 557–593. https://doi.org/10.2307/2399084

- Gil-Escobedo, J. (2016). *Ámbitos de hogar de la iguana de órgano Ctenosaura palearis (Sauria: Iguanidae) en el bosque tropical estacionalmente seco de Cabañas, Zacapa, Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Godoy, M. D. P., & De Lacerda, L. D. (2015). Mangroves response to climate change: A review of recent findings on mangrove extension and distribution. *An Acad Bras CiencAnnals of the Brazilian Academy of Sciences*, 87(872), 651–667. https://doi.org/10.1590/0001-3765201520150055

- Gómez, I., & Méndez, E. (2007). *El caso de la Asociación de Comunidades Forestales de Petén (ACOFOP)*. San Salvador, El Salvador: Fundación Prisma. Recuperado a partir de http://www.cifor.org/acm/download/pub/grassroot/Peten_Spanish all.pdf

- González-García, F. (2012). El pavón (*Oreophasis derbianus*) una especie cuasiendémica a México. *El canto del Centzontle*, 3(1), 1–25.

- González-García, F., Santana-C., E., Jordano, P. D., Rico-Gray, V., & Urios, V. (2017). Diet and feeding behavior of the Horned Guan (*Oreophasis derbianus*) in Mexico. *The Wilson Journal of Ornithology*, 129(4), 771–782.

- Griscom, H. P., & Ashton, M. S. (2011). Restoration of dry tropical forests in Central America: A review of pattern and process. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1564–1579. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.027

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (1997). *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. (R. Watson, M. Zinyowera, R. Moss, & D. Dokken, Eds.). Geneva, Switzerland. Recuperado a partir de http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/regional/index.php?idp=0

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2001). *Climate change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. (J. McCarthy, O. Canziani, N. Leary, D. Dokken, & K. White, Eds.), Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom. https://doi.org/10.1002/joc.775

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2007a). *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). (2007b). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, ... Z. Chen, Eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.

- Holdridge, L. R. (1967). *Life zone ecology*. San José, Costa Rica: Tropical Science Center. https://doi.org/Via 10.1046/j.1365-2699.1999.00329.x

- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2009). *Perfil ambiental de Guatemala 2008-2009: las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo*. Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar.

- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (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 a partir de https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=40423
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2012). *Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012: vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo.* Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2018). *Clasificación de ecosistemas de Guatemala basada en el sistema de zonas de vida de Holdridge.* Guatemala.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2019). *Perfil ambiental de Guatemala 2019.* Guatemala: en proceso de publicación.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL), & Instituto de Incidencia Ambiental (IIA). (2004). *Perfil Ambiental de Guatemala. Informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática.* Guatemala: nstituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.
- Instituto Nacional de Bosques (INAB). (2014). Reglamento del programa de incentivos forestales (PINFOR). Guatemala: Instituto Nacional de Bosques.
- Instituto Nacional de Bosques (INAB). (2018a). Base de datos Pinfor-probosque 1998-2017.
- Instituto Nacional de Bosques (INAB). (2018b). Base de datos PINPEP 2007-2017.
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). (2018). *Informe de labores 2017.* Guatemala.
- Jiménez, M. (2009). *Resiliencia de los ecosistemas naturales terrestres de Costa Rica al cambio climático.* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Recuperado a partir de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5469/Valoracion_de_la_base_forestal_de_las_plantaciones_forestales.pdf?sequence=1
- Lawler, J. J. (2009). Climate change adaptation strategies for resource management and conservation planning. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1162(1), 79–98. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04147.x
- Lazo, M., Salazar, J., Guzmán, M., & Ariano-Sánchez, D. (2018). *Evaluación ecológica rápida de la finca Pamac, San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz: Componente mastofauna.* Guatemala: Departamento de Biología. Universidad del Valle de Guatemala.
- Leiva, E. (2015). *Efecto del cambio climático en la distribución geográfica de tres ranas arborícolas (Anura: Hylidae) y presencia de Quitrido en la Reserva de uso múltiple cuenca del lago de Atitlán (RUMCLA), Guatemala.* Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Lhumeau, A., & Cordero, D. (2012). *Adaptación basada en ecosistemas: una respuesta al cambio climático.* Quito, Ecuador: UICN. Recuperado a partir de https://portals.iucn.org/library/efiles/edocs/2012-004.pdf
- Marshall, C. J., & Liebherr, J. K. (2000). Cladistic biogeography of the Mexican transition zone. *Journal of Biogeography*, 27(1), 203–216. https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2000.00388.x
- Mawdsley, J. R., O'Malley, R., & Ojima, D. S. (2009). A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 23(5), 1080–1089. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01264.x

- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2013). *Estudio de la cobertura de mangle en la República de Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2018). *Diagnóstico y análisis de la vulnerabilidad ante el cambio clmático en la zona marino-costera del litoral pacífico de Guatemala*. Tomo 1. Proyecto Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Áreas Protegidas Marino- Costeras (APM). Guatemala: (MARN-CONAP/PNUD-GEF)-Rainforest Alliance, Guatemala.
- Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala. (2015). *Estrategia de restauración del paisaje forestal: mecanismo para el desarrollo rural sostenible de Guatemala*. Guatemala.
- Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala. (2018). *Oportunidades de restauración del paisaje forestal en Guatemala*. Guatemala.
- Noss, R. F. (2001). Beyond Kyoto: Forest management in a time of rapid climate change. *Conservation Biology*, 15(3), 578–590. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015003578.x
- Olivier, J., Probst, K., Renner, I., & Riha, K. (2012). Adaptación basada en los Ecosistemas (EbA). *Un nuevo enfoque para promover soluciones naturales para la adaptación al cambio climático en diferentes sectores*. Eschborn.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). *Convenio sobre la diversidad biológica* (1992). Recuperado a partir de http://www.cbd.int/convention/convention.shtml
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013a). *Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales*. Estudio FAO Montes. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://doi.org/1014-2886
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013b). *La fauna silvestre en un clima cambiante*. (E. Kaeslin, I. Redmond, & N. Dudley, Eds.). Roma. Recuperado a partir de http://www.fao.org/docrep/017/i2498s/i2498s.pdf
- Pérez, G., Gándara, A., Rosito, J. C., Maas, R., & Gálvez, J. (2016). Ecosistemas de Guatemala: una aproximación desde el sistema de clasificación de zonas de vida. *Eutopía*, 1(1), 25–68.
- Peterson, A. T., Sánchez-Cordero, V., Soberón, J., Bartley, J., Buddemeier, R. W., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2001). Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling*, 144(1), 21–30. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00345-3
- Pineda-Schwarz, D., Alonso-Asencio, M., Arrivillaga-Cano, E., Cruz-Font, J., Dahinten-Bailey, H., Rosito-Prado, I., & Ariano-Sánchez, D. (2018). Geographic distribution: *Nyctanolis pernix* (Nimble long limbed salamander). *Herpetological Review*.
- Pizano, C., & Garcia, H. (2014). *El bosque seco tropical en Colombia*. Bogotá, D.C.,Colombia. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004
- Proyecto BIOFIN Guatemala. (2016). *Integración del gasto público y privado en protección y conservación de la diversidad biológica de Guatemala*. (O. Villagran, Ed.). Guatemala.
- Real Academia Española (RAE). (2019a). Endémico, ca. Recuperado el 23 de enero de 2019, a partir de http://dle.rae.es/?id=FC9wL4t
- Real Academia Española (RAE). (2019b). Estivación. Recuperado el 23 de enero de 2019, a partir de http://dle.rae.es/?id=GtqKPqe
- Recio, M. E., Kuper, J., Vallejo, M., Sommerville, M., & Jhaveri, N. (2016). *Central America mangroves, tenure, and REDD+ assessment*. Washington, D.C.: USAID Tenure and Global Climate Change Program.

- Rivas-Romero, J. A., & Soto-Shoender, J. R. (2015). Filling in the gaps: Evaluating the use of camera traps in the canopy to examine frugivore visits to *Oreopanax echinops* in the highlands of Guatemala. *The Southwest Naturalist*, 60(4), 366–370.
- Rivas-Romero, J., & Alvarez-Requena, J. (2018). *Fenología de diez especies potencialmente útiles para restaurar bosques nubosos del Altiplano Occidental de Guatemala.*
- Rovito, S., Parra-Olea, G., Vasquez-Almazan, C., Papenfuss, T., & Wake, D. (2009). Dramatic declines in neotropical salamander populations are an important part of the global amphibian crisis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(9), 3231–3236. https://doi.org/10.1073/pnas.0813051106
- Ruiz-Villanueva, K., Piedrasanta-López, J., & Ariano-Sánchez, D. (2018). Leucism in *Bolitoglossa engelhardti* (Caudata: Plethodontidae), with notes on elevational distribution. *Mesoamerican Herpetology*, 5(1), 193–195.
- Sáenz-Romero, C., Guzmán, R., & Rehfeldt, G. (2006). Altitudinal genetic variation among *Pinus oocarpa* populations in Michoacán, México Implications for seed zoning, conservation, tree breeding and global warming. *Forest Ecology and Management*, (226), 240–250.
- Sánchez-Azofeifa, G., Kalacska, M., Quesada, M., Calvo-Alvarado, J. C., Nassar, J. M., & Rodríguez, J. P. (2005). Need for integrated research for a sustainable future in tropical dry forests. *Conservation Biology*, 19(2), 285–286. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.s01
- Schuster, J. C., & Bonis, S. B. (2008). Biodiversidad de Guatemala en relación con su historia geológica y biogeografía. *En Guatemala y su Biodiversidad: Un enfoque histórico, cultural, biológico y económico* (pp. 21–54). Guatemala.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2009). *Connecting biodiversity and climate change mitigation and adaptation: Report of the second ad hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change*. CBD Technical Series. Montreal.
- Settele, J., Scholes, R. J., Betts, R. A., Bunn, S., Leadley, P., Nepstad, D., … Toboada, M. A. (2014). Terrestrial and inland water systems. *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*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA. https://doi.org/31 March 2014
- Shoo, L. P., Williams, S. E., & Hero, J. M. (2005). Climate warming and the rainforest birds of the Australian Wet Tropics: Using abundance data as a sensitive predictor of change in total population size. *Biological Conservation*, 125(3), 335–343. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.04.003
- Smith, T. M., Shugart, H. H., Bonan, G. B., & Smith, J. B. (1992). Modeling the potential response of vegetation to global climate change. *Advances in Ecological Research*, 22, 93–116. https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60134-8
- Urban, M. (2015). Accelerating extinction risk from climate change. *Science*, 348(6234), 571–573. https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-834-1.10008-0
- Uribe, E. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina.*
- Van Zonneveld, M., Jarvis, A., Droak, M., Lemma, G., & Leibin, C. (2009). Climate change impact predictions on *Pinus patula* and *Pinus tecunumanii* populations in Mexico and Central America. *Forest Ecology and Management*, (257), 1566–1576.

Ward, R. D., Friess, D. A., Day, R. H., & MacKenzie, R. A. (2016). Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2(4), 1–25. https://doi.org/10.1002/ehs2.1211

Wells. (2007). Conservation of amphibians. En *The Ecology and behavior of amphibians* (pp. 784–855). USA: The University of Chicago Press.

Yáñez-Arancibia, A., Day, J. W., Twilley, R. R., & Day, R. H. (2014). Manglares: ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo de México. *Madera y Bosques*, 20(especial), 39–75.

8

OCÉANOS
Y ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS

Autores: Silja Morgana Ramírez Yela[1] y José Roberto Ortiz[2]

[1] Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación (FUNDAECO), silja.ramirez@gmail.com
[2] Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA), Universidad de San Carlos de Guatemala, josealdana_23@hotmail.com

Forma de citar este capítulo:
Ramírez Yela, S. M., & Ortiz, J. R. (2019). Océanos y ecosistemas marino-costeros.
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. 170–191). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Mensajes clave:

- El aumento de la temperatura y acidificación son los efectos más visibles del cambio climático en los océanos. Estos cambios tienen impactos visibles en los ecosistemas de manglar, pastos marinos, playas y principalmente los arrecifes de coral, que se encuentran en una situación altamente vulnerable.

- La información sobre estos ecosistemas es aún muy escasa. Es importante el levantamiento de información permanente de los ecosistemas marino-costeros para conocer su estado de salud y así poder diseñar herramientas de manejo y de conservación a largo plazo.

- Además de los efectos directos del cambio climático, los ecosistemas marino-costeros son altamente vulnerables por el grado de deterioro ambiental al que están sujetos (contaminación, especies invasoras, deforestación, sobrepesca, entre otros). Es necesario fortalecer los usos locales de los recursos marino-costeros por medio de la conservación y uso adecuado de los ecosistemas, fomentando así las buenas prácticas de desarrollo económico para la zona costera de país.

RESUMEN

Guatemala tiene una extensión territorial marina de 120 229 km^2, lo que representa el 53 % de extensión total del país (terrestre y marina), y su litoral abarca 254 km en el Pacífico y 148 km en el Caribe. Es uno de los países más vulnerables a los efectos adversos del cambio climático que cada vez está afectando más a todo el planeta. En tan solo dos décadas se han registrado en el país efectos negativos de eventos hidrometeorológicos de gran intensidad, como el huracán Mitch (1998), sequías (2001, 2005) y blanqueamiento de coral (2015, 2016 y 2017). Las actividades humanas están continuamente degradando los océanos. Diversos estudios muestran que la abundancia de peces, invertebrados y otras especies marinas ha disminuido en Guatemala en los últimos cinco años. Estos cambios afectan la capacidad que los océanos tienen para brindar servicios ambientales a distintas comunidades. La valoración económica estimada de los bienes y servicios que prestan las zonas marino-costeras de Guatemala se encuentra entre los USD 344 millones y USD 454 millones de ingresos promedio al año.

En los últimos años se han evidenciado más los efectos del cambio climático, como el aumento de temperatura y la acidificación del agua de los océanos de Guatemala. La pérdida de oxígeno ha provocado complejas interacciones que de alguna manera han alterado distintas formas de vida, reduciendo la capacidad de los océanos para proveer los bienes ambientales, como recursos pesqueros, por ejemplo. Las actividades antropogénicas, principalmente los desechos producidos, influyen negativamente en la supervivencia, crecimiento, comportamiento y reproducción de los organismos, asimismo alteran su respuesta inmune y aumentan las enfermedades.

Para adaptarse a los efectos del cambio climático es indispensable la generación de un sistema de levantamiento de información permanente dirigido a objetos clave de conservación (arrecifes, especies de importancia para la pesca, etc.), que involucre a la academia e instituciones gubernamentales y no gubernamentales. También es necesario el establecimiento de una red de áreas marino-costeras protegidas, cuyo objetivo principal sea incrementar la resiliencia de esta zona en ambos litorales del país. Además, se deben fortalecer los usos locales de los recursos marino-costeros por medio de la conservación y el aprovechamiento adecuado de los ecosistemas, para favorecer buenas prácticas de desarrollo económico.

CONTENIDO

8.1 Relevancia de las zonas marino-costeras en Guatemala 174

8.2 Efectos sobre los ecosistemas marinos y costeros 174
- 8.2.1 Efecto sobre los ecosistemas de la zona marino-costera 174
- 8.2.2 Efectos en el mar profundo 176

8.3 Alteraciones ambientales, vulnerabilidad e impactos ecosistémicos 177
- 8.3.1 Especies exóticas invasoras 177
- 8.3.2 Sistemas de playas 178
- 8.3.3 Manglares 178
- 8.3.4 Pastos marinos 179
- 8.3.5 Corales 180

8.4 Vulnerabilidad e impactos socioeconómicos 183
- 8.4.1 Asentamientos humanos y servicios 183
- 8.4.2 Turismo 183
- 8.4.3 Acuicultura y pesca 183

8.5 Estrategias de manejo y oportunidades de adaptación al cambio climático 184
- 8.5.1 Monitoreo, generación de información y modelación 185
- 8.5.2 Conservación, restauración y ordenamiento ecológico 186
  - 8.5.2.1 Calidad de agua 186
  - 8.5.2.2 Restauración de ecosistemas 186
  - 8.5.2.3 Zona de recuperación pesquera 187
  - 8.5.2.4 Alianzas estratégicas para la conservación y manejo de ecosistemas y recursos marino-costeros 187

8.6 Conclusiones 187

8.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 188

8.1 Relevancia de las zonas marino-costeras en Guatemala

Guatemala cuenta con una extensión territorial marina de 120 229 km^2, lo que representa el 53 % de extensión total del país (terrestre y marina), y su litoral abarca 254 km en el Pacífico y 148 km en el Caribe. La zona marino-costera (ZMC) de Guatemala se encuentra definida como aquella comprendida entre los límites de la Zona Económica Exclusiva (ZEE)[1] y un límite terrestre arbitrario (MARN, 2009). Esta zona abarca los ecosistemas de agua dulce influidos por las mareas, que incluye los tres kilómetros que se reserva el Estado de Guatemala, y el área marina hasta los 30 metros de profundidad. La zona marino-costera abarca un total de 19 municipios y siete departamentos en donde el 26 % de la población del país está vinculada a los servicios ambientales que la zona les proporciona. Esta zona posee alta diversidad biológica ya que se ha reportado la presencia de alrededor de 2700 especies de flora y fauna (SENACYT, RA, & PNUD, 2018).

El cambio climático está afectando cada vez más a todo el planeta; en ese sentido, Guatemala es uno de los países más vulnerables a los efectos adversos del cambio climático. En tan solo dos décadas se han registrado en el país los efectos negativos de eventos hidrometeorológicos de gran intensidad como el huracán Mitch (1998) y varias sequías (2001, 2005) (Iarna-URL, 2012); así también otros eventos como el blanqueamiento de coral (Mcfield et al., 2018). Aunado a los efectos del cambio climático, las actividades humanas continúan degradando los océanos. Diversos estudios científicos muestran que la abundancia de peces, invertebrados y otras especies marinas ha disminuido en Guatemala en los últimos cinco años (Ixquiac, 2018). Estos cambios afectan la capacidad que los océanos tienen para brindar servicios ambientales a distintas comunidades. La valoración económica estimada de los bienes y servicios que prestan las zonas marino-costeras de Guatemala se encuentra entre los USD 344 millones y USD 454 millones de ingresos promedio al año (SENACYT et al., 2018).

1 La ZEE se extiende 200 millas náuticas mar adentro (370.4 Km) contadas a partir de la línea de base.

8.2 Efectos sobre los ecosistemas marinos y costeros

8.2.1 Efecto sobre los ecosistemas de la zona marino-costera

El cambio climático global producto de las actividades antropogénicas afecta los ecosistemas marino-costeros junto con los bienes y servicios que proveen (Harley et al., 2006; Uribe, 2015). Los océanos juegan un papel importante en el ciclo del carbono a nivel global, por lo que pueden impactar directamente en cuanto al ritmo y alcance del cambio climático (Hays, Richardson, & Robinson, 2005).

Se espera que el cambio climático tenga efectos significativos sobre la diversidad biológica y los ecosistemas acuáticos en América Latina y el Caribe. El cambio climático afectará de manera individual a los organismos en su desarrollo, fisiología, comportamiento, reproducción y migración; así como el tamaño y estructura de sus poblaciones. De igual manera afectará la composición de especies de las comunidades, y la estructura y funcionamiento de los ecosistemas marino-costeros (Pörtner & Knust, 2007; Rahel & Olden, 2008; Uribe, 2015).

Algunos de los efectos del cambio climático a escala global son el aumento de la temperatura superficial de los océanos, alteración de patrones hidrológicos, incremento de la frecuencia de tormentas y aumento de la salinización de los cuerpos de agua costeros. Se espera que estos cambios ambientales afecten la demografía, distribución geográfica y la fenología de las especies, así como la productividad, ciclo de nutrientes, estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Dulvy et al., 2008; Hellmann, Byers, Bierwagen, & Dukes, 2008; Rahel & Olden, 2008). Los efectos en la demografía de las especies se manifiestan como cambios en el reclutamiento, el crecimiento y la supervivencia; en cuanto a la distribución, se espera observar movimientos de las especies hacia latitudes más altas. Con relación a los cambios fenológicos, se pueden presentar variaciones temporales en los florecimientos de algas y en las migraciones de los peces, lo que puede ocasionar desfases entre las poblaciones de presas y predadores (Dulvy et al., 2008).

A pesar de que la temperatura tiene un efecto significativo sobre la distribución y la abundancia de las especies marinas, se ha demostrado que otros efectos como los cambios en la química de los océanos y los patrones de corrientes tendrán mayor impacto sobre la biota marina (Harley et al., 2006). Entre los principales impactos se mencionan la disminución de la productividad en los océanos, alteración de las dinámicas tróficas[2], reducción de la abundancia de especies formadoras de hábitats, cambios en la distribución de especies y una mayor incidencia de enfermedades (Hoegh-Guldberg & Bruno, 2010).

A medida que el cambio climático siga generando un calentamiento en la Tierra, la temperatura superficial de los océanos seguirá experimento cambios drásticos, afectando los ecosistemas marino-costeros, que se consideran más sensibles a estos cambios de temperatura. La Figura 8-1 muestra el estado actual de vulnerabilidad ante el cambio climático de la región del Caribe guatemalteco. Las áreas donde se realizan distintas actividades productivas representan las más vulnerables. Al analizar los cambios en la temperatura superficial del mar bajo el escenario A2 (pesimista) **(capítulo 3)**, se muestra que la vulnerabilidad de esta región puede aumentar a categoría alta (año 2070, Figura 8-2a) y muy alta (año 2090, Figura 8-2b) de acuerdo con el estudio presentado en la Propuesta de Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Región Caribe de Guatemala (USAID, 2013).

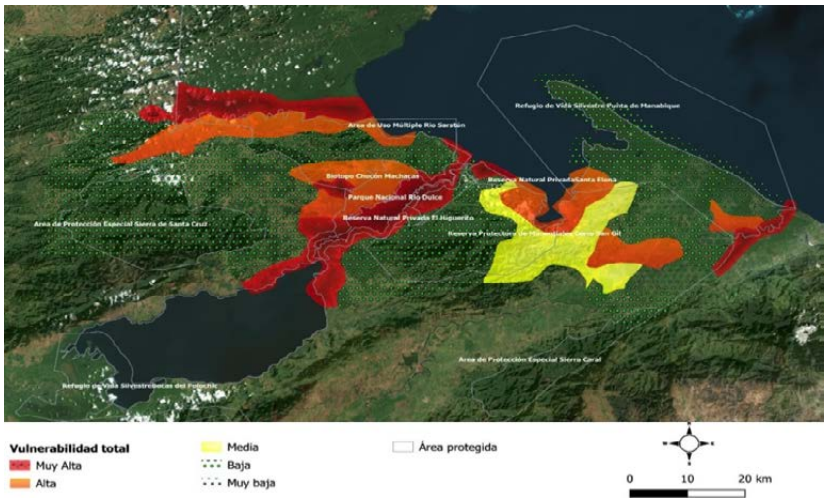


Figura 8-1 Mapa de vulnerabilidad total actual de los ecosistemas marino-costeros al cambio climático, enfocado para el Caribe de Guatemala. Adaptado de USAID (2013).

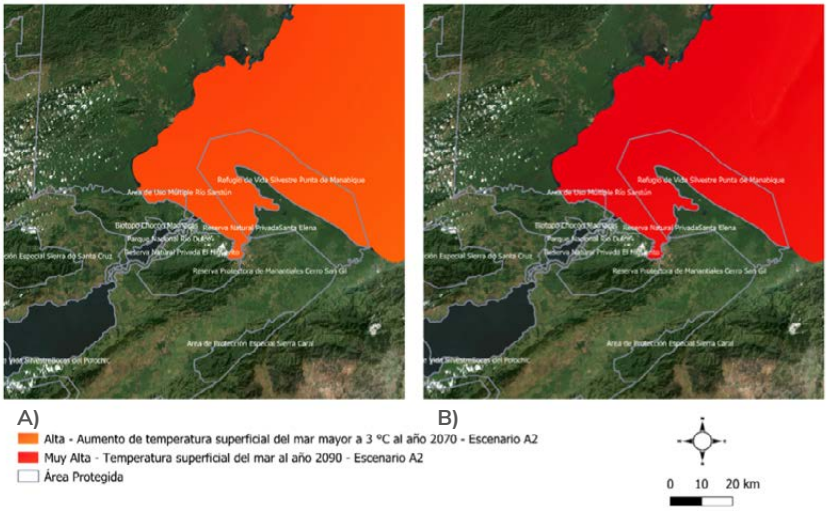


Figura 8-2 Mapa que muestra el escenario A2 (pesimista) con el cambio de temperatura superficial del mar para los años 2070 y 2090, para el Área de Uso Múltiple Río Sarstún. Adaptado de USAID (2013).

2 Relación entre organismos productores, consumidores y descomponedores, se refiere a las cadenas alimenticias.

Los ecosistemas marino-costeros que se verán más afectados y son más susceptibles a los efectos del cambio climático son los humedales, manglares, pastos marinos y arrecifes de coral. Por ejemplo, el aumento en el nivel del mar conducirá a la pérdida de ecosistemas de manglar a una tasa de entre uno y dos por ciento por año (Uribe, 2015).

La alta vulnerabilidad de los arrecifes de coral ante los efectos del cambio climático se debe principalmente al aumento de la temperatura superficial y acidificación de los océanos, lo que puede exacerbar tensores locales debido a la disminución de la calidad del agua y la sobreexplotación de especies clave. Los resultados serán comunidades menos diversas y estructuras carbonatadas más débiles e imposibles de mantener en el largo plazo, provocando que los ecosistemas alcancen un punto de inflexión con respecto a su funcionalidad. Esto se traduce en consecuencias para las pesquerías asociadas al arrecife, el turismo, la protección costera y las comunidades aledañas (Hoegh-Guldberg et al., 2007).

La absorción de dióxido de carbono (CO_2) por parte de los océanos ayudará a regular el cambio climático futuro, pero la hidrólisis del dióxido de carbono provocará cambios en la química del agua. El incremento de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera de la tierra genera un aumento en la concentración de iones hidrógeno en los océanos, lo cual a su vez disminuye los valores de pH (Orr et al., 2005).

Esto puede generar problemas en la calcificación de algunos organismos marinos como los corales, moluscos, cocolitofóridos y foraminíferos (Orr et al., 2005). En Guatemala, la acidificación de los océanos es uno de los síntomas provocados por el cambio climático, de los cuales no se tiene información previa; aunque los ecosistemas de gran importancia, como el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), pueden estar en riesgo.

8.2.2 Efectos en el mar profundo

A pesar de que las condiciones fisicoquímicas del agua en las regiones profundas de los océanos son relativamente estables, se han evidenciado cambios abruptos en la temperatura, producto de procesos océano-atmosféricos que se ven afectados por el cambio climático (Danovaro, Dell'Anno, & Pusceddu, 2004). Los efectos del cambio climático a largo plazo en las regiones profundas de los océanos se han evaluado mediante isótopos estables, pero únicamente en algunas especies de corales de profundidad (Smith, Risk, Schwarcz, & McConnaughey, 1997).

De manera general, se espera que el cambio climático afecte significativamente a la diversidad biológica a escala global, pero aún se tiene poca información de cómo afectará a la biota asociada a zonas profundas en el océano. Estudios previos de Danovaro et al. (2004) determinaron que la fauna de las regiones profundas es altamente vulnerable a alteraciones en las condiciones fisicoquímicas del agua, y que la diversidad puede verse afectada por ligeros cambios en la temperatura. En Guatemala no existe información de cómo las variaciones ambientales producto del cambio climático puedan llegar a afectar a la diversidad biológica del mar profundo.

8.3 Alteraciones ambientales, vulnerabilidad e impactos ecosistémicos

Además de los impactos producidos por el cambio climático, los ecosistemas marino-costeros presentan numerosas alteraciones producto de otras actividades humanas que incrementan la vulnerabilidad de estos ecosistemas. Estas se describen a continuación.

8.3.1 Especies exóticas invasoras

Las especies marinas invasoras han impactado en los ecosistemas marino-costeros alrededor del mundo. Molnar, Gamboa, Revenga y Spalding (2008) reportan 329 especies marinas invasoras a nivel global, las cuales se han convertido en una de las principales amenazas para la diversidad biológica marina; a propósito, el 84 % de las ecorregiones marinas reportan especies invasoras. Algunas de las causas más frecuentes de la introducción de especies marinas son la navegación interoceánica y la acuicultura.

Dos de las especies marinas invasoras de las cuales se tienen registros para el Caribe de Guatemala son el pez león *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) y el camarón tigre *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798). Los *P. volitans* están ubicados dentro del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique (Andrino, 2015). El pez león se caracteriza por su elevada tasa de fecundidad y su dieta generalista que le permite establecerse rápidamente en diversos hábitats, principalmente en los arrecifes coralinos. Esta especie puede constituir una amenaza importante al afectar las redes tróficas y la composición de las comunidades, compitiendo con especies de peces nativas por recursos, alimento y espacio (Gómez Lozano et al., 2013; Morris, 2013). Además contribuye con la proliferación de macroalgas carnosas de manera indirecta (Muñoz-Escobar & Gil-Agudelo, 2010). El camarón tigre puede competir por espacio y alimento con las especies nativas de camarones peneidos; participar en la depredación de otros camarones, bivalvos y gasterópodos nativos; así como interferir en los comportamientos de reproducción y en el éxito reproductivo de las especies de camarones peneidos (Wakida-Kusunoki et al., 2013).

Se ha evidenciado que los efectos del cambio climático pueden facilitar un cambio en la dominancia de las especies invasoras, acelerando la homogeneización de la biota a nivel global, tomando en cuenta que las especies invasoras son generalmente exitosas y abundantes en los nuevos hábitats que colonizan (Hellmann et al., 2008; Stachowicz, Terwin, Whitlatch, & Osman, 2002). De igual manera pueden alterar las vías por las cuales las especies no autóctonas ingresan en los ecosistemas acuáticos; así como también aumentar la probabilidad de éxito de las especies invasoras, en cuanto a su establecimiento en los ecosistemas invadidos (Rahel & Olden, 2008).

Algunos procesos ecológicos que pueden verse influenciados por el cambio climático con respecto a las especies invasoras son los efectos de competitividad entre las especies invasoras y las nativas, como la competencia por hábitat y alimento, y el aumento en cuanto a la virulencia de algunas enfermedades. Aunque las interacciones entre las especies invasoras y el cambio climático son complejas, se hace evidente que las especies nativas y los ecosistemas acuáticos se verán afectados, tanto por la variabilidad ambiental causada por el cambio climático como por las presiones ejercidas por las especies introducidas (Rahel & Olden, 2008).

Dentro de los efectos más representativos de las especies invasoras se encuentran el desplazamiento de las especies nativas, los cambios en la estructura de las comunidades y las redes tróficas, y la alteración de procesos fundamentales como el reciclaje de nutrientes y la sedimentación. También pueden generar impactos económicos a través de la disminución de las pesquerías, colonización de las embarcaciones, obstrucción de tuberías de ingreso y egreso de aguas de lastre, e inclusive pueden impactar en la salud humana a través de enfermedades zoonóticas (Molnar et al., 2008). Las poblaciones de una especie invasora que se han establecido en hábitats marinos son casi imposibles de eliminar; por tanto, la intercepción o eliminación de las vías de acceso de la especie pueden ser de las pocas estrategias efectivas para reducir los impactos ecológicos en el futuro (Molnar et al., 2008).

8.3.2 Sistemas de playas

Las playas constituyen un área dinámica porque su forma cambia continuamente debido al transporte de arena por acción de las olas, corrientes, mareas y del viento. En las costas de Guatemala, la arena está compuesta por restos de corales, conchas y residuos de erupciones volcánicas. Ecológicamente, las playas proveen áreas de anidación, alimentación y descanso para tortugas marinas, aves, crustáceos y otras especies. El sistema de playa provee hábitat crítico para aves migratorias y roedores, reptiles, cangrejos y otros organismos que solo se encuentran en estos ecosistemas (FUNDARY, CONAP, & TNC, 2006). Además, los sistemas de playa son la primera y más efectiva defensa contra el impacto de fenómenos hidrometeorológicos de origen marino, tales como huracanes, aumento del nivel del mar o temporales con alto oleaje.

Los principales problemas del cambio climático que afectan las condiciones físicas de las playas se relacionan con potenciales modificaciones en la frecuencia y/o intensidad de tormentas, así también con el ascenso del nivel medio del mar y el aumento de la erosión de la costa. Estos efectos se unen a aquellos relacionados con los ecosistemas que se encuentran en el litoral, como humedales y flora y fauna marina. Los efectos del cambio climático que modifican las condiciones físicas de la costa se deben a una serie de circunstancias principalmente antropogénicas (Mcfield et al., 2018).

Los sistemas de playas son zonas vulnerables en Guatemala, ya que experimentan daños como consecuencia directa o indirecta del cambio climático. El aumento del nivel del mar provocará un retroceso erosivo de las playas y, en consecuencia, su desplazamiento o la reducción de su superficie útil. Además generará problemas en las estructuras costeras, tales como la distribución y abundancia de especies de flora y fauna, la conectividad ambiental y biológica, y la disponibilidad de agua dulce (Mcfield et al., 2018).

El turismo es otro de los servicios ambientales que proporcionan los sistemas de playas y que se verá afectado a corto, mediano y largo plazo. El sector turístico puede verse afectado por la reducción de visitantes a consecuencia de los temporales y de los impactos provocados por los efectos de los fenómenos asociados al cambio climático, tales como la erosión de playas, barreras costeras, entre otros (Gálvez, Pacheco, & Ramírez, 2017).

8.3.3 Manglares

Los manglares constituyen un importante recurso forestal en toda la banda intertropical del planeta; son árboles que sostienen la diversidad biológica de los ecosistemas costeros tropicales, en los humedales forestales intermareales y áreas de influencia tierra adentro (Ballhorn, Mott, Atwood, & Siegert, 2016).

Los bosques de manglar en Guatemala tienen una alta productividad desde un punto de vista biológico (Iarna-URL, 2012). Sirven de sustrato o refugio a gran cantidad de especies de fauna terrestre y acuática de importancia ecológica y comercial (García, Franco, García, & Montiel, 2012). Además, proveen una serie de servicios ecosistémicos fundamentales para el sustento de actividades económicas desarrolladas en la zona marino-costera. Los manglares actúan como defensa ante perturbaciones naturales y antropogénicas, como inundaciones, erosión y sedimentación; además de contribuir a la regulación climática; y brindar hábitat y refugio de especies de valor comercial, entre otros. A estos servicios se suma el secuestro de dióxido de carbono a través del mar y la atmósfera, conocido como carbono azul; esta función climática convierte a los manglares en sumideros de carbono, cuya contribución en la mitigación de los efectos del cambio climático es importante (Gálvez et al., 2017).

Las zonas de manglar ofrecen una variedad de productos y subproductos que se emplean para fines comerciales y para autoconsumo. Los productos directos de mayor importancia para los pobladores locales son la leña, carbón de leña, material para construcción de viviendas, forraje, abono verde, celulosa para papel, taninos y tintes (MARN, Iarna-URL, & PNUMA, 2008).

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), en su Política para el Manejo Integral de las Zonas Marino Costeras de Guatemala (MARN, 2009), resalta que desde el año 1950 se ha perdido una extensión aproximada de 26 500 hectáreas

de manglares. Esto tiene serias implicaciones sobre otros aspectos como la mitigación de impactos de desastres ocasionados por eventos climáticos, entre ellos los ocasionados por el huracán Mitch y la tormenta tropical Stan, y la reducción de impactos negativos por eventos climáticos sobre recursos pesqueros.

El Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe y el Sistema de Información Ambiental del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (CATHALAC & SIA-MARN, 2012) reportaron que el mangle cubre una superficie aproximada de 18 839 hectáreas, equivalente al 0.0017 % del territorio de Guatemala. En el Pacífico, el mangle cubre 17 670 hectáreas de las cuales solamente el 23 % están protegidas por la Ley de Áreas Protegidas. En el Atlántico, el mangle cubre 1169 hectáreas de las cuales el 88 % se encuentra dentro de áreas protegidas. Es decir, en Guatemala solamente el 27 % de los bosques de mangle (5052.45 hectáreas) están regulados y protegidos por la Ley de Áreas Protegidas (CONAP, 2016).

El ecosistema manglar se ha visto altamente presionado en los últimos años, tanto en el Pacífico como en el Caribe de Guatemala, debido a la expansión demográfica (urbanización), el avance de la frontera agrícola (crecimiento de áreas de agricultura, ganadería y acuicultura) y la demanda de su madera para leña y uso en construcción; provocando su degradación (López, Morales, Soberanis, & Ramírez, 2016; Windevoxhel, 1994).

De acuerdo con el MARN (2009), en las últimas décadas, la zona costera del Pacífico guatemalteco ha sido objeto de una significativa transformación socioeconómica que ha propiciado cambios en los usos y demanda de agua y especies. En ese sentido, estos ecosistemas corren peligro de perder su productividad y servicios ambientales, porque se verán cada vez más afectados por la creciente demanda. Los distintos planes maestros de áreas protegidas prioritarias del Caribe de Guatemala han reflejado que la disminución en la cobertura del ecosistema manglar está causando una fragmentación y deterioro del hábitat, y provocando erosión y pérdida de especies de flora y fauna, así como pérdida genética.

Con el acelerado avance de los efectos del cambio climático en numerosos ecosistemas se prevé que los impactos más serios en los manglares serán los relacionados con la elevación del nivel del mar. Asimismo, se prevé la pérdida de entre el 30 % y el 100 % de los manglares. El aumento en la erosión e inundación en las orillas del mar causará una migración de los manglares hacia tierra adentro. El aumento de la temperatura del agua y del aire permitirá a algunas especies expandir su distribución en nuevas latitudes, aunque esto dependerá también de los cambios en la salinidad del agua que será afectada por variaciones en la precipitación y la evaporación. Según las predicciones, el aumento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos contribuirá al incremento en la erosión de suelos y playas y también influirá directamente en la desaparición de árboles (García et al., 2012).

8.3.4 Pastos marinos

Los pastos marinos son un recurso natural de gran importancia por los servicios que prestan a otros ecosistemas marinos y al ser humano (MacDonald, 2011), por lo tanto: i) contribuyen a la estabilidad y al desarrollo de procesos biogeoquímicos de los sedimentos; ii) brindan protección a la zona costera; iii) sostienen una alta diversidad biológica proporcionando refugio, sustrato y alimento para numerosos organismos; iv) constituyen la base de la trama trófica para especies de tipo comercial; y v) juegan un papel importante en la regulación de la composición química de la atmósfera, temperatura global, precipitación y otros procesos climáticos biológicamente relacionados.

Los pastos marinos están experimentando pérdidas en todo el mundo. Waycott et al. (2009) encontraron que las tasas de pérdida de pastos se han acelerado al pasar de una mediana de 1 % antes de 1940 a una de 7 % en 1990. En ambas costas guatemaltecas, las actividades antropogénicas y la variabilidad climática de los últimos 15 años han generado cambios en las condiciones hidrológicas, principalmente en la disminución de la transparencia del agua, así como en la pérdida de las condiciones estuarinas (Michot et al., 2002). A pesar de estos impactos, la cobertura de pastos marinos se ha mantenido desde el año 2013 en la costa atlántica de Guatemala con un

porcentaje arriba del 60 %; a propósito, las especies de pastos marinos representativas de esta costa son la *Ruppia maritima*, *Thalassia testudinum* y *Halodule wrightii*.

Actualmente no existen datos sobre consecuencias que permitan asociar problemas derivados de los efectos del cambio climático en los pastos marinos de las costas guatemaltecas. Sin embargo, el análisis de resultados en los distintos monitoreos realizados durante más de cinco años permite señalar la vulnerabilidad de los pastos marinos al cambio climático a largo plazo. Este análisis resalta que los pastos marinos de las costas guatemaltecas estarán afectadas por el aumento de la temperatura y las variaciones extremas de los regímenes de precipitación-evaporación, así como por el aumento del nivel del mar, generando mayor turbidez del agua por erosión de la zona costera (USAID, 2013).

8.3.5 Corales

Los arrecifes de corales son «fuente de vida» y uno de los ecosistemas más productivos del planeta; asimismo, son el hogar o los sitios de crianza del 25 % de todas las especies marinas conocidas. Los arrecifes coralinos absorben la energía de las olas, de esa forma protegen las zonas costeras y, por ende, a las comunidades que viven en esas zonas. Los arrecifes de coral previenen la erosión de las costas y proveen alimento y sustento a cientos de millones de personas en las zonas costeras de más de 100 países en el mundo (Kramer et al., 2015).

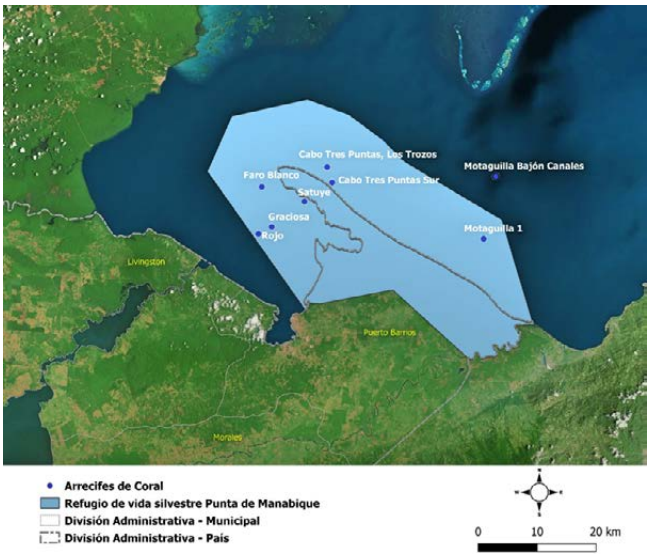


Figura 8-4 Ubicación de los arrecifes de coral en el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique. Adaptado de FUNDARY et al. (2006).

En el mar Caribe de Guatemala, las comunidades arrecifales se caracterizan por formar numerosos parches aislados, divididos por planicies de arena y pastos marinos; por tanto, no se observa una barrera de arrecifes continua (Figura 8-3). La composición de estos corales es dominada por especies resistentes a los sedimentos. Las especies más frecuentes reportadas son: *Orbicella faveolata* (antes Montastraea), *O. annularis*, *Montastraea cavernosa*, *Undaria agaricites*, *U. tenuifolia*, *U.humilis*, *Helioseris cucullata*, *Colpophyllia natans*, y *Pseudodiploria strigosa* (Mojica & Arrivillaga, 2014).

Los arrecifes ubicados en el mar Caribe funcionan como sitios de conectividad y criadero de peces demersales[3] y de otras especies marinas de importancia ecológica y comercial. Kramer et al.(2015) reportan que los arrecifes de Guatemala cuentan con una alta cobertura de macroalgas carnosas, debido posiblemente a la baja densidad de peces herbívoros, como el pez loro (*Scaridae*) y el pez cirujano (*Acanthuridae*), y a la presencia de nutrientes en el agua. Sin embargo, existe una tendencia creciente y positiva, aunque lenta, en la cobertura de coral, la cual es alentadora, puesto que estos parches pueden servir como fuentes potenciales de larvas de coral. Los arrecifes constituyen una fuente valiosa de sustento para las comunidades de pescadores de dos áreas protegidas relevantes para Guatemala, el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique y el Área de Uso Múltiple Río Sarstún, así como para comunidades de Livingston (CONAP, KFW, FUNDAECO, & MAR Fund, 2016; GCI, 2018).

Los arrecifes de coral son ecosistemas extremadamente vulnerables a los cambios fisicoquímicos que ocurren en su entorno; por lo tanto, son ampliamente afectados por el cambio climático debido al aumento de temperatura, acidificación de los océanos, cambios en los niveles del mar y a los eventos meteorológicos extremos, entre otros factores.

3 Tipo de peces que viven en aguas profundas o en el fondo de la zona litoral.

El incremento de dióxido de carbono capturado por los océanos altera su química, cambia su pH y causa acidificación. El CO_2 es producido por la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la agricultura **(capítulo 11)**. Este proceso reduce significativamente la habilidad de los corales y otros calcificadores de producir sus esqueletos, disminuyendo las tasas de crecimiento y la habilidad del ecosistema arrecifal de mantener un balance positivo entre la construcción y la erosión (Kramer et al., 2015).

Actualmente, el rápido incremento de la temperatura global está teniendo efectos negativos sobre los arrecifes. Entre esos efectos se pueden mencionar los eventos de blanqueamiento de coral que resultan cuando el alga simbiótica del coral es liberada del hospedero por estrés térmico; brotes de enfermedades en el coral, normalmente después del blanqueamiento, cuando los corales son más susceptibles a infecciones que pueden matar a un gran número de colonias; intensidad y frecuencia de huracanes, lo cual influye en la pérdida de cobertura de coral; y el incremento del nivel del mar, el cual reduce la penetración de luz, afectando el crecimiento de los corales más profundos (Kramer et al., 2015).

En el año 2015, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés) declaró el tercer fenómeno de blanqueamiento de coral, indicando que podría afectar a un tercio de los arrecifes del planeta (Ramírez, Giró, & Mojica, 2016). Actualmente los arrecifes de coral ubicados en la costa atlántica de Guatemala presentan un 33 % de blanqueamiento siendo las especies de los géneros Undaria y Porites los más afectadas (Mcfield et al., 2018).

Además de los efectos directamente relacionados al cambio climático, existen otras amenazas que disminuyen el estado de salud del arrecife en Guatemala y que lo ponen en mayor riesgo ante los potenciales cambios en el clima. Estos factores están ligados, en su mayoría, a actividades humanas y presiones tales como:

- Deterioro de hábitats o alteración del ecosistema a consecuencia del calentamiento global; aumento en la sedimentación y nutrientes debido a la deforestación para la agricultura y otros cambios del suelo; y acumulación de desechos sólidos que interfieren con el desarrollo de corales y especies asociadas (CONAP et al., 2016). Se estima la pérdida de más del 30 % de la población de arrecifes coralinos que abarcan aproximadamente cinco especies de corales (*Siderastrea siderea*, *Agaricia tenuifolia*, *Colpophyllia natans*, *Porites porites* y *Leptoseris cucullata*) (CONADUR, 2014; Iarna-URL, 2012).

- Deterioro de la población de fauna marina provocado principalmente por la sobrepesca, la implementación de prácticas de pesca no sustentable y por especies invasoras; de ahí que el balance ecológico de las poblaciones de especies de arrecife se vea afectado, alterando la cadena de alimentación y causando efectos ecológicos indirectos (Healthy Reefs Initiative, 2012).

- Reducción en la población de pez loro (*Scaridae*), influenciada principalmente por las especies invasoras, como el pez león; y por su captura incidental a causa de la sobrepesca (Gálvez et al., 2017).

- Invasión de los arrecifes por macroalgas que compiten por espacio con los corales e inhiben su crecimiento. Estas algas marinas mostraban una abundancia bastante baja en los arrecifes del Caribe; pero actualmente, la mayoría de esos ecosistemas están invadidos por ellas. La proliferación de macroalgas se debe principalmente al inadecuado tratamiento de aguas residuales; a los afluentes agrícolas e industriales; al escombro y al desarrollo costero (incluyendo el dragado); y a la destrucción del hábitat, como ocurre con las pérdidas de manglares y pastizales marinos (Mcfield et al., 2018). La cobertura de macroalgas en los arrecifes de Guatemala se encontraba entre el 11 y 35 % para el 2015 (Kramer et al., 2015), lo que se considera un estado de regular a crítico, según indicadores del Índice de Salud Arrecifal (ISA) (Cuadro 8-1).

Al evaluar los indicadores del ISA a nivel mesoamericano, se observa que los arrecifes de coral de Guatemala presentan el ISA más bajo de la región (Cuadro 8-2), principalmente por la disminución de especies de peces comerciales y herbívoros.

Cuadro 8-1 Rangos específicos de indicadores del índice de Salud Arrecifal (ISA) para determinar el estado de salud de un arrecife

Indicadores ISA	Muy bien (5)	Bien (4)	Regular (3)	Mal (2)	Crítico (1)
Cobertura de coral (%)	≥40	20.0-39.9	10.0-19.9	5.0-9.9	<5
Cobertura de macroalgas carnosas (%)	0-0.9	1.0-5.0	5.1-12.0	12.1-25	>25.0
Peces herbívoros clave (g/100 m^2)	≥3480	2880-3479	1920-2879	960-1919	<960
Peces comerciales clave (g/100 m^2)	≥1680	1260-1679	840-1259	420-839	<420

Nota: ISA = Índice de Salud Arrecifal. Las filas de «Cobertura de coral» y «Cobertura de macroalgas» están dadas en porcentaje del territorio. Las filas de «Peces herbívoros clave» y «Peces comerciales clave» están dadas en gramos por cada 100 metros cuadrados. La fila «Peces herbívoros clave» toma en cuenta únicamente peces loro y cirujanos; mientras que la fila «Peces comerciales clave» contempla solo peces pargos y meros. Elaboración propia, basado en Healthy Reefs Initiative (2012).

Cuadro 8-2 Estado de salud de los arrecifes del Sistema Arrecifal Mesoamericano

País/región	ISA	No. de sitios	Coral vivo (% de cobertura)	Macroalgas carnosas (% de cobertura)	Peces comerciales (g/100m^2)	Peces herbívoros (g/100m^2)
México	2.8	134	15	23	1139	2092
Belice	2.8	94	16	21	876	2384
Guatemala	2.0	10	27	18	43	433
Honduras	3.0	81	22	27	675	4474
Arrecife mesoamericano	2.8	319	18	23	909	2731

Nota: ISA = Índice de salud arrecifal. El valor de las columnas de peces comerciales y peces herbívoros están dados en gramos por cada 100 metros cuadrados. Los valores en color verde corresponden a los mejores valores regionales; mientras que los valores marcados en rojo son los peores. Adaptado de Mcfield et al. (2018).

8.4 Vulnerabilidad e impactos socioeconómicos

La acumulación de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI) en nuestra atmósfera está modificando diversas características del clima, los océanos, el litoral y los ecosistemas que afectan actividades humanas tales como la pesca, la acuicultura y el turismo.

8.4.1 Asentamientos humanos y servicios

Existen comunidades localizados en ambos litorales de Guatemala que presentan dificultades de acceso a los servicios básicos, tales como centros de salud, agua potable, electricidad, encaminamientos adecuados, entre otros. Esas dificultades pueden presentarse a causa de la exclusión en algunos sectores con bajo nivel de escolaridad y bajos ingresos. Además, muchos asentamientos humanos de esta zona se encuentran en terrenos que no son los adecuados, por lo que están en riesgo ante destrates naturales, principalmente aquellos dónde el cambio climático tiene efecto (FAO, 2007; USAID, 2013).

8.4.2 Turismo

Los ecosistemas marino-costeros poseen un elevado valor como recursos recreativos (MARN et al., 2008). Por lo tanto, el deterioro de su belleza escénica es una de las causas principales que afecta al turismo (CONAP et al., 2016) y que se refleja como: i) deterioro y fragmentación del bosque; ii) contaminación por desechos sólidos en playas, ríos, lagunas, pastos marinos y arrecifes; iii) disminución de las poblaciones de fauna acuática y aves; iv) contaminación de los mantos freáticos por pesticidas y nutrientes que alteran la calidad del agua para consumo humano; v) contaminación por aceites y combustibles en los cuerpos de agua; vi) deterioro de los manglares y bosques inundables. Estas amenazas contribuyen a que los efectos del cambio climático impacten de manera más severa a los ecosistemas marino-costeros.

El hecho de carecer de un plan de desarrollo turístico se identifica como una debilidad que afecta directamente al turismo. Un plan de desarrollo turístico para ambas costas permitirá fortalecer la competitividad de este sector y proponer las condiciones para su desarrollo. La Política Nacional para el Desarrollo Turístico Sostenible 2012-2022 (Gobierno de la República de Guatemala, 2012), propone al Caribe como una de las siete regiones turísticas del país. Además, con el objeto de mejorar las condiciones de esta actividad a nivel municipal, la Política contribuye al fortalecimiento de los Comités de Autogestión Turística, creados por el Instituto Guatemalteco de Turismo (CONAP et al., 2016).

8.4.3 Acuicultura y pesca

El cambio climático está modificando la distribución y productividad de las especies marinas y de agua dulce; sus efectos sobre los procesos biológicos y redes alimentarias están siendo más notorios en los últimos años. La sostenibilidad de los ecosistemas y recursos marino-costeros, la pesca y la acuicultura son inciertos. Los efectos del cambio climático están generando medios de subsistencia inestables, cambios de disponibilidad y calidad de la pesca y riesgos para la salud, seguridad y vivienda (FAO, 2007).

Además de los efectos directos del cambio climático sobre las especies de peces, el bienestar de las comunidades locales se ve aún más disminuido por la sobreexplotación de los recursos pesqueros y la degradación de los ecosistemas, afectando la seguridad alimentaria y los medios de subsistencia (FAO, 2007).

En el país existen diferentes tipos de pesquerías; entre ellas están las que se dedican a la extracción de peces de escama (continental y marina), tiburones, dorados, pargos, meros o chernas, y crustáceos (camarones, camaroncillos y langostinos). El efecto sinérgico de las pesquerías marinas del país indica que el recurso va en deterioro ya que las capturas han disminuido notablemente (FAO, 2005).

La totalidad de la flota pesquera en las aguas jurisdiccionales de la ZEE es de bandera nacional. Aunque en la pesca de atún están autorizadas cuatro embarcaciones de capital extranjero con abanderamiento guatemalteco dentro del marco de la Comisión Interamericana del Atún Tropical, en donde Guatemala posee una cuota de acarreo (FAO, 2005).

Durante el periodo de 1950 a 2005 Guatemala ha extraído un total de 333 811 toneladas métricas de recurso pesqueros, lo que representa cerca del 70 % de la producción total proveniente de los litorales del país para ese periodo. De ese total, solamente 7385 toneladas métricas se reportaron provenientes del Caribe, el resto provienen del Pacífico; sin embargo, los reportes del Caribe son a partir de 1987 (MARN et al., 2008). Estudios recientes han indicado que la pesquería de arrastre de camarón a escala industrial en el Pacífico afecta a cerca de 197 especies diferentes de peces, las cuales raramente son aprovechadas. Estas especies se conocen como la fauna de acompañamiento y constituyen entre un 99 % a un 78 % de la captura total de las redes de arrastre (Polanco, 2015).

Los últimos estudios han demostrado que los recursos pesqueros muestran el siguiente comportamiento (CONAP & MARN, 2009):

- Para el litoral Pacífico, la producción promedio anual parece haberse reducido cerca de un 75 % en un lapso de cinco años.
- Para el litoral Caribe, la producción se redujo en un 50 % en un periodo de dos años.
- En relación con las especies de interés comercial, de las 11 especies que eran capturadas en el litoral Caribe, actualmente solo cuatro de ellas son las que se capturan. En ese sentido, para el litoral Pacífico se reportan ocho especies de las 24 que se capturaban anteriormente.
- Cerca del 40 al 75 % de las tallas y pesos capturados en promedio corresponden a ejemplares pequeños, comparados con los reportes de peso y tallas promedio que se capturaban anteriormente.

Dicha información indica que las pesquerías artesanales están evidenciando amenazas relacionadas con la sobreexplotación, malas prácticas pesqueras y falta de aplicación de la Ley de Pesca (Decreto 80-2002, 2002); esto provoca una disminución de la producción anual, impacto en un grupo de especies capturadas, así como la captura de ejemplares de tallas y peso pequeños.

8.5 Estrategias de manejo y oportunidades de adaptación al cambio climático

Algunas medidas que se proponen para los asentamientos humanos y la gestión de riesgos son las siguientes: i) incorporar el cambio climático como variable en los planes de ordenamiento territorial para la planificación de los asentamientos humanos y la definición del uso del suelo; ii) elaborar políticas de gestión de riesgo que identifiquen el incremento de las amenazas y vulnerabilidad por efectos del cambio climático; iii) mejoramiento de la tecnología para la construcción de infraestructura y vivienda considerando los eventos climáticos; iv) planificación de asentamientos más sostenibles y equitativos; v) cuidado del medio ambiente, tratando de manera eficiente los residuos sólidos, incentivando e impulsando energía renovable, para reducir la huella ecológica (USAID, 2013).

La pesca y la acuicultura pueden contribuir a los esfuerzos de mitigación **(capítulo 12)** y adaptación. Con el fin de aumentar la capacidad de resiliencia ante los efectos del cambio climático y obtener beneficios sostenibles, los gestores de políticas para la pesca y la acuicultura deben adoptar y seguir buenas prácticas de manejo, como las descritas en el Código de Conducta para la Pesca Responsable (FAO, 2002). Estas prácticas deben integrarse con mayor efectividad a la ordenación de cuencas fluviales, cuencas hidrográficas y zonas litorales.

La pesca y acuicultura deben ser incluidas dentro de las estrategias nacionales de adaptación al cambio climático en Guatemala. Los ecosistemas acuáticos, la pesca y la acuicultura podrían verse afectadas como consecuencia de las medidas de adaptación aplicadas a distintos sectores. El diseño y desarrollo de estrategias de mitigación para reducir emisiones producidas por las pesquerías y la acuicultura requerirá enfoques innovadores (FAO, 2007). Dentro de algunas opciones que se podrían mencionar están la ampliación del proyecto Reducción de las emisiones de la deforestación (REDD+) que actualmente se está desarrollando en Guatemala, tratando de abarcar áreas extensas de manglares; disminución de capacidad pesquera; búsqueda de mecanismos innovadores para capturar carbono en ecosistemas acuáticos (manglares, pastos marinos y arrecifes); y

el desarrollo de sistemas productivos acuícolas con niveles bajos de emisión de carbono.

La producción acuícola de especies herbívoras puede proporcionar alimentos nutritivos con una huella de carbono menor y contribuir con la limpieza de arrecifes. El cultivo de mariscos contribuye a la limpieza de las aguas litorales, mientras que la producción de plantas acuáticas ayuda a eliminar el exceso de nutrientes en aguas costeras. Contrastando con la posible reducción del rendimiento agrícola en muchas partes del mundo, el cambio climático ofrece nuevas oportunidades para la acuicultura en la medida en que se pueda aumentar el número de especies cultivadas, el mar se adentre en ciertas zonas litorales y se construyan más diques y presas en cuencas fluviales para adaptarse a los cambios en los regímenes de lluvia (FAO, 2007).

8.5.1 Monitoreo, generación de información y modelación

Guatemala requiere de programas y estrategias que permitan monitorear a largo plazo y bajo metodologías estandarizadas las variables más importantes para poder evaluar el impacto del cambio climático en las zonas marinas y costeras. El monitoreo permite establecer un sistema de alerta temprana para detectar eventos extremos e identificar riesgos vinculados a los ecosistemas y la población que pueda afectar la zona marina y costera.

En el año 2017, el Consejo Nacional de Cambio Climático diseñó un documento que integra las Líneas de Investigación en Cambio Climático (CNCC, 2017) para dar cumplimiento al Artículo 7 de la Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación Obligatoria antes los Efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (Decreto 7-2013, 2013). Este documento aborda el cambio climático en aspectos como la ciencia del clima, adaptación y mitigación, los cuales sirven como una herramienta para la planificación estratégica y la toma de decisiones, tanto al nivel técnico como político. Este tipo de documentos orientan la generación de información respondiendo a necesidades y circunstancias del país, fortalecen las capacidades interinstitucionales para la investigación y generación de información, así como la cooperación entre actores y sectores, unificando esfuerzos que contribuyan a la resolución de problemas.

A lo largo del tiempo se han identificado temas de investigación para las zonas marino-costeras, dentro de los cuales se pueden mencionar el manejo de los recursos marino-costeros; ordenamiento territorial; conservación y protección de los ecosistemas y la diversidad biológica; y cambio climático. La mayoría de estos temas son desarrollados por distintas instituciones gubernamentales, no gubernamentales, y por otros sectores que tienen incidencia directa e indirecta en estas zonas. Sin embargo, muchas de las investigaciones no han estado integradas en el marco institucional, aunque estén incluidas en aportes aislados de temas.

La Estrategia Nacional de Investigación Marino-Costera para Guatemala (ENIMC) (SENACYT et al., 2018) tiene como objetivo garantizar la permanencia y el desarrollo de las zonas marino-costeras por medio de una gestión integral para la generación y aplicación del conocimiento, como parte de una agenda nacional de investigación que responde a las demandas y necesidades sociales, productivas y de conservación. La importancia de la ENIMC radica principalmente en que resalta los ejes y líneas estratégicas para el cumplimiento de las políticas y planes, siendo estas las bases para orientar las distintas investigaciones a realizar en las zonas marino-costeras, que corresponden con el indicador de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) número 14.

Actualmente se han iniciado esfuerzos para desarrollar plataformas de trabajo intersectoriales, unificando actividades vinculadas a la conservación y manejo de ecosistemas y recursos marino-costeros a nivel nacional. Este tipo de plataformas fortalecen el trabajo y contribuyen a genera un impacto relevante y sostenible a largo plazo. Dentro de las plataformas se pueden mencionar la Alianza Interinstitucional para la Conservación de Ecosistemas Marino-Costeros y Pesca Sostenible, la Red de Pesquerías Sustentables en el Sistema Arrecifal Mesoamericano y Red de Restauración de Arrecifes del Sistema Arrecifal Mesoamericano. También se han conformado una serie de mesas de trabajo vinculadas a la conservación de ecosistemas marino-costeros y terrestres, y nuevas herramientas de manejo que fortalecen el trabajo de investigación y la toma de decisiones.

8.5.2 Conservación, restauración y ordenamiento ecológico

La capacidad de respuesta ante los efectos esperados del cambio climático en las zonas costeras dependerá del estado de conservación de los humedales y otros ecosistemas, considerando que Guatemala es uno de los países con ecosistemas frágiles y vulnerables a los impactos del cambio climático (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Instituto Nacional de Ecología, 2009).

Existe una serie de intervenciones de manejo y de conservación que se han implementado durante los últimos cinco años, las cuales son herramientas funcionales que han contribuido al ordenamiento y equilibrio ecológico. A continuación, se mencionan las herramientas de manejo y conservación que contribuirían a mantener el estado de salud de distintos ecosistemas, así como de los recursos marino-costeros.

8.5.2.1 Calidad de agua

La contaminación por nutrientes es el factor principal de la proliferación de macroalgas, por lo tanto, es necesario reducir este tipo de contaminación para mejorar la calidad de agua. También es necesario plantear el trabajo con autoridades para reducir los niveles de bacterias fecales en los afluentes, a niveles que cumplan con las aguas de Clase I[4] de la Convención de Cartagena (Mcfield et al., 2018). Se deben modernizar o construir plantas de tratamiento, así como fortalecer y apoyar a los residentes; en este sentido, es importante explorar tecnologías innovadoras como el sistema cerrado de la Iniciativa Global Omega, que transforma los residuos en biocombustibles, capturando el dióxido de carbono. También se pueden reducir las fuentes de contaminación cuenca arriba (agricultura, turismo, industria, deforestación), mejorando las prácticas de manejo, actualizando los planes de acción y de manejo, así como los reglamentos. Se debe evitar la deforestación y prevenir la pérdida de pastizales para restaurar la filtración natural.

8.5.2.2 Restauración de ecosistemas

La restauración ecológica busca la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado por diferentes factores. En Guatemala, se han iniciado proyectos piloto de restauración en el tema marino-costero; sin embargo, algunos no han tenido éxito porque los cambios bruscos de temperatura y pH han contribuido a que no se desarrollen adecuadamente.

La restauración de arrecifes es una ciencia reciente, aún en experimentación, que se ha convertido en una de las técnicas de manejo más actuales para contrarrestar la degradación y apoyar la pronta recuperación de estos ecosistemas a nivel mundial (Ramírez et al., 2016). En el año 2015, se emprendió una colaboración interinstitucional para iniciar la implementación de un proyecto de restauración de corales en el Caribe de Guatemala, con el fin de abordar la degradación de los arrecifes. En ese contexto, se colocaron un total de 16 viveros para restauración en donde se sembraron 239 fragmentos; sin embargo, la mayoría presentaron palidez y blanqueamiento debido a factores climáticos, principalmente por cambios en la temperatura, manipulación durante la siembra y la sedimentación.

La restauración de herbívoros clave es esencial para reducir las macroalgas en arrecifes de coral. En el año 2015, se logró un esfuerzo por medio de la coordinadora para Guatemala de la Iniciativa Arrecifes Saludables, encaminado a proteger los peces herbívoros, principalmente los peces loro. Es importante mencionar que se han empezado proyectos piloto para evaluar el potencial de restauración de las poblaciones de erizo y cangrejo real en áreas protegidas.

Desde el año 1999 se han realizado esfuerzos para recuperar el ecosistema manglar, sin embargo, una de las limitantes ha sido la falta de fondos para

4 Las aguas de Clase I corresponden a: i. Aguas que contienen arrecifes de coral, praderas marinas o manglares; ii. zonas críticas para la reproducción, cría y alimentación de la vida acuática y terrestre; iii. zonas que proporcionan hábitats para las especies protegidas en virtud del Protocolo relativo a las Áreas y Fauna y Flora Silvestres Especialmente Protegidas del Convenio (protocolo SPAW); iv. zonas protegidas incluidas en el Protocolo SPAW; y v. aguas utilizadas para recreación (Naciones Unidas, 1999).

la implementación de técnicas más adecuadas y, sobre todo, para un seguimiento exitoso. En los últimos años, a nivel nacional, se ha sensibilizado a los comunitarios sobre la importancia de la conservación y restauración del ecosistema manglar, resaltando el sentido de apropiación y empoderamiento sobre su entorno.

8.5.2.3 Zona de recuperación pesquera

Las zonas de recuperación pesquera son áreas del océano y de aguas interiores que están protegidas contra todas las actividades extractivas y destructivas; si son bien diseñadas y manejadas, pueden reducir las amenazas locales y ser una herramienta poderosa para el manejo pesquero, la conservación de la diversidad biológica y la adaptación ante los cambios en el clima y la química del océano (Green et al., 2017).

Actualmente, cada uno de los cuatro países con jurisdicción sobre el SAM (Belice, Guatemala, Honduras y México) ha utilizado diferentes enfoques para diseñar e implementar sus propias redes.

8.5.2.4 Alianzas estratégicas para la conservación y manejo de ecosistemas y recursos marino-costeros

Actualmente el trabajo interinstitucional ha fortalecido la investigación biológica de especies y ecosistemas; el diseño e implementación de nuevas herramientas de manejo, como las Zonas de Recuperación Pesqueras (ZRP); la restauración ecológica de zonas marino-costeras; el manejo y ordenamiento sostenible de las pesquerías; y la conservación de áreas protegidas. El involucramiento de las comunidades es una de las líneas estratégicas de impacto alrededor de estas iniciativas.

8.6 Conclusiones

En Guatemala, el alto grado de degradación de los ecosistemas marino-costeros es producto de actividades humanas, como la sobrepesca, el uso de artes sostenibles y la contaminación del agua. También influyen los efectos de huracanes, inundaciones e incrementos en la sedimentación; además de los efectos directos del cambio climático, como el aumento de la temperatura y nivel del mar. Uno de los ecosistemas más vulnerables a esta degradación es el de arrecifes de coral (Mcfield et al., 2018).

Estos arrecifes son vitales para la subsistencia y economía de las poblaciones aledañas, ya que sirven como refugio, sitios de agregación y reproducción de especies importantes a nivel comercial. Aunque lo arrecifes se han adaptado a crecer en aguas semiturbias, los cambios de salinidad, el aumento de la contaminación, los nutrientes y sedimentos de los ríos principales, la falta de herbivoría y la creciente demanda de pescado están disminuyendo la salud de estos ecosistemas de Guatemala. La identificación e implementación de mecanismos de restauración de los ecosistemas coralinos es una prioridad nacional para promover su recuperación a amenazas naturales y antropogénicas, en especial su resiliencia a efectos del cambio climático. La recuperación de los corales es posible, sin embargo, es un proceso lento y variable que depende del incremento de la intensidad y frecuencia de los cambios climáticos. La reducción de la cobertura de corales en las costas guatemaltecas implicaría pérdidas ecológicas, sociales y económicas.

Los bienes y servicios que proveen los ecosistemas marino-costeros son importantes para el desarrollo sostenible de Guatemala, principalmente para el bienestar de las futuras generaciones. Por lo tanto, es necesario continuar con el desarrollo de conocimientos técnicos y científicos que sean base para las políticas públicas, así como para la aplicación de buenas prácticas que aseguren la conservación, el uso sostenible y la restauración de los ecosistemas y recursos marino-costeros. Es de suma importancia el trabajo en conjunto para establecer plataformas de coordinación y de diálogo con la finalidad de unificar esfuerzos que puedan fortalecer la conservación y el manejo, así como construir soluciones económica y

ecológicamente viables. Se debe involucrar a las comunidades y grupos de pescadores para el trabajo conjunto, con el fin de fortalecer sus capacidades en la conservación, protección y manejo de ecosistemas y recursos, garantizando la seguridad y soberanía alimentaria y la resiliencia al cambio climático.

La importancia de la base de información biológica de los ecosistemas y recursos marino-costeros radica en conocer su estado de salud para la toma de decisiones de alto nivel; con esto se hace referencia a las herramientas de manejo y restauración más adecuadas, así como ampliaciones de áreas protegidas dependiendo de los ecosistemas prioritarios. El conocimiento del estado de salud de los ecosistemas y recursos, así como de las amenazas y presiones que los pueden afectar, proporciona información para la conservación y manejo adecuado.

8.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). (2013). *Plan de adaptación ante el cambio climático.* Programa regional de USAID para el manejo de recursos acuáticos y alternativas económicas.
- Andrino, S. (2015). *Contenido alimenticio del pez león Pterois volitans (Linnacus, 1758) en el área de Motaguilla, Caribe guatemalteco.* Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).
- Ballhorn, U., Mott, C., Atwood, E., & Siegert, F. (2016). *Establishing the baseline for seagrass and mangrove area cover in five marine and coastal priority protected areas within the Meso-American Reef area. Río Sarstún Multiple Use Area, Guatemala.* Final Report. MAR Fund Phase II.
- Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC), & Sistema de Información Ambiental del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (SIA-MARN). (2012). *Cobertura actual del mangle en Guatemala a través de técnicas de percepción remota.* Panamá: CATHALAC.
- Consejo Nacional de Cambio Climático (CNCC). (2017). *Líneas de investigación en cambio climático Consejo Nacional de Cambio Climático.* Guatemala.
- Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural (CONADUR). (2014). *Plan nacional de desarrollo K'atun: nuestra Guatemala 2032.* Guatemala.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). (2016). Ley de Áreas Protegidas y su reglamento, Decreto No. 4-89 y sus reformas, Decretos No. 18-89, 110-96 y 111-97 del Congreso de la República de Guatemala. Guatemala. Recuperado a partir de http://168.234.196.99/Documentos/ley.pdf
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), Cooperación Alemana (KFW), Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación (FUNDAECO), & MAR Fund. (2016). *Documento técnico - proceso de actualización del plan maestro del Refugio de vida silvestre Punta de Manabique (RVSPM) departamento de Izabal, Guatemala.*
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), & Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2009). *Biodiversidad marina de Guatemala: análisis de vacíos y estrategias para su conservación.* Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, The Nature Conservancy.
- Danovaro, R., Dell'Anno, A., & Pusceddu, A. (2004). Biodiversity response to climate change in a warm deep sea. *Ecology Letters*, 7(9), 821–828. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00634.x

- Decreto 7-2013. Ley marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero (2013). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Decreto 80-2002. Ley general de pesca y acuicultura (2002). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Dulvy, N. K., Rogers, S. I., Jennings, S., Stelzenmüller, V., Dye, S. R., & Skjoldal, H. R. (2008). Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: A biotic indicator of warming seas. *Journal of Applied Ecology*, 45(4), 1029–1039. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01488.x
- Fundación Mario Dary Rivera (FUNDARY), Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), & The Nature Conservancy (TNC). (2006). *Plan maestro Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique.* (M. Jolón, Ed.). Guatemala. Recuperado a partir de http://168.234.196.99/Documentos/SIGAP/PMR/PM RVS Punta de Manabique.pdf
- Gálvez, G., Pacheco, G., & Ramírez, S. (2017). *Valoración económica y cultural del ecosistema manglar en el área de uso múltiple río Sarstún.*
- García, P., Franco, I., García, J., & Montiel, A. (2012). *Análisis funcional de los manglares achaparrados del ecosistema Río Sarstún en el Caribe de Guatemala.* Guatemala.
- Gobierno de la República de Guatemala. (2012). Política nacional para el desarrollo turístico sostenible de Guatemala 2012-2022. Guatemala.
- Gómez Lozano, R. L., Anderson, J. L., Akins, D. S. A., Buddo, G., García-Moliner, F., Gourdin, M., … Torres, R. (2013). *Regional strategy for the control od invasive lionfish in the Wideer Caribean.* International Coral Reef Initiative.
- Green, A., Chollett, I., Suárez, A., Dahlgren, C., Cruz, S., Zepeda, C., … Bezaury, J. (2017). *Principios biofísicos para el diseño de una red de zonas de recuperación en el Sistema Arrecifal Mesoamericano.*
- Grupo de Coordinación Interinstitucional (GCI). (2018). *Evaluación preliminar de factores del uso de la tierra, causas y agentes de deforestación y degradación de bosques en Guatemala. Estrategia Nacional de Reducción de la Deforestación y Degradación de Bosques en Guatemala (ENDDBG) bajo el mecanismo REDD+.* Guatemala.
- Harley, C. D. G., Hughes, A. R., Hultgren, K. M., Miner, B. G., Sorte, C. J. B., Thornber, C. S., … Williams, S. L. (2006). The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters*, 9(2), 228–241. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00871.x
- Hays, G. C., Richardson, A. J., & Robinson, C. (2005). Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(6 SPEC. ISS.), 337–344. https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.03.004
- Healthy Reefs Initiative. (2012). *Report Card for Mesoamerican Reef.*
- Hellmann, J. J., Byers, J. E., Bierwagen, B. G., & Dukes, J. S. (2008). Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology*, 22(3), 534–543. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00951.x
- Hoegh-Guldberg, O., & Bruno, J. (2010). The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*, 328, 1523–1528. https://doi.org/10.1126/science.1189930
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., … Hatziolos, M. E. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318, 1737–1742. https://doi.org/10.1126/science.1152509
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2012). *Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012: vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo.* Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar.

- Ixquiac, M. (2018). *Proyecto: plan de manejo de la pesca y plan piloto de ordenamiento pesquero para el Área de Uso Múltiple Río Sarstún. Guatemala.*
- Kramer, P., Mcfield, M., Álvarez-Filip, L., Drysdale, I., Rueda-Flores, M., Giró, A., & Pott, R. (2015). 2015 *Report Card for the Mesoamerican Reef.* Recuperado a partir de http://www.healthyreefs.org/cms/wp-content/uploads/2015/05/MAR-EN-small.pdf
- López, J., Morales, A., Soberanis, H., & Ramírez, M. (2016). *Restauración ecológica participativa del ecosistema de manglar en la reserva natural de usos múltiples Monterrico.* Guatemala.
- MacDonald, B. D. (2011). *Análisis de la diversidad de las praderas de pastos marinos en la laguna marino-costera de la Bahía La Graciosa, Izabal, Guatemala.* Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Mcfield, M., Kramer, P., Álvarez-Filip, L., Drysdale, I., Rueda-Flores, M., Giró, A., & Soto, M. (2018). 2018 *Report Card for the Mesoamerican Reef.* Recuperado a partir de www.healthyreefs.org
- Michot, T. C., Burch, J. N., Arrivillaga, A., Rafferty, P. S., Doyle, T. W., & Kemmerer, R. S. (2002). *Impacts of Hurricane Mitch on seagrass beds and associated shallow reef communities along the Caribbean coast of Honduras and Guatemala.* USGS Open File Report 03-181. https://doi.org/10.1007/s00228-004-0830-4
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Política para el manejo integral de las zonas-marino costeras de Guatemala. Acuerdo Gubernativo 328-2009 (2009). Guatemala.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL), & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2008). *Informe ambiental del Estado - GEO Guatemala 2009.* Guatemala. Recuperado a partir de http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/MARN/GEO2009.pdf
- Mojica, Á. M., & Arrivillaga, A. (2014). *Evaluación rápida de la efectividad de manejo de las cuatro áreas protegidas del proyecto - fase 1. Proyecto Conservación de Recursos Marinos en Centroamérica.* Fondo para el Sistema Arrecifal Mesoamericano.
- Molnar, J. L., Gamboa, R. L., Revenga, C., & Spalding, M. D. (2008). Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(9), 485–492. https://doi.org/10.1890/070064
- Morris, J. (2013). El pez león invasor: guía para su control y manejo. *Gulf and Caribbean Fisheries Institute Special Publication Series, No. 2.* Marathon, Florida.
- Muñoz-Escobar, L., & Gil-Agudelo, D. (2010). Composición dietaria del pez invasor, complejo *Pterois volitans* (Pisces:Scorpaenidae) en Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 41(2), 471–477.
- Naciones Unidas. (1999). *Protocolo relativo a la contaminación procedente de fuentes y actividades terrestres del convenio para la protección y el desarrollo del medio marino de la región del gran Caribe.* Cartagena de Indias, Colombia.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2002). *Código de conducta para la pesca responsable.* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2005). *Resumen informativo sobre la pesca por países.* FAO. Ciudad de Guatemala. Recuperado a partir de ftp://ftp.fao.org/FI/DOCUMENT/fcp/en/FI_CP_BO.pdf%5Cnftp://ftp.fao.org/FI/DOCUMENT/fcp/es/FI_CP_VE.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2007). *La pesca y la acuicultura frente al cambio climático.*

Orr, J. C., Fabry, V. J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S. C., Feely, R. A., ... Yool, A. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437(7059), 681–686. https://doi.org/10.1038/nature04095

Polanco, F. (2015). *Caracterización de la fauna de acompañamiento de la pesca de camarón de mediana escala en la Bahía de Amatique, Izabal*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Pörtner, H. O., & Knust, R. (2007). Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance. *Science*, 315(5808), 95–97. https://doi.org/10.1126/science.1135471

Rahel, F. J., & Olden, J. D. (2008). Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conservation Biology*, 22(3), 521–533. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00950.x

Ramírez, S., Giró, A., & Mojica, Á. M. (2016). *Proyecto piloto de restauración de corales del Caribe Guatemalteco: explorando su viabilidad y potencial como una herramienta de manejo y conservación.*

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, & Instituto Nacional de Ecología. (2009). *Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México* [Volumen 1]. (J. Buenfil, Ed.). México D.F.

Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), Rainforest Alliance (RA), & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2018). *Estrategia Nacional de Investigación Marino-Costera para Guatemala*. Guatemala.

Smith, J. E., Risk, M. J., Schwarcz, H. P., & McConnaughey, T. A. (1997). Rapid climate change in the North Atlantic during the Younger Dryas recorded by deep-sea corals. *Nature*, 386, 818. Recuperado a partir de http://dx.doi.org/10.1038/386818a0

Stachowicz, J. J., Terwin, J. R., Whitlatch, R. B., & Osman, R. W. (2002). Linking climate change and biological invasions: Ocean warming facilitates nonindigenous species invasions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(24), 15497–15500. https://doi.org/10.1073/pnas.242437499

Uribe, E. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina.*

Wakida-Kusunoki, A. T., Rojas-González, R. I., González-Cruz, A., Amador-del Ángel, L. E. a, Sánchez-Cruz, J. L., & López-Tellez, N. a. (2013). Presence of giant tiger shrimp Penaeus monodon Fabricius, 1798 on the Mexican coast of the Gulf of Mexico. *BioInvasions Records*, 2(4), 325–328. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3391/bir.2013.2.4.11

Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J. B., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., ... Williams, S. L. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(30), 12377–12381. https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106

Windevoxhel, N. (1994). Valoración económica de los manglares: demostrando la rentabilidad de su aprovechamiento sostenible. Casos Héroes y Mártires de Veracruz, Nicaragaua. *Revista Forestal Centroamericana*, (9), 18–26.

9

ASENTAMIENTOS HUMANOS
E INFRAESTRUCTURA

Autores: Omar G. Flores B[1] e Isabel Cifuentes Soberanis[2]
Autor contribuyente: Gustavo Adolfo Mayén Herrera[3]

[1] CESEM Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, omar_floresb@yahoo.com
[2] Facultad de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala, isabel.cifuentes@farusac.edu.gt

[3] Consejo Verde de la Arquitectura y del Diseño de Guatemala

Forma de citar este capítulo:
Flores B, O. G., & Cifuentes Soberanis, I. (2019). Asentamientos humanos e infraestructura. 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. 192–211). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Mensajes clave:

- Los asentamientos humanos se encuentran en riesgo por efectos del cambio climático debido a la vulnerabilidad social, económica y ambiental de la población; y por el proceso de urbanización acelerado y ausencia de ordenamiento territorial en el país.

- La infraestructura juega un papel primordial en el desarrollo de un país. El cambio climático tiene repercusiones directas sobre esta y una de las principales amenazas a las que se enfrenta son las inundaciones.

- Existe gran número de medidas que pueden llevarse a cabo para adaptarnos al cambio climático y para que estas sean efectivas es importante identificar correctamente el estado de riesgo, adoptar un enfoque multiamenazas, establecer sistemas de alerta, establecer y cumplir normativas para minimizar el riesgo, así como la planificación territorial y la implementación de estrategias de inversión para la reducción del riesgo.

RESUMEN

Los sistemas naturales de los que se valen los sistemas humanos para la obtención de los medios de vida se encuentran en considerable riesgo ante la posible escasez de recursos como el agua. La infraestructura juega un papel primordial en el desarrollo y bienestar de un país, y resulta imprescindible para que la economía se ubique en un rumbo de mayor crecimiento. El cambio climático tiene repercusiones directas sobre la infraestructura física que se considera vital para una ciudad.

Por ejemplo, la exposición a deslizamientos es muy alta en las ciudades densamente pobladas, como la ciudad de Guatemala, que tiene aproximadamente 297 asentamientos humanos en situación de pobreza (Mazariegos, 2017). El rápido crecimiento de la población (cuatro por ciento anual) supone un aumento de la demanda de vivienda, incluidas las de condiciones poco favorables para quienes viven en asentamientos, lo cual expone a los territorios en ocupaciones evidentemente vulnerables a sufrir daños o riesgos significativos de desastres, especialmente en la temporada de lluvia.

Una de las principales amenazas a las que se enfrenta la infraestructura son las inundaciones, que se consideran como uno de los eventos más costosos y uno de los fenómenos con más probabilidad de aumentar como efecto del cambio climático. En la infraestructura, su ocurrencia afecta especialmente a puentes y carreteras.

Existe una serie de acciones que deben ser consideradas como prioritarias. Entre ellas se encuentran la identificación y monitoreo de riesgos, mejoramiento de la normativa que regula la construcción en zonas poco adecuadas, técnicas de construcción de infraestructura contra daños por eventos naturales extremos, la adopción de un enfoque multiamenazas cuando se considere que el entorno es vulnerable y, finalmente, la implementación de estrategias financieras para reducir el riesgo.

Este capítulo está enfocado en el planteamiento de las principales amenazas e impactos que puedan ocasionarse en los sectores de infraestructura y asentamientos humanos por eventos que se generen a causa del cambio climático. La consecuencia prevista será el aumento del riesgo a desastres, con las consecuentes pérdidas, tanto de vidas humanas como de daños a la infraestructura. En tal sentido, se exponen las medidas de adaptación que deberán tomarse para minimizar o eliminar el impacto que se pueda ocasionar y prevenir desastres que interrumpan el funcionamiento normal de las actividades sociales. Asimismo, se procura poner en contexto el contenido con el estado del arte y las acciones que se han tomado a nivel nacional por medio de la Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación Obligatoria ante los Efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (Decreto 7-2013, 2013) y la Política nacional para la reducción de riesgo a los desastres en Guatemala (CONRED, 2011).

CONTENIDO

9.1 Riesgos en ciudades por el cambio climático 196

9.2 Efectos, impactos y consecuencias del cambio climático 196
- 9.2.1 Temperatura extrema (calor y frío) 197
- 9.2.2 Sequías 197
- 9.2.3 Lluvias extremas, inundaciones y deslizamientos 198
- 9.2.4 Ciclones dañinos y más frecuentes 198
- 9.2.5 Marejadas e incremento del nivel del mar en zonas costeras 199

9.3 Relación del desarrollo con el cambio climático, la adaptación y la reducción de riesgos a desastres 199
- 9.3.1 ¿Quién está más en riesgo: población o infraestructura? 200
- 9.3.2 Zonas de riesgo: identificación y zonificación de amenazas 200

9.4 Adaptación en áreas rurales y urbanas 202
- 9.4.1 Asentamientos humanos 202
- 9.4.2 Infraestructura crítica o vital 203
  - 9.4.2.1 Puentes y carreteras 203
  - 9.4.2.2 Edificios públicos 203
- 9.4.3 Suelo: deslizamientos, azolvamiento y colmatación (recarga de agua) 204
  - 9.4.3.1 Zonas expuestas a deslizamientos 205
  - 9.4.3.2 Zonas expuestas a inundaciones 205
  - 9.4.3.3 Zonas expuestas a sequía 206
  - 9.4.3.4 Diversidad biológica: pérdida de los ecosistemas y su efecto en el cambio climático local al aumentar la temperatura por la cubierta de concreto 207

9.5 Medidas prioritarias y transversales 207

9.6 Comentarios finales 208
- 9.6.1 Vacíos temáticos y necesidades 208

9.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 209

9.1 Riesgos en ciudades por el cambio climático

La intervención del territorio donde el ser humano ha asentado las ciudades (y su respectiva infraestructura) ha tenido como resultado impactos sociales, económicos y ambientales en los ecosistemas. Esta intervención es el resultado de la búsqueda del desarrollo a través de la obtención de recursos para la subsistencia y el bienestar.

Usualmente las intervenciones urbanas son poco planificadas y tratan de asimilar a una población creciente, que en su mayoría vive en situación de pobreza, lo cual los presiona a buscar lugares con fuerte hacinamiento, asentados en lugares no aptos para vivienda. En este contexto, aumenta la contaminación del aire, del suelo, de las fuentes de agua y es afectada, además, la disponibilidad de este último recurso (Córdova-Aguilar, 2017).

La alta densidad de población en las zonas periféricas de la ciudad contribuye al excesivo uso de vehículos automotores, a la generación de energía en mayores proporciones, al consecuente aumento en el consumo de combustibles fósiles y, finalmente, a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (Córdova-Aguilar, 2017). El incremento de la producción de energía debido a la creciente demanda en los diferentes sectores (domiciliar, comercial e industrial) tiene como consecuencia el aumento de la temperatura media de la tierra y contribuye al calentamiento global **(capítulo 11)**. Este panorama ya es una realidad y los principales efectos esperados de temperaturas y fenómenos climáticos extremos en zonas urbanas tendrán un impacto cada vez más crítico.

Con el objetivo de prevenir un alto riesgo de exposición de elementos (personas e infraestructura), será necesario tomar medidas de adaptación para reducir las vulnerabilidades físicas, sociales y ambientales, y, de esta manera, lograr la reducción o eliminación de los daños que se puedan desencadenar, como las pérdidas económicas y de vidas humanas.

Los aspectos que presentan mayor riesgo de acuerdo con el quinto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014) comprenden los siguientes:

- Sistemas en las zonas costeras
- Ecosistemas terrestres e infraestructura ecológica
- Sistemas de abastecimiento de agua
- Sistemas de aguas servidas (drenajes)
- Sistemas energéticos
- Sistemas agrícolas y seguridad alimentaria
- Sistemas de comunicación y transporte
- Vivienda
- Salud humana
- Sectores económicos clave y de servicios
- Población en estado de pobreza
- Acceso a servicios básicos

9.2 Efectos, impactos y consecuencias del cambio climático

Los cambios en el clima producidos a partir de fines del siglo XX y principios del siglo XXI han causado impactos en sistemas naturales y humanos en Guatemala, como las experiencias vividas tras el huracán Mitch en 1998, la tormenta Stan en 2005 y la tormenta Agatha en 2010, por mencionar los más significativos. Adicionalmente, la crisis alimentaria a lo largo del corredor seco por falta de lluvias puso en peligro la obtención de medios de vida y subsistencia de las poblaciones asentadas en esa región. La principal consecuencia es en el incremento del riesgo ante la exposición a peligros o amenazas naturales y antropogénicas, al cual se anuda el consecuente incremento de la vulnerabilidad física, ambiental, social y económica de personas e infraestructura.

Los impactos clave en las ciudades y zonas rurales comprenden los siguientes (IPCC, 2014):

- Tendencias de calentamiento y temperaturas extremas (frío y calor)
- Sequías
- Incremento en precipitaciones, con intensidades extremas
- Inundaciones
- Deslizamientos
- Ciclones dañinos y más frecuentes (huracanes)
- Marejadas e incremento del nivel del mar en zonas costeras

9.2.1 Temperatura extrema (calor y frío)

En cuanto a eventos de temperatura extrema, se espera que estos sean más frecuentes, intensos y duraderos en la mayor parte de la superficie terrestre (IPCC, 2014). Es casi seguro que se tendrán: i) días y noches menos fríos; ii) días y noches calurosos más frecuentes en la mayor parte de la superficie terrestre; y iii) periodos cálidos u olas de calor más probables en la mayor parte de la superficie terrestre. Esto traerá consigo una reducción de la calidad de vida de los habitantes sin aire acondicionado, impacto en la población de edad avanzada, jóvenes y pobres, una probable pérdida de vidas y aumento del consumo de energía.

Las temperaturas de calor extremas aumentarán el riesgo de desplazamientos humanos y migraciones del área rural hacia los centros urbanos, no solo por el hecho de tener que escapar de las consecuencias de eventos climáticos extremos, como inundaciones y sequías, sino porque este fenómeno climático no garantiza la seguridad alimentaria de los pobladores expuestos a dichos extremos. Así, altas temperaturas como las que se experimentan en época seca tienen un impacto en el abastecimiento de agua para consumo en las ciudades y para riego en el sector rural. Los episodios de calor extremos son de mayor gravedad en las ciudades debido al efecto «isla de calor urbana», es decir, la tendencia de las ciudades a retener más calor que las zonas rurales circundantes (ONU-HABITAT, 2011). Por otra parte, el daño de cultivos por las heladas que producen las bajas temperaturas de diciembre a febrero y las lluvias extremas traen como consecuencia la escasez de alimentos **(capítulo 6)**. Además, las temperaturas extremas tienen también consecuencias en la salud, como las enfermedades respiratorias en las épocas de frío **(capítulo 10)**.

Aunque la temperatura en las ciudades también está determinada por su localización, el informe del Centro de Asentamientos Humanos de Naciones Unidas (ONU-HABITAT, 2011) señala que las ciudades consumen el 75 % de la energía global y son responsables del 80 % de las emisiones de GEI. No obstante, el impacto de las ciudades es de doble naturaleza: por una parte, contribuyen a la generación de GEI; pero, además, incrementan la radiación que es generada por el proceso de urbanización, como el tipo de pavimentos, cubiertas, elementos de construcción y otros usos del suelo.

De acuerdo con la temperatura, balance energético y uso del suelo, las propiedades de evapotranspiración, recarga hídrica y drenajes naturales afectan las temperaturas y, en consecuencia, los ecosistemas (Arellano & Roca, 2015).

9.2.2 Sequías

Resulta muy probable que haya aumento de las zonas afectadas por sequías **(capítulo 2)**, cuyos principales efectos serán la disminución de los potenciales para producción de energía hidroeléctrica y, en las ciudades, la escasez de agua para viviendas, industrias y servicios con la consecuente compra de agua por medio de cisternas **(capítulo 5)**.

Los cambios extremos de temperatura, como calor más intenso, contribuyen a la disminución y escasez del régimen de lluvias en determinadas regiones. Para las ciudades y poblados, esto tiene una doble consecuencia: la falta de agua para consumo interno y los conflictos sociales derivados; así como el potencial desplazamiento y migración de la población.

Las sequías también influyen en que una parte importante de la superficie terrestre esté amenazada por procesos de deforestación y desertificación, principalmente en los meses de época seca. Además,

este impacto es especialmente visible en la ocurrencia de incendios forestales, pérdida de fertilidad en los suelos y procesos erosivos (Verdaguer, 2013).

La Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en su documento Alimentos para las Ciudades (FAO, 2000), establece que las tasas de pobreza en la ciudad de Guatemala son superiores al 50 %. Las condiciones de vida poco adecuadas, además, complican el reto que tienen las poblaciones en esta situación de satisfacer sus necesidades de alimentación. La disponibilidad de suelos urbanos para la producción de alimentos de autoconsumo es escasa y se ve más afectada ante los efectos de la sequía que en las áreas rurales, ya que estas, aunque carecen de periodos estables de precipitación pluvial, poseen territorios más extensos u otros medios para producir alimentos en una escala distinta. Los productores de alimentos de autoconsumo en el área urbana, por lo general, experimentan una carencia más severa de tierras aptas, agua e insumos adecuados que los productores de las zonas rurales.

9.2.3 Lluvias extremas, inundaciones y deslizamientos

Los estudios indican que las precipitaciones fuertes serán más frecuentes y probables en la mayor parte de la superficie terrestre (IPCC, 2014). Esto tendrá como consecuencia problemas por inundaciones en asentamientos humanos, comercio y transporte; pérdidas importantes de vidas humanas; daños y pérdidas de propiedad e infraestructura; y aumento del uso del agua de lluvia en producción de energía hidroeléctrica. Los estudios indican que los episodios de fuertes precipitaciones de uno o varios días de duración han aumentado a lo largo del siglo XX y es muy probable que estas tendencias continúen en el siglo XXI. Dichos eventos, están empezando a tener implicaciones económicas y sociales de gran alcance en el entorno urbano, y ocasionan inundaciones urbanas y procesos de remoción de masas en la superficie (deslizamientos). Con las fuertes lluvias se generan también amenazas concatenadas, como el azolvamiento o represamiento en los ríos y, finalmente, la generación de flujos de detritos o escombros, que producen una mayor capacidad de destrucción. De hecho, las inundaciones se consideran como uno de los desastres más costosos y perjudiciales, cuya frecuencia y gravedad han aumentado en la última década.

Ante la altas tasa de crecimiento y la ocupación inadecuada del territorio, es sencillo inferir que la acción antrópica es la constante modificadora de los elementos de la superficie de la tierra, ya que promueve la ocupación de zonas poco aptas. Las zonas urbanas son precisamente las que tienen mayores riesgos de sufrir daños relacionados con los deslizamientos, pero el problema no es exclusivo de ellas.

En las zonas rurales, aunque la densidad de población es baja, los efectos de la lluvia intensa, que dan como resultado las inundaciones, ponen en riesgo la vida de las personas, así como los medios de vida. Aunque existen numerosos elementos que condicionan la severidad con la que se ven afectados ciertos territorios, es importante sugerir que se realicen análisis espectrales a partir de la precipitación promedio para conocer la variación y frecuencia de las inundaciones a lo largo de un periodo, establecer la posibilidad de ocurrencia y lograr con ello la elaboración de planes de prevención (Hernández & Vieyra, 2010).

9.2.4 Ciclones dañinos y más frecuentes

A escala mundial, los ciclones tropicales y las tormentas extratropicales[1] han ido aumentando su intensidad, según se ha observado en la velocidad del viento y otros indicadores del poder destructivo de las tormentas. Con el calentamiento global, se prevé que la intensidad potencial aumente en la mayoría de las regiones donde se producen ciclones tropicales. Dentro de los principales efectos, se incluyen (CEPAL, 1999; CEPAL & SEGEPLAN, 2005; SEGEPLAN & CONRED, 2010a): i) problemas en asentamientos por inundaciones y deslizamientos; ii) problemas en el suministro de agua, retiro de las coberturas de riesgos en áreas vulnerables por las aseguradoras; y, finalmente, iii) importantes pérdidas humanas y daños a las propiedades. Además, la migración de la población. Guatemala ha sido afectada en los últi-

1 Un ciclón extratropical es un sistema atmosférico cuya fuente primaria de energía es el gradiente horizontal de la temperatura. Los ciclones extratropicales (también llamados ciclones de latitudes medias o tormentas baroclínicas) son sistemas de baja presión asociados a frentes fríos, cálidos u ocluidos (NOAA, 2014).

mos años por el huracán Mitch en 1998, la tormenta Stan en 2005 y la tormenta Agatha en 2010.

La formación de los huracanes se da en las zonas costeras del Caribe y Centroamérica **(capítulo 2)**, los cuales afectan con mayor severidad las tierras bajas cerca del mar y comprometen la estabilidad de la economía, medios de vida y vivienda de las ciudades. Asimismo, no estamos exentos de huracanes que puedan formarse en las costas del Pacífico; Agatha fue uno de estos casos.

9.2.5 Marejadas e incremento del nivel del mar en zonas costeras

Este tipo de impactos afecta principalmente a los poblados y ciudades ubicadas en las zonas costeras. Las marejadas comprenden olas de gran tamaño, generadas por los vientos fuertes que acompañan a los ciclones tropicales o bien por fenómenos como el mar de fondo. Dichas olas, que alcanzan de dos a cinco metros, ingresan en territorios costeros, pueden causar daños a poblaciones y su infraestructura, y dejan un panorama paisajístico desolador por los escombros de viviendas y vegetación arrastrados. El fenómeno del cambio climático se pone de manifiesto en las zonas costeras por un ascenso del nivel del mar debido al derretimiento de la nieve y el hielo en los casquetes polares. La posibilidad de penetración del mar en el territorio depende de la morfología de las costas y tiene como consecuencia inundaciones que afectan a poblaciones e infraestructura de los alrededores. Otros impactos que se pueden tener comprenden la erosión de las costas y la intrusión salina debido al bajo nivel freático de las aguas dulces continentales. Los hundimientos y subsidencias pueden ser otros factores que surgen lentamente y que sitúan a la infraestructura en posición de riesgo.

9.3 Relación del desarrollo con el cambio climático, la adaptación y la reducción de riesgos a desastres

La reducción del riesgo a desastres, en la práctica, es la aplicación de esfuerzos sistemáticos para analizar y disminuir los factores que causan estos eventos. Para lograrlo, resulta importante reducir el grado de exposición a las amenazas y la disminución de la vulnerabilidad de las personas y sus propiedades **(capítulo 4)**. Con la cumbre de Sendai (UNISDR, 2015), el enfoque ha cambiado un poco, pero en el fondo siempre se regresa de una manera indirecta a considerar todas las acciones que se puedan tomar antes de que los fenómenos ocurran y alcanzar, de esa manera, el propósito de tomar acciones de prevención, mitigación y preparación. Estas prioridades incluyen: i) comprender el riesgo de desastres; ii) fortalecer la gobernanza del riesgo a desastres; iii) invertir en el riesgo a desastres para gestionarlo; y iv) aumentar la preparación para casos de desastre con el fin de dar una respuesta eficaz.

Todo lo anterior resalta la importancia de llevar a cabo acciones para adaptarse a los efectos que el cambio climático ya está provocando, puesto que el clima está cambiando y ya se están percibiendo los cambios. El agravamiento es inevitable, lo cual plantea desafíos para el crecimiento y desarrollo, que deben estar enmarcados dentro de los objetivos de desarrollo sostenible y vinculados principalmente a los objetivos 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y 13 (Acción por el clima). Esto conllevará la toma de medidas de adaptación que provean beneficios inmediatos y reduzcan los impactos, y es acá donde también se visualiza que la adaptación está muy relacionada con la gestión de riesgos a desastres y con el desarrollo sostenible (PNUD, 2015).

9.3.1 ¿Quién está más en riesgo: población o infraestructura?

Es una pregunta muy válida, que merece una respuesta, ya que se podrá hacer una conjetura de los daños y del costo que tendremos que aceptar según la magnitud o tamaño de la amenaza, las características del fenómeno, el grado de exposición de los elementos y las vulnerabilidades presentes y construidas. Asimismo, dependerá también del área de cobertura que puede tener la amenaza o peligro. En este sentido, aunque el país está expuesto en gran parte de su territorio, la zona más expuesta es el altiplano, donde se concentra la mayoría de la población e infraestructura **(capítulo 4)**.

La proyección de población estima que en el área metropolitana de Guatemala viven aproximadamente tres millones de personas. Esta área incluye los municipios de Mixco, Villa Nueva, Amatitlán, San Miguel Petapa, Villa Canales, en el departamento de Guatemala; y San Lucas Sacatepéquez y Antigua Guatemala, en el departamento de Sacatepéquez (INE, 2015). Esta cantidad de personas requiere de servicios básicos (agua, energía eléctrica, alumbrado público, drenajes); así como servicios de transporte (público o privado), comercio, industria, empleo, salud, educación, seguridad ciudadana y otros tantos servicios complementarios de la ciudad (INE, 2015).

Según estimaciones de la municipalidad de Guatemala (2016), cada día se movilizan dos millones de personas en el conglomerado urbano de la ciudad de Guatemala. Particularmente, en las zonas seis y 18 se concentra el 40 % de la población joven y potencialmente productiva, lo que requiere la dotación de todos los servicios anteriormente mencionados. Esto ha provocado el aumento en la densidad poblacional y el uso inadecuado del suelo, lo cual ha tenido efectos como la reducción de las zonas de recarga hídrica, el aumento en la demanda de transporte público y privado y, por consiguiente, de combustibles fósiles. En consecuencia, se ha elevado la producción de GEI en las horas pico, las cuales se extienden hasta por dos horas.

Las carreteras de ingreso a la ciudad, como la Calzada Roosevelt y Santa Catarina Pinula (carretera a El Salvador), mantienen congestionamientos de hasta dos horas y una afluencia aproximada de 1 200 000 vehículos por la mañana y el mismo número por la tarde noche. Este fenómeno ha provocado un significativo deterioro en la calidad del aire en las áreas urbanas y periurbanas de la ciudad de Guatemala (Municipalidad de Guatemala, 2016).

El constante crecimiento de la población a razón del cuatro por ciento anual incrementa la demanda de vivienda y quienes viven en asentamientos humanos en condición de pobreza se ven forzados a buscar viviendas en condiciones poco favorables. Esta situación expone los territorios en ocupaciones vulnerables a sufrir daños o en riesgo significativo de desastres, especialmente en la temporada de lluvia. Asimismo, en este contexto, las temperaturas extremas son condiciones que propician enfermedades, principalmente gastrointestinales y respiratorias. Es igualmente alarmante que la escasez de agua aumente cada año ante la disminución de suelo para la recarga hídrica (INE, 2015).

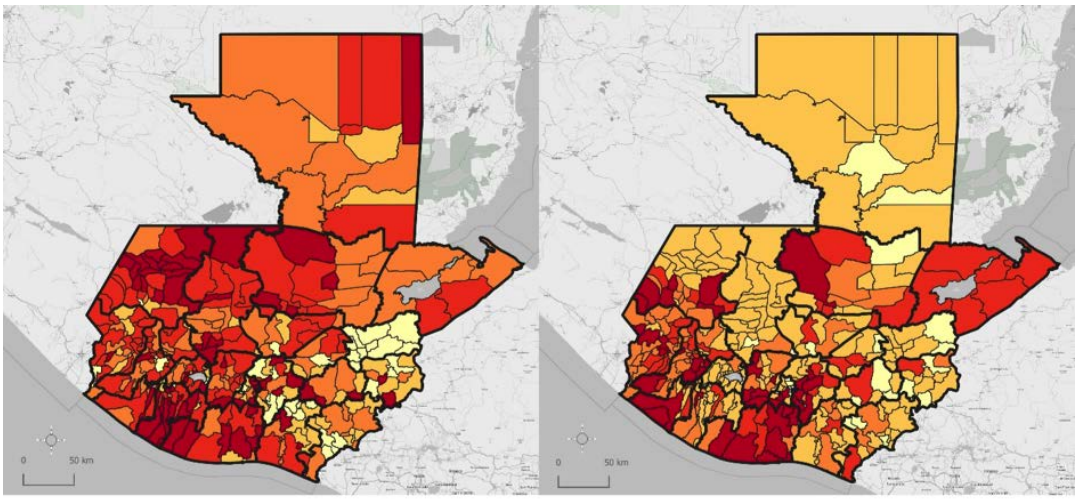
9.3.2 Zonas de riesgo: identificación y zonificación de amenazas

La identificación y el consiguiente establecimiento de las zonas de riesgo depende de qué tanto entendemos la causa y el origen del fenómeno, y su distribución espacial. Al identificar las zonas en que el fenómeno puede ser más dañino, hemos dado un paso hacia la reducción del grado de exposición en un determinado lugar. A través de la zonificación, se sabrá qué áreas son seguras y cuáles representan un peligro mayor de exposición y vulnerabilidad. Adicionalmente, habrá que complementar el proceso con un análisis de vulnerabilidades físicas, sociales, económicas y ambientales. En Guatemala se poseen diversos estudios con los que es posible lograr una primera aproximación de la identificación de zonas de peligro, como por ejemplo áreas con amenaza de inundación, deslizamientos o sequías (ICC, 2017; MAGA & INSIVUMEH, 2002; SGCCC, 2015b). Resulta importante también estar ejecutando un monitoreo permanente de los fenómenos, tales como las intensidades de lluvias a través de estaciones meteorológicas con las que se obtenga, por ejemplo, medidas de temperatura, intensidad de lluvia, entre otros.

A nivel local, el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) es el encargado de velar por disponer y compartir dicha información básica, así como disponer de mapas de zonas de amenaza o peligro. En todo caso, pueden estar disponibles en la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), en centros de investigación en las universidades y también en otras entidades del Estado, como el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación o la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. Las municipalidades son también una fuente de estudios específicos, realizados a través de sus unidades técnicas de planificación y construcción. También son fuentes, en el sector ambiental, la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA) y La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE).

A la fecha (2018), la CONRED dispone de una serie de mapas de amenazas por municipio, que pueden ser consultados en línea[2]. Este servicio ofrece la posibilidad de identificar las zonas con mayor exposición.

Así también, el índice de gestión de riesgos INFORM (acrónimo en español de Index For Risk Management), iniciativa de la Comisión Europea y el Grupo de referencia sobre Riesgo, Alerta Temprana y Preparación del IASC (Inter Agency standing Committee) a nivel global, promueve un proceso amplio de consulta y colaboración entre múltiples actores para generar una base de conocimiento común, sobre el riesgo a partir de la cual abordar la planificación conjunta de su gestión. INFORM ofrece la metodología y herramientas de evaluación de riesgos diseñada para apoyar procesos de toma de decisiones en prevención, preparación y respuesta frente a crisis y catástrofes (Marin-Ferrer, Vernaccini, & Poljansek, 2017). La Figura 9-1 muestra las componentes de degradación ambiental y de eventos naturales definidos por INFORM para el año 2017 para la República de Guatemala, que definen el indicador de peligro y exposición natural a nivel municipal (Figura 9-2).



Componente: Degradación ambiental
Indicador: deforestación

Componente: Eventos naturales
Indicador: desastres geodinámicos, geofísicos e hidrometeorológicos

LEYENDA

Muy bajo
Bajo
Medio
Alto
Muy Alto
División administrativa departamental

Figura 9-1 Mapas de las componentes a) «degradación ambiental» y b) «eventos naturales» a nivel municipal. La componente de degradación ambiental utiliza el indicador de deforestación e incluye información sobre el avance de la deforestación y esfuerzos de reforestación. La componente de eventos naturales incluye el indicador de desastres geodinámicos, geofísicos e hidrometeorológicos; por lo que contiene información sobre erupciones, terremotos, sismos, hundimientos, grietas, derrumbes, ventarrones, correntadas, desbordamientos, temporales, inundaciones, sequías, huracanes, heladas y tempestades ocurridos en el periodo 1530-2015. Elaboración propia, basado en Marin-Ferrer et al. (2017).

2 Disponibles en https://conred.gob.gt/site/Mapas-Municipales-Amenaza-Deslizamientos-e-Indundaciones

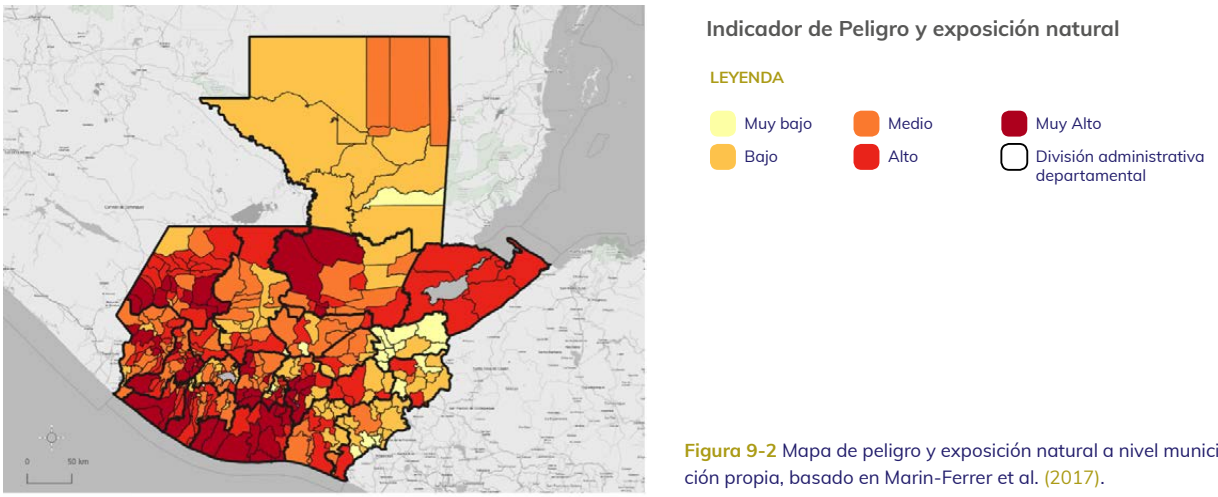


Figura 9-2 Mapa de peligro y exposición natural a nivel municipal. Elaboración propia, basado en Marin-Ferrer et al. (2017).

9.4 Adaptación en áreas rurales y urbanas

Los impactos del cambio climático relacionados con la vulnerabilidad a las amenazas naturales ubican a Guatemala dentro de los cinco países con el más alto riesgo de exposición económico frente a tres o más amenazas. Se encuentra también, a nivel mundial, entre los cinco más afectados por inundaciones, huracanes y eventos sísmicos, con 41 % de la población expuesta a cinco o más amenazas simultáneamente (GFDRR, 2011). Guatemala está expuesta a eventos de baja frecuencia e impacto alto, como los eventos sísmicos, las erupciones volcánicas y los huracanes; y a eventos de alta frecuencia y bajo impacto, tales como las inundaciones y los deslizamientos. En los últimos años, debido a condiciones climáticas cambiantes, la sequía ha tomado un lugar preponderante. Se estima que algunos de estos eventos empeorarán con las tendencias climáticas futuras. Por todo lo anterior, resulta primordial empezar a tomar acciones en el marco de la adaptación al cambio climático a fin de disminuir la vulnerabilidad de las áreas urbanas y rurales, y de esta manera reducir el riesgo que enfrentan.

9.4.1 Asentamientos humanos

En lo que se refiere a medidas de adaptación para asentamientos humanos, debe partirse de cómo es el proceso de urbanización y planificación, el cual se establece mediante planes de ordenamiento territorial. En este plan se señalan, por ejemplo, zonas de amenaza y riesgo, que deberán incluir restricciones cuando se consideren aptas para ser habitadas; se establecen las mejores ventajas competitivas del entorno para desarrollar actividades económicas que le permitan a la población obtener medios de vida y empleo; y se consideran aspectos ambientales que proporcionen indicadores para el manejo adecuado y sostenible de los ecosistemas del entorno, tales como la disponibilidad y contaminación del agua, suelo y aire. Resulta importante, además, tomar en cuenta los lineamientos plasmados en la Ley de Vivienda (Decreto 9-2012, 2012) a fin de tomar en cuenta requisitos mínimos que se deben considerar en los distintos proyectos.

Las ciudades adquieren un grado de complejidad al considerarse escenarios que tienen que ver con la variabilidad del clima, lo cual afecta sensiblemente la prestación de muchos servicios vitales, como el abastecimiento de agua, energía, transporte, telecomunicaciones y disposición de desechos. Para el caso de los asentamientos precarios, resulta complejo que las propias autoridades municipales son las que han facilitado los servicios vitales (agua, luz y drenaje) sin considerar los riesgos a que pueden estar expuestos y obviando la normativa existente.

Dentro de las medidas de adaptación principales en torno a la prevención se incluyen las siguientes:

- Reorientación de nuevos asentamientos a lugares más seguros y fomento de inversiones en infraestructura adecuada.
- Integración de las políticas climáticas con la gestión de riesgo a desastres y uso del suelo, y la planificación del desarrollo económico.

9.4.2 Infraestructura crítica o vital

La infraestructura juega un papel primordial en el desarrollo y bienestar de un país y resulta imprescindible para el fomento de la economía (OCDE, 2007). El cambio climático tiene repercusiones directas sobre la infraestructura física, como los edificios, instalaciones portuarias, aeropuertos, carreteras, túneles, puentes, sistema de abastecimiento de agua, sistema de drenaje, red de telecomunicaciones, oleoductos de petróleo e instalaciones de suministro de energía. Asimismo, esta red de infraestructura tiene implicaciones en el bienestar y medios de sustento de los habitantes (ONU-HABITAT, 2011).

Las inundaciones se encuentran entre los desastres causados por eventos extremos más costosos y destructivos, y se consideran una de las principales amenazas a las que se enfrenta la infraestructura. Además, es uno de los fenómenos con más probabilidades de aumentar debido a la intensificación de las precipitaciones. En tal sentido, todas sus consecuencias, como las pérdidas económicas, sociales y ambientales, serán considerables, lo cual resalta el carácter prioritario que tiene la toma de medidas de adaptación. En el caso de obras ya realizadas, será necesario rediseñarlas de alguna manera, de acuerdo con los nuevos requerimientos, entre los cuales se incluye considerar las precipitaciones extremas que generarán nuevos y mayores caudales. Otro de los requerimientos es tomar en cuenta que las tendencias del pasado ya no reflejan la actividad actual, por lo que se debe tratar de estimar el riesgo no cuantificado, pues leves cambios pueden ocasionar fallas catastróficas por el agotamiento rápido y repentino del factor de seguridad utilizado en el diseño (Cruz, 2011). Muchas de estas medidas específicas para el sector de infraestructura pueden consultarse en AGIES (2001, 2018), Castro, Miranda, & Gómez (2015) y CONRED (2010b, 2017).

9.4.2.1 Puentes y carreteras

Los problemas experimentados por los efectos del huracán Mitch y las tormentas Stan y Agatha, pusieron en evidencia la alta fragilidad y vulnerabilidad de los puentes de Guatemala, los cuales presentaron fallas, principalmente en las vías de acceso al puente o aproches, y la socavación de pilas. Los puentes La Canoa, San Francisco y Motagua, entre otros, colapsaron durante la tormenta Agatha y aislaron numerosas comunidades (CONRED, 2010a). El diseño de estos quedó corto y las crecidas que presentaron los ríos sobrepasaron los valores de diseño. Tal experiencia deja en evidencia la necesidad de puentes más largos, que permitan sortear las crecidas de los ríos. Sin embargo, los puentes siguen siendo vulnerables actualmente y se hace necesaria su restitución para garantizar que sigan cumpliendo su función vital.

Entre las repercusiones de las condiciones climáticas sobre las carreteras, los daños por la lluvia causan, principalmente, el deterioro del pavimento o son agentes que provocan deslizamientos y erosiones, lo cual crea obstrucciones en el paso de los vehículos. Un efecto usual, tanto con la tormenta Stan, como con la tormenta Agatha fue el fallo del banco de la carretera. Vale la pena recordar lo sucedido durante Agatha, cuando el fallo de taludes en los kilómetros 81 y 171 de la ruta interamericana (CA-1 Occidente) causó el soterramiento de un autobús y un microbús extraurbanos, lo cual dejó un saldo de varias personas fallecidas. Por otro lado, las elevadas temperaturas diarias ponen en peligro la integridad de los pavimentos, por lo que es necesario hacer reparaciones frecuentes. Además de las vidas que corren peligro, la destrucción o el daño de los sistemas de transporte e interrupciones prolongadas del servicio llegan a afectar casi todos los aspectos de la vida urbana.

La pavimentación, especialmente de concreto, provoca cambios significativos en la infiltración del agua hacia el subsuelo, así como en los niveles de escorrentía. En la actualidad, sin embargo, la industria utiliza concretos permeables en algunos lugares, como un aporte de la nueva conceptualización de construcción sostenible.

9.4.2.2 Edificios públicos

En cuanto a la temática de los edificios públicos y el cambio climático, el tema ha tenido una amplia divulgación y ha desembocado en lo que se conoce ahora con el término de «construcción sostenible». La construcción sostenible y resiliente ofrece una oportunidad para mediar en los proce-

sos medioambientales y sociales, y aborda parcialmente los desafíos de mitigación y adaptación (BID, 2013; Oltra & Marín, 2013). Si bien mucho de lo tratado en la literatura en este aspecto tiene que ver con medidas para mitigar los efectos **(capítulo 12)**, la sección de adaptación tiene una visión hacia lo que se denomina resiliencia de las edificaciones. En cuanto al tema de adaptación, se pueden tomar, para fines de este informe, los conceptos definidos por el Consejo Verde de la Arquitectura (2017) en la matriz número uno de sitio, entorno y transporte, referido a zonas de riesgo, vulnerabilidad y adaptabilidad, que comprende lo siguiente:

- Evitar la construcción en rellenos poco consolidados.
- Garantizar la construcción segura ante amenazas naturales y antrópicas (deslizamientos e inundaciones principalmente relacionados con la variabilidad climática).
- Respetar el retiro de las construcciones de cuerpos de agua. Además, en el diseño considerar las amenazas generadas por el cambio climático.

Esto lleva a recapitular muchas de las tragedias que se han enfrentado en Guatemala, entre las cuales están el reciente deslizamiento en el sector de El Cambray y las inundaciones súbitas que se generan a lo largo de la temporada de lluvias (mayo a noviembre).

9.4.3 Suelo: deslizamientos, azolvamiento y colmatación (recarga de agua)

Es evidente que el cambio climático está teniendo efectos en muchos de los sistemas terrestres, incluidos el ciclo hidrológico del agua, la escorrentía y la disposición de esta. Estos efectos se manifiestan también en los procesos externos que se presentan en la corteza terrestre, entre ellos el transporte del agua superficial y los fenómenos asociados con el suelo, como la erosión, la sedimentación y la colmatación.

El adecuado manejo del suelo tiene sus beneficios en muchas de las actividades que el ser humano desarrolla y va de la mano con la forma en que se realiza el manejo de las cuencas. El grado de deforestación es un factor importante en todos los procesos expresados anteriormente.

Una administración adecuada e integral de las cuencas logrará que muchos de los problemas antes mencionados no provoquen daños a lo largo de esas zonas. Habrá que tomar en cuenta los escenarios en ambos extremos, ya que repercuten en las sequías, incendios forestales y en la producción de alimentos, por mencionar algunos, o bien en inundaciones y procesos erosivos de sedimentación y colmatación.

Los aspectos del azolvamiento y la colmatación de sedimentos afectan principalmente embalses y presas, los cuales, debido a la acumulación de materiales, pierden su capacidad de diseño y no acumulan los caudales necesarios para el abastecimiento de agua o de energía en proyectos hidroeléctricos. En cuanto a poblados y centros urbanos, este fenómeno es sensible en los sistemas de drenaje, alcantarillados y plantas de abastecimiento de agua potable. Un ejemplo ilustrativo pero combinado con un fenómeno volcánico, se dio en el sistema de drenaje de la ciudad de Guatemala durante la tormenta Agatha en 2010: las lluvias, combinadas con la caída de cenizas del volcán Pacaya, hicieron colapsar el sistema de drenaje en el colector que atraviesa la zona 2 de la ciudad capital de oriente a occidente, lo cual provocó su obstrucción y causó una subsidencia del suelo, que indujo un gran agujero en medio de la calle (SEGEPLAN & CONRED, 2010b).

La colmatación también es un proceso de depósito de partículas en la superficie y en los poros de un medio permeable, como el suelo y que tiene como efecto una reducción de su permeabilidad. Esto tiene consecuencias en la recarga e infiltración de aguas superficiales hacia los mantos subterráneos. Las inundaciones provocan la colmatación de los mantos acuíferos con aguas contaminadas, principalmente a causa de la escasa vegetación protectora que tienen las áreas de recarga hídrica y vertientes.

9.4.3.1 Zonas expuestas a deslizamientos

Los deslizamientos están relacionados con amenazas hidrometeorológicas, principalmente porque su mecanismo de inicio puede ser inducido por precipitaciones extremas de gran intensidad en un corto periodo de tiempo (Corominas, 2009). En Guatemala, los deslizamientos comprenden alrededor del 30 % del total de eventos que pueden ocurrir a lo largo de un año y sus daños son frecuentes en las laderas de los barrancos y en los taludes de las carreteras. La ciudad de Guatemala presenta alto riesgo, debido a que se ha permitido un crecimiento urbano desordenado y desregulado y la construcción en zonas de riesgo, como laderas con pendientes de alto grado y cercanas a cauces naturales. Los asentamientos precarios ubicados en dichos barrancos son los más expuestos, tanto por la cantidad de personas en riesgo como por las viviendas ahí asentadas.

Las zonas urbanas son más susceptibles de sufrir deslizamientos que un área no urbana. Las poblaciones son permanentes modificadores de los elementos que conforman la superficie de la tierra y el efecto sobre los taludes ha sido el de un agente desestabilizador.

Los procesos de urbanización aumentan las áreas de riesgo en laderas urbanas propensas a sufrir daños por deslizamientos; situación que depende de las políticas de uso del suelo de cada ciudad. Las condiciones en que habitan muchas personas presentan retos insoslayables para el Estado, pues la ocupación inadecuada potencia significativamente estas condiciones.

La construcción y ampliación de rutas viales y otras obras de infraestructura obliga a realizar modificaciones al terreno, lo cual implica cortes, terraplenes o rellenos que facilitan deslizamientos en taludes de carreteras y el colapso de puentes. Estas condiciones se ven favorecidas por los procesos de deforestación y escorrentía de lluvias cuando la temporada lo permite.

Dentro de las principales medidas de adaptación para contrarrestar la amenaza por deslizamientos, se pueden considerar las siguientes (Corominas, 2009):

- Evitar construir en taludes con pendientes mayores a los 30 grados. Considerar alejarse de zonas susceptibles, al menos 15 metros.
- Construcción de terraplenes para reducir sobrecargas, obras de contención, como muros y sistemas de anclajes, control de agua de escorrentía por medio de drenajes.
- Políticas de reforestación de laderas y mantenimiento de especies mejor adaptadas a las condiciones del entorno.
- Crecimiento de masas boscosas para la protección contra el desprendimiento y caída de rocas.
- Agroforestería y construcción de capacidades con el fin de mejorar prácticas agrícolas para reducir consecuencias climáticas por erosión, deslizamientos e inundaciones repentinas.

9.4.3.2 Zonas expuestas a inundaciones

Las inundaciones se catalogan como una amenaza meteorológica e hidrológica muy frecuente y recurrente. Actualmente, vistas desde la perspectiva de la variabilidad y el cambio climático, se hace necesario analizarlas y estudiarlas con un nuevo enfoque debido a las variaciones en intensidad que han tenido las lluvias a lo largo de los últimos años. Los rangos de precipitaciones van desde precipitaciones intensas y prolongadas hasta situaciones de escasez (eventos extremos). Si se analizan desde el punto de vista urbano y rural, las precipitaciones afectan cada vez más a personas, infraestructura y cultivos, por lo que se hace necesario implementar medidas de adaptación que busquen reducir el impacto sobre la vida de los seres humanos y el sistema socioeconómico-ambiental de nuestro entorno.

Una inundación está relacionada con precipitaciones intensas y prolongadas, la crecida de un río, la marea de tormenta, el oleaje o la falla del sistema hidráulico de drenaje. La presencia de huracanes en la región ha provocado experiencias que han dejado la suficiente evidencia de que hace falta

mucho por implementar en Guatemala para reducir el riesgo ocasionado por dicha amenaza. Además, evidencia la necesidad de seguir la búsqueda de la adaptación a un fenómeno que se ha vuelto más recurrente. En tal sentido, las medidas de adaptación que se pueden tomar ante la amenaza por inundación comprenden las siguientes:

- Obligatoriedad de aplicación de las directrices de los mapas de riesgos que se generen en cuanto a esta amenaza.
- Consideración del distanciamiento de zonas susceptibles a crecidas repentinas, bancos antiguos del lecho de ríos o canales de drenaje.
- Construcción de embalses, diques, canalizaciones, reservorios, lagunas, obras de control de escurrimiento urbano, canales de desvío, bordas, alteración de la cobertura vegetal y control de la pérdida de suelo, los cuales reducen el impacto de la amenaza, pero nunca pueden garantizar una protección absoluta.
- Mejora de los modelos hidrológicos.
- Valoración de la importancia de la memoria histórica para al aprendizaje derivado de inundaciones pasadas, de zonas previamente inundadas y de las consecuencias socioeconómicas producidas por estos eventos.

9.4.3.3 Zonas expuestas a sequía

La dotación del agua en las ciudades y asentamientos resulta de vital importancia, pues juega un papel importante en la vida misma de los ecosistemas del entorno y su adecuado manejo y administración provee el medio necesario de subsistencia, y calidad de vida en el entorno. Así, el acceso de la población al agua será un factor primordial de los habitantes para elegir y decidir asentarse en determinados lugares, puesto que el agua resulta vital para la sobrevivencia, el bienestar y la salud de los pobladores. Entonces, una escasez de este líquido por falta de caudal en las fuentes de abastecimiento, ya sean superficiales o subterráneas, acarreará varios problemas. Con el cambio climático, el manejo del recurso hídrico en las ciudades tiene muchos aspectos a considerar, los cuales resultan sensibles ante los cambios originados por un escenario climático cambiante. La urgencia en el tema se debe a la probabilidad de que se generen riesgos críticos, los cuales incluyen inundaciones, sequías y procesos de degradación del suelo que conducen a problemas de erosión, azolvamiento y deslizamiento, entre otros. A este panorama debe sumarse el aspecto de saneamiento, que garantice la salubridad de la población y del entorno, el cual incluye medidas como la disposición de excretas, la evacuación y tratamiento de aguas servidas y el manejo de los desechos sólidos o basura **(capítulo 5)**.

La tercera amenaza sensible al cambio climático en Guatemala ha sido la sequía, la cual se entiende o define como un periodo de tiempo con valores de precipitaciones inferiores a los normales en un área. Su causa inicial es la escasez de precipitaciones, cuya consecuencia es la insuficiencia de recursos hídricos necesarios para abastecer la demanda. En Guatemala, el sector más afectado fue el denominado corredor seco, especialmente en el área rural oriental del país, lo que creó una crisis alimentaria en dicha región. A nivel de ciudades, el problema se ha hecho más sensible en la dotación de agua para la ciudad de Guatemala. Por esta falta de agua, el entorno rural se hace susceptible a los incendios forestales. Las medidas de adaptación posibles incluyen las siguientes:

- Realización de balances hídricos para conocer la disponibilidad de agua, cuánta se gasta, quién la usa y qué usos se le da.
- Gestión integrada del recurso hídrico, cuyas medidas enfaticen la racionalidad, el ahorro y la calidad en la explotación y uso del recurso.
- Recuperación de cauces y reforestación de áreas para evitar procesos erosivos y favorecer la infiltración y la recarga de los acuíferos, que representan desde ya las reservas estratégicas.
- Diseñar planes específicos de prevención de incendios, principalmente en la época seca (noviembre-abril).
- Implementar proyectos de cosecha de agua en zonas que ya sufren déficit de agua, así como la construcción de infraestructura de almacenamiento para uso doméstico, agrícola e industrial.

- Reconversión del riego intensivo a sistemas sostenibles de bajo consumo de agua.
- Evitar que crezca aún más el grado de contaminación que sufren las aguas superficiales, subterráneas y costeras; por ejemplo, con la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en todas las ciudades del país y extender el uso de aguas recuperadas y tratadas.
- Desarrollo de modelos hidrológicos y monitoreo de caudales en todo el país, particularmente en cuencas, que proveen agua a grandes centros poblados, sitios de generación hidroeléctrica y sistemas de riego agrícola.

9.4.3.4 Diversidad biológica: pérdida de los ecosistemas y su efecto en el cambio climático local al aumentar la temperatura por la cubierta de concreto

El cambio climático definitivamente está impactando e influyendo en muchas especies, las cuales ven afectada su supervivencia debido a los cambios que ocurren en las condiciones naturales de su entorno. Esto se ve reflejado en ajustes en la flora y la fauna, que han empezado a mostrar transformaciones para adaptarse o bien tener que emigrar a regiones donde el entorno está acorde a sus condiciones de vida (WWF, 2018) **(capítulo 7)**.

El crecimiento de población e infraestructura que acompañan a la expansión urbana provocan una pérdida de diversidad biológica debido principalmente a la sustitución de bosques por complejos urbanísticos, pero también por la expansión agrícola y su consiguiente infraestructura.

Los manglares son un ejemplo de ecosistemas de zonas costeras, cuya importancia, al igual que los bosques, se debe a su capacidad de absorber y almacenar carbono. Sin embargo, los manglares tienen, en cierto sentido, una capacidad superior a la de los bosques terrestres, albergan una increíble diversidad biológica y representan barreras de protección para las costas contra amenazas como las mareas de fondo, tsunamis y tormentas tropicales **(capítulo 8)**.

9.5 Medidas prioritarias y transversales

Existen varias medidas que pueden tomarse en cuenta para la prevención y con un enfoque integral para la adaptación de los asentamientos humanos ante los impactos del cambio climático:

- Identificación del riesgo y monitoreo. Resulta importante disponer de un inventario completo y actualizado de zonas inestables, y realizar mapas de susceptibilidad, amenaza y riesgo de las zonas más sensibles, en especial las habitadas y sujetas a mayor presión de desarrollo, como los asentamientos precarios de las ciudades.
- Mejora de los modelos hidrológicos para reproducir los efectos del cambio climático.
- Adoptar un enfoque multiamenazas cuando se considere que el entorno es vulnerable.
- Establecimiento de sistemas de alerta (umbrales de lluvia, extensómetros para deformación y movimiento de taludes, monitoreo de caudales y conocimiento de crecidas históricas) y protocolos de evacuación en caso de emergencia.
- Contar con una normativa como la de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES, 2018), que regule la construcción en zonas susceptibles.
- Evitar que instalaciones vitales, como escuelas, hospitales, plantas de tratamiento y abastecimiento de agua, y plantas telefónicas, se sitúen en áreas susceptibles. En el caso de carreteras, puentes y vías del ferrocarril, procurar que no atraviesen zonas potencialmente inestables.
- Alentar, consolidar y reforzar las instituciones y la capacidad de planificación para la gestión y reducción del riesgo, así como el manejo integrado de cuencas de manera urbana y rural.
- Elaboración de planes urbanísticos y de planificación territorial (ordenamiento territorial) que consideren y eviten el desarrollo en áreas susceptibles. Implementar estrategias de inversión para la reducción del riesgo (fondos de solidaridad, seguros).

9.6 Comentarios finales

Varios de los temas tratados en este capítulo tienen una amplia divulgación a nivel mundial y Guatemala no se queda atrás en este aspecto (SGCCC, 2015a). Sin embargo, la falta de acciones concretas por parte de los ministerios e instituciones representa una dificultad para implementar muchos de los planteamientos y recomendaciones de adaptación. A pesar de contar con una política (MARN, 2009) y una ley marco (Decreto 7-2013, 2013) en estos temas **(capítulo 1)**, solo se proveen lineamientos generales para la implementación de acciones y tareas, pero no se cuenta con los recursos necesarios para realizarlo. Como un aporte importante, el Plan K'atun 2032 (CONADUR/SEGEPLAN, 2014) también proporciona una visión sobre el tema. El desafío es que todas las instituciones de gobierno, así como los sectores privado y académico, lo tomen como guía de trabajo para alcanzar muchos de los objetivos que plantea, los cuales incluyen temáticas sobre el cambio climático.

9.6.1 Vacíos temáticos y necesidades

En cuanto a los temas tratados en el capítulo, todavía hay mucha información por generar, principalmente datos básicos para la mejor comprensión de los peligros y para la toma de mejores decisiones. Por ejemplo, es necesario el desarrollo de mapas de amenazas (deslizamientos, crecidas, inundaciones, erosión, etc.) y riesgo a escalas más allá de 1:50 000, que permitan tener un mayor detalle de las zonas expuestas. Esto también debe ir de la mano de bases de datos históricos de eventos que permitan una mejor comprensión de los fenómenos extremos y las zonas más expuestas para poder aplicar un tratamiento estadístico-probabilístico y generar escenarios climáticos más confiables.

Una vez entendido el fenómeno de la amenaza, se podrá seleccionar la mejor medida de prevención y mitigación en los proyectos de adaptación. El monitoreo de los mismos fenómenos resulta también importante, pues permitirá el establecimiento de sistemas de alerta temprana que faciliten la generación de avisos anticipados del peligro a la población expuesta, lo cual les permitirá tomar acciones de evacuación. Existe poca divulgación en ese aspecto y se depende mucho aún de los aportes del INSIVUMEH, que requiere el fortalecimiento de la red de estaciones de monitoreo de los distintos fenómenos. En lo que respecta a necesidades de investigación, se hace referencia a la agenda de investigación propuesta por el Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático (CNCC, 2017; SGCCC, 2015a) y su grupo de adaptación y vulnerabilidad. No obstante, el mayor obstáculo para su implementación es la escasa disponibilidad de recursos económicos para financiar la gran mayoría de líneas de investigación que plantea.

La realización de evaluaciones de vulnerabilidades físicas y estructurales es importante en el tema de los asentamientos humanos. Esta práctica permite establecer el grado de propensión a daños que presentan las estructuras ante el embate de amenazas y facilita la toma de acciones de reubicación, readecuación y reforzamiento. Asimismo, es necesario poner en marcha las políticas y planes sobre cambio climático, acciones para informar a la población y el establecimiento de sistemas de alerta. Finalmente, es esencial considerar el desarrollo bajo una visión de sostenibilidad para lograr un consumo racional de los recursos y desarrollar resiliencia ante el cambio climático.

9.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). (2014). Pregunta: A7) ¿Qué es un ciclón extratropical? Recuperado el 13 de agosto de 2018, de http://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/A7_esp.html
- Arellano, B., & Roca, J. (2015). Planificación urbana y cambio climático. En *Internacional conference on Regional Science: Innovation and Geographical Spillovers: New Approaches and Evidence* (p. 18). Cataluña, España. Recuperado de http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84561/Planificación urbana y cambio climático.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES). (2001). *Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES). (2018). *Normas de seguridad estructural para la República de Guatemala* (Edición ße). Guatemala: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
- Banco Interamericano de desarrollo (BID). (2013). *Reflexiones sobre el desarrollo de la economía rural de Guatemala*. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Castro, L., Miranda, A., & Gómez, M. (2015). *Infraestructura para el desarrollo de América Latina*. (A. Sosa & J. Kogan, Eds.). Bogota, Colombia: CONCYT, SENACYT, FONACYT, UVG y URL. Recuperado de http://www.scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/748/2014_asp_cambio_climatico.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (1999). *Centroamérica: evaluación de los daños ocasionados por el huracán Mitch, 1998*. Santiago de Chile.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), & Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN). (2005). *Efectos en Guatemala de las lluvias torrenciales y la tormenta tropical Stan, Octubre de 2005*. México.
- Consejo Nacional de Cambio Climático (CNCC). (2017). *Líneas de investigación en cambio climático Consejo Nacional de Cambio Climático*. Guatemala.
- Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural (CONADUR)/ Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN). (2014). *K´atun. Nuestra Guatemala 2032*.
- Consejo Verde de la Arquitectura y el Diseño de Guatemala. (2017). *Modelo integrado de evaluación verde (MIEV) para edificios de Guatemala*. Guatemala: Consejo Verde de la Arquitectura y el diseño de Guatemala.
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). (2010a). *Boletín informativo no. 1129*. Guatemala.
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). (2010b). *Norma para la reducción de desastres número uno (NRD-1)*. Guatemala.
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). (2011). Política nacional para la reducción de riesgo a los desastres en Guatemala. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). (2017). *Manual de uso para la norma de reducción de desastres número dos (NRD2)* (Cuarta edi). Ciudad de Guatemala: Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. Recuperado de http://conred.gob.gt/www/normas/NRD2/Manual_NRD2.pdf
- Córdova-Aguilar, H. (2017). Vulnerabilidad de los asentamientos de la periferia de Lima Metropolitana frente al cambio climático. *Re-conociendo las geografías de América Latina y el Caribe*, 209–232.

- Corominas, J. (2009). Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático. B. Riesgo de inestabilidad de laderas. En *Impactos del cambio climático en España* (pp. 549–579). https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.03.008
- Cruz, N. (2011). Cambio climático y sus repercusiones en el diseño y vida útil de las infraestructuras civiles. *Éxito Empresarial*, (153), 3.
- Decreto 7-2013. Ley marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero (2013). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Decreto 9-2012. Ley de vivienda (2012). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). (2018). *Vida silvestre y calentamiento global. Los efectos del cambio climático en la biodiversidad de los Sitios Prioritarios de WWF.*
- Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR). (2011). *Vulnerability, risk reduction, and adaptation to climate change Guatemala.* Climate Risk and Adaptation Country Profile. Washington, D.C.: Global Facility for Disaster Reduction and Recovery.
- 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.
- Hernández, J., & Vieyra, A. (2010). Riesgo por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano. Morelia, una ciudad media mexicana. ¿el desastre nace o se hace? *Revista de Geografía Norte Grande*, (47), 45–62. https://doi.org/10.4067/S0718-34022010000300003
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2015). *República de Guatemala: estadísticas demográficas y vitales 2014.* Guatemala: Instituto Nacional de Estadística. Recuperado de https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/01/13/FijigScCmvJuAdaPlozybqKmr01X-tkjy.pdf
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). (2017). *Mapa de zonas de inundación en la vertiente del Pacífico de Guatemala, cuencas Ocosito a María Linda.*
- Marin-Ferrer, M., Vernaccini, L., & Poljansek, K. (2017). *Index for Risk Management INFORM Concept and Methodology Report* - Version 2017 (EUR 28655). https://doi.org/10.2760/094023
- Mazariegos, B. (2017). Asentamientos, en peligro mortal. *Contrapoder*, (207), 11–17.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), & Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2002). *Estimación de amenazas inducidas por fenómenos hidrometeorológicos en la República de Guatemala. Guatemala.* Recuperado de http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0026/doc0026-parte01.pdf
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Política nacional de cambio climático. Acuerdo Gubernativo 329-2009 (2009). Guatemala.
- Municipalidad de Guatemala. (2016). *Estudio de demanda, origen y destino de vehículos.* Guatemala.
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR). (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030.* Recuperado de http://www2.ohchr.org/spanish/bodies/hrcouncil/docs/gaA.RES.60.1_Sp.pdf
- Oltra, C., & Marín, R. (2013). Los retos en la adaptación al cambio climático en entornos urbanos. *Papers*, 98(2), 311–330. https://doi.org/10.5565/rev/papers/v98n2.498

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2000). *Alimentos para las ciudades. Políticas de abastecimiento y distribución de alimentos para reducir la inseguridad alimentaria urbana*. Roma.

- Organización de las Naciones Unidas (ONU)-HABITAT. (2011). *Las ciudades y el cambio climático: orientaciones para políticas*. Rio de Janeiro, Brasil: Earthscan, Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Recuperado de https://unhabitat.org/books/las-ciudades-y-el-cambio-climaticoorientaciones-para-politicas-spanish-language-version/

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). (2007). *Estudios económicos de la OCDE: México*. (C. Pérez, Ed.). Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN), & Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). (2010a). *Evaluación de daños y pérdidas sectoriales y estimación de necesidades ocasionados por desastres naturales en Guatemala entre mayo-septiembre de 2010*. Guatemala. Recuperado de http://www.segeplan.gob.gt/2.0/images/pdf/cepal efectos acumulados.pdf

- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN), & Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). (2010b). *Evaluación de daños y pérdidas sectoriales y estimación de necesidades ocasionados por el paso de la tormeta tropical Agatha y la erupción del Volcán Pacaya: resumen preliminar*. Guatemala.

- Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático (SGCCC). (2015a). *Agenda de investigación en adaptación y reducción de la vulnerabilidad al cambio climático*. Guatemala: Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático.

- Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático (SGCCC). (2015b). *Cambio Climático: riesgo de sequía e inseguridad alimentaria*. Guatemala: Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático.

- Verdaguer, C. (2013). *Cambio climático, sostenibilidad y urbanismo: un marco de referencia*. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2821.1364

10 SALUD HUMANA

Autores: Víctor Manuel García Lemus[1], Luis E. Escobar[2]

[1] Red Universitaria de las Américas y el Caribe para la Reducción de Riesgos de Desastres (REDULAC/RRD), victorgarcia.tutorias@gmail.com

[2] Departament of Fish and Wildlife Conservation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Estados Unidos de América, escobar1@vt.edu

Forma de citar este capítulo:

García Lemus, V. M., & Escobar, L. E. (2019). Salud humana.
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. 212–225). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Mensajes clave:

- El cambio climático puede afectar a la salud humana en muchos aspectos, como el aumento en la transmisión de enfermedades infecciosas, inseguridad alimentaria, y mortalidad directa debido a desastres.
- Se debe formar una unidad especializada de clima y salud, ya que es importante generar información y considerar la variable climática como un eje de análisis de morbi-mortalidad.
- Es importante adaptar el sistema de salud actual (reactivo) a un modelo preventivo. Asimismo, evaluar el nivel de exposición de la infraestructura de salud a los eventos climáticos y proponer un plan de adaptación y expansión de nuevas inversiones, considerando los impactos del cambio climático.

RESUMEN

El clima mundial está cambiando notablemente e impactando considerablemente la salud humana a través de efectos directos sobre grupos vulnerables como niños, ancianos, enfermos crónicos, personas alérgicas e inmunodeprimidas, entre otros. Sin embargo, su mayor efecto puede vislumbrarse en el deterioro de los determinantes de la salud al exacerbar las inequidades sociales, económicas y demográficas. El cambio climático, considerado como un factor impulsor del riesgo de desastres, actúa aumentando las presiones ya existentes sobre la vivienda, seguridad alimentaria, agua, pobreza y muchos otros determinantes de salud.

En Guatemala, las investigaciones relacionadas con los efectos del clima en la salud humana son limitadas y el Sistema Nacional de Salud, el Sistema de Seguridad Social y otros prestadores de servicios de salud no consideran el cambio climático como un factor prioritario causante de enfermedades; sin embargo, los efectos en los subsistemas relacionados como producción de alimentos, agua, saneamiento ambiental, entre otros, evidencian consecuencias negativas al reducir la disponibilidad de servicios básicos de calidad y seguridad alimentaria. Estos efectos incrementan la pobreza, reducción de tierras de cultivo y la necesidad de programas de asistencia humanitaria para los afectados. Las enfermedades vectoriales han incrementado evidentemente su frecuencia, situación que se agrava con la aparición de nuevos padecimientos como el zika y chikunguña.

El sector de agua y saneamiento es uno de los sectores que será afectado por los efectos del cambio climático, lo cual constituye un grave riesgo, ya que pueden incrementar las enfermedades asociadas al agua. En cuanto a las enfermedades vectoriales se prevé un notable cambio en su incidencia y distribución, ya que dependen de las variaciones territoriales y la presencia de vectores. Por ejemplo, los territorios que tengan cambios de temperatura tendrán cambios en sus patrones de enfermedades vectoriales; en ese sentido, el patrón general parece ser el aumento en el número de casos o una redistribución geográfica de enfermedades.

Un reto importante es la adaptación del sistema de salud al cambio climático, tanto en su ubicación en zonas seguras como en el manejo de información epidemiológica. Entre los pasos importantes para resolver estas limitantes están: i) fortalecer el monitoreo epidemiológico; ii) incorporar monitoreo climático junto con monitoreo de enfermedades afectadas por clima (p. ej., enfermedades vectoriales, enfermedades transmitidas por agua, enfermedades cardiovasculares, etc.); iii) fortalecer la visión prospectiva y reducir la reactiva para actuar antes, y no después, de los desastres y epidemias; y iv) promover la capacitación del recurso humano.

CONTENIDO

10.1 Impacto del cambio climático en la salud humana 216

10.2 Situación de la salud y su relación con el cambio climático en Guatemala 216

10.3 Potenciales impactos del cambio climático en la salud de la población guatemalteca 217
- 10.3.1 Generación de alimentos y seguridad alimentaria 217
- 10.3.2 Acceso al agua 218
- 10.3.3 Presencia y distribución de enfermedades transmitidas por vectores 218
- 10.3.4 Urbanización acelerada y no planificada 220
- 10.3.5 Adaptación de los sistemas de salud para proteger a las comunidades en mayor riesgo 220

10.4 Potenciales impactos del cambio climático en la infraestructura de salud en Guatemala 220

10.5 Retos del cambio climático para el sistema de salud en Guatemala 222

10.6 Vacíos temáticos y necesidades de investigación 222

10.7 Conclusiones 222

10.8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 223

10.1 Impacto del cambio climático en la salud humana

El conocimiento cada vez mayor del cambio climático está transformando nuestra percepción de los límites de la salud humana y los factores que la determinan (OMS, 2003). Los esfuerzos globales, como la revisión reciente sobre los indicadores de efectos del cambio de clima global sobre la salud humana (Watts et al., 2018), han permitido determinar el impacto desproporcionado del cambio climático sobre la salud de las poblaciones vulnerables en países de ingresos bajos y medios como Guatemala. Al socavar los determinantes sociales y ambientales que sustentan la buena salud, el cambio climático exacerba las inequidades sociales, económicas y demográficas, de modo que los efectos eventualmente impactan a toda la población.

El cambio climático actúa como un multiplicador de amenazas, conglomerando muchos de los problemas que las comunidades ya enfrentan, y fortaleciendo la correlación entre múltiples riesgos a la salud, haciéndolos más propensos a ocurrir simultáneamente (Watts et al., 2018). El cambio climático aumenta las presiones existentes sobre la vivienda, seguridad alimentaria, agua, pobreza y muchos otros determinantes de buena salud, como se verá en este capítulo.

El conocimiento actual sobre clima y salud se relaciona con las investigaciones del efecto de la variabilidad del clima asociado a casos de enfermedad. Sin embargo, se ha predicho que la variabilidad climática extrema ocasionada por el actual cambio climático causará alteraciones nunca vistas en las comunidades de las especies y en la biosfera terrestre, con consecuencias desconocidas. Por lo tanto, existe un importante vacío de información sobre cómo el cambio en el clima afectará a los virus, bacterias, vectores y otros agentes causales de epidemias. Los retos para llenar esos vacíos de información incluyen: i) la generación de datos locales a partir de los sistemas de vigilancia epidemiológica; i) el estudio del efecto del clima en la infraestructura del sistema de salud y la exposición de estos sistemas a eventos hidrometeorológicos extremos; iii) identificación de la ubicación espacial y capacidad de respuesta de los servicios de salud. En resumen, navegamos hacia escenarios que no conocemos y, por lo tanto, necesitamos diseñar modelos complejos para preverlos y contrarrestarlos.

10.2 Situación de la salud y su relación con el cambio climático en Guatemala

El Diagnóstico Nacional de Salud, publicado en 2016 por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala (MSPAS, 2016a), nos indica que la población guatemalteca está compuesta en un 40 % por el pueblo maya y en un 60 % por los pueblos mestizo o ladino, garífuna y xinca. Este indicador puede ser muy importante para desarrollar estudios acerca de su comportamiento en relación con el clima, así como con los factores relacionados a la adaptación al cambio climático influidos por las características étnicas y transculturización de la población. El 50.5 % de los guatemaltecos vive en el área rural y 49.5 % en el área urbana, lo cual confirma la concentración de la población en ciudades, lo que tiene una relación directa con el cambio de hábitos y recursos a utilizar en sus procesos de consumo y uso de energía (INE, 2016).

La tasa de crecimiento demográfico en Guatemala fue de 2.1 % en 2014 y la de fecundidad (número de hijos por mujer) se ha venido reduciendo de 4.4 en el año 2002 a 3.6 en el año 2008 y a 3.1 en 2014 (INE, 2016; MSPAS, INE, & ICF International, 2017). Aunque esta disminución es positiva considerando la reducción de la demanda sobre el uso de recursos, todavía es alta con relación a otros países de la región. La densidad poblacional en el departamento de Guatemala es de 1578 habitantes por kilómetro cuadrado, indicador que irá en aumento con la tendencia a la construcción vertical impulsada por la municipalidad de Guatemala y municipios aledaños. Esta cantidad de habitantes hará una presión directa sobre las áreas rurales productoras de recursos para las grandes urbes y el incremento de servicios básicos, en especial del transporte. Las alternativas de transporte tendrán relación con el cambio climático por la fuente de energía que se utilice para su funcionamiento **(capítulo 12)**.

El Diagnóstico Nacional de Salud (2016a) reconoce además que la pobreza incrementó aceleradamente en el periodo 2011-2015. Mientras que en 2011

afectaba a 7.8 millones de habitantes (INE, 2011), en el 2015 logró afectar a 9.5 millones (INE, 2015). Esta tendencia es altamente preocupante debido a que las condiciones de pobreza extrema son difíciles de superar con intervenciones públicas. La inequidad social que la población indígena encuentra para la satisfacción económica de sus necesidades básicas tiene que ver con el idioma en que se prestan los servicios públicos y la calidad de estos. Aunque la desnutrición crónica infantil en menores de cinco años ha disminuido de 50 % reportado en el periodo 2008-2009 a 47 % según la Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil (ENSMI) 2014-2015 (MSPAS et al., 2017), este grupo (menores de cinco años) sigue siendo altamente vulnerable a enfermedades.

El Diagnóstico (2016a) indica que las enfermedades vectoriales han aumentado y resalta la aparición de nuevas enfermedades causadas por arbovirus[1], como zika y chikunguña. Es necesario tomar en cuenta que, para el caso de algunas enfermedades como la malaria, se espera una disminución en los próximos años; es relevante mencionar que Guatemala se ha comprometido a eliminar esta enfermedad para el año 2020. Por otra parte, en diciembre de 2016, Guatemala recibió la certificación de eliminación de la oncocercosis; por lo tanto, esta enfermedad y la malaria ya no aportarían al aumento nacional de casos.

Es importante que el MSPAS incluya la variable de la relación salud y clima en la conformación de escenarios de situación de la salud; para lograrlo, la formación de recursos humanos constituye una prioridad, así como la mejora de los reportes de enfermedades relacionadas con el clima y que el diseño de la ampliación de cobertura se asocie a estas tendencias.

10.3 Potenciales impactos del cambio climático en la salud de la población guatemalteca

La revisión de literatura nos permite constatar que en el país existe una limitada disponibilidad de artículos científicos sobre cambio climático y sus efectos en la salud humana; por lo tanto, los efectos del cambio climático en Guatemala deben deducirse a partir de información generada en otros países. Así pues, Guatemala necesita enfocar recursos para entender cómo el cambio climático afectará la disponibilidad de alimentos, la migración humana, la acelerada y desordenada urbanización del país, la deficiente información epidemiológica, entre otros. A continuación, se abordan algunos de los aspectos mencionados.

10.3.1 Generación de alimentos y seguridad alimentaria

Un informe de los efectos del cambio climático sobre la agricultura (Mora, Ramírez, Ordaz, Acosta, & Serna, 2010) indica que «el cambio climático ocasiona reducciones en el rendimiento y los ingresos de los agricultores guatemaltecos». El efecto positivo del cambio climático se expresa como precipitación aumentada en ciertas regiones, que puede aprovecharse solo si existen políticas de manejo de la cosecha de agua para reducir la dependencia estacional de lluvia para los cultivos. Sin embargo, el cambio climático no afectaría igual a todos los cultivos. Por ejemplo, bajo condiciones de cambio climático, el maíz estaría en un nivel de temperatura para máximo rendimiento, mientras que para el frijol serían muy altas y desfavorables temperaturas. De forma similar, la renta de tierra para cultivos también es sensible al clima. Por ejemplo, un incremento en la temperatura promedio anual disminuye la renta de la tierra en aproximadamente seis dólares, mientras que la renta aumentaría dos dólares si hay un aumento de 10 milímetros de precipitación acumulada anual (Mora et al., 2010). Esta disminución de la renta tiene un impacto desalentador en la resiliencia de los agricultores, especialmente de los pequeños productores y de los que arrendan tierra para cultivar **(capítulo 6)**.

Según el Informe del Estado de Guatemala, Resolución 7/23 del Consejo de Derechos Humanos (COPREDEH, 2008), en los últimos años el país ha sufrido eventos de exceso de precipitación y de sequía. Estos eventos han generado la reducción de la calidad y disponibilidad de recursos hídricos, y el incremento de enfermedades infecciosas. La población de las áreas rurales ha padecido de forma más frecuente los efectos de desastres y la pérdida de cosechas y viviendas. Estos impactos negativos del clima sobre la sociedad se consideran atentados contra los derechos humanos de los afectados. Por ejemplo, las

1 Cualquier virus de los vertebrados que es transmitido por un artrópodo.

lluvias torrenciales, las inundaciones y la sequía han limitado el derecho a la alimentación de las personas. De hecho, la sequía está asociada a los cuadros de hambruna y, en escenarios costeros, el clima ha impactado negativamente la pesca que representa una opción proteica para las comunidades que viven en pobreza.

En Guatemala, la nutrición de animales de consumo está asociada con la estacionalidad de la producción de forrajes en la época lluviosa entre mayo y octubre. El manejo de las pasturas se caracteriza por la falta de fertilización, la escasa rotación, el pastoreo excesivo y la ausencia de suplementación en épocas secas. Entre los factores que influyen en la baja productividad animal de los hatos en Guatemala se encuentran los siguientes: i) durante la época seca, entre noviembre y abril, la productividad ganadera de carne disminuye hasta niveles negativos y la producción de leche se reduce a 50 %; ii) la estacionalidad en la producción y la falta de sistemas de conservación de forrajes afectan no solo la producción de carne y leche, sino que también la reproducción y la mortalidad de los animales en el hato en general (Pérez, Holmann, Schuetz, & Fajardo, 2006).

10.3.2 Acceso al agua

El aprovechamiento del agua para consumo humano depende de la infraestructura de almacenamiento, tratamiento y distribución. Entre los sectores urbanos y rurales existen diferencias en cuanto a cobertura, pero también en cuanto a calidad de agua potable (PDH, 2014). Resulta claro que los efectos del cambio climático pueden tener impactos notables en las enfermedades producidas por agua al reducir su disponibilidad, especialmente en las áreas rurales, donde las fuentes alternas de abastecimiento como arroyos, ríos y lagos se encuentran con un alto nivel de contaminación. Según una población estimada de 16.9 millones de habitantes en el país, el 30 % (5.5 millones) consume agua de calidad cuestionable (PDH, 2014).

10.3.3 Presencia y distribución de enfermedades transmitidas por vectores

En general, los vectores que transmiten enfermedades al ser humano están influenciados por el cambio climático, por lo tanto, las enfermedades y su distribución tienen resultados que dependen de las variaciones territoriales y presencia de los vectores. Algunas enfermedades infecciosas (p. ej., dengue, chikunguña, malaria, leishmaniasis) son transmitidas a humanos a través de vectores artrópodos (p. ej., insectos, ácaros) que actúan como vehículos del patógeno al transferirlo de un lugar a otro y de un individuo a otro. Los vectores son generalmente mosquitos, pulgas, garrapatas u otros, que por su diminuto tamaño y fisiología son particularmente sensibles a cambios en el clima. De hecho, existen evidencias de que el cambio climático ha facilitado el incremento en la distribución de algunos vectores y las enfermedades que estos transmiten. Por ejemplo, aumentos de la temperatura global han permitido que mosquitos que transmiten malaria puedan distribuirse en zonas altas en donde antes no podían debido a las bajas temperaturas (Siraj et al., 2014).

En Guatemala, el dengue es una de las enfermedades vectoriales más importantes. Entre 2001 y 2016 se contabilizaron 148 818 casos de dengue en Guatemala (Figura 10-1), principalmente en mujeres (53 %) (MSPAS, 2018).

Los cambios de clima asociados al incremento de enfermedades vectoriales incluyen variaciones estacionales, como el fenómeno de El Niño y el cambio climático observado en las últimas décadas (Chirebvu, Chimbari, Ngwenya, & Sartorius, 2016; Fuller, Troyo, & Beier, 2009; Gagnon, Bush, & Smoyer-Tomic, 2001; Hurtado-Díaz, Riojas-Rodríguez, Rothenberg, Gomez-Dantés, & Cifuentes, 2007; Siraj et al., 2014). Aunque algunos estudios sugieren que algunas enfermedades vectoriales pueden disminuir debido al cambio climático (Escobar, Romero-Alvarez, et al., 2016; Murdock, Sternberg, & Thomas, 2016; Ruybal, Kramer, & Kilpatrick, 2016), el patrón general parece ser de un aumento en el número de casos o una redistribución geográfica de las especies de vectores hacia zonas climáticamente más confortables (Dao et al., 2014), afectando a nuevas poblaciones humanas (Escobar, Romero-Alvarez, et al., 2016).

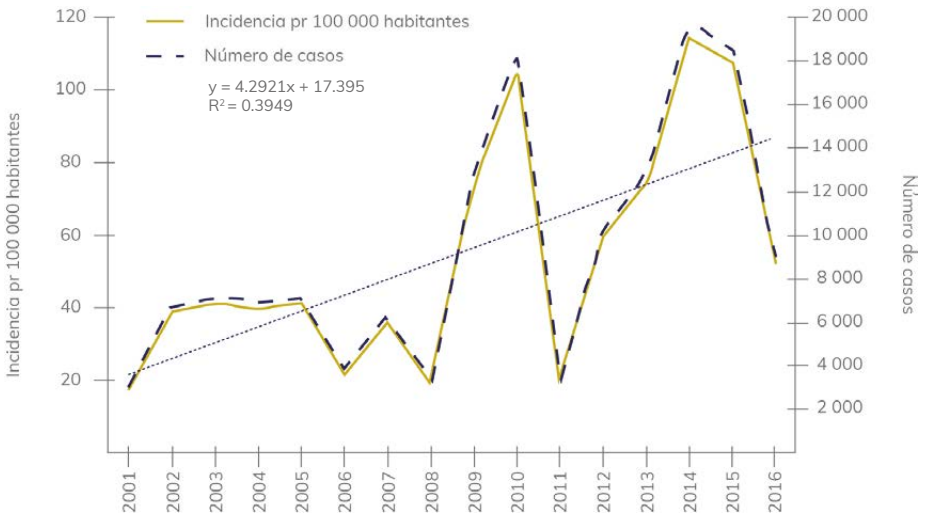


Figura 10-1 Dengue en Guatemala 2001-2016. Incidencia de casos por cada 100 000 habitantes (línea sólida, eje *y* de la izquierda) y el número total de casos (línea cortada, eje *y* de la derecha) que muestran variación anual en el número de reportes. Datos al 22 de abril de 2017. Note la alta incidencia en 2010 y 2014 y la reducción dramática de reportes durante el periodo 2011-2013; la causa de estos cambios se desconoce. Insertos están los valores y el modelo de regresión lineal (línea punteada) de la incidencia por año, mostrando una tendencia de los casos a aumentar en los próximos años. Elaboración propia, basado en MSPAS (2018).

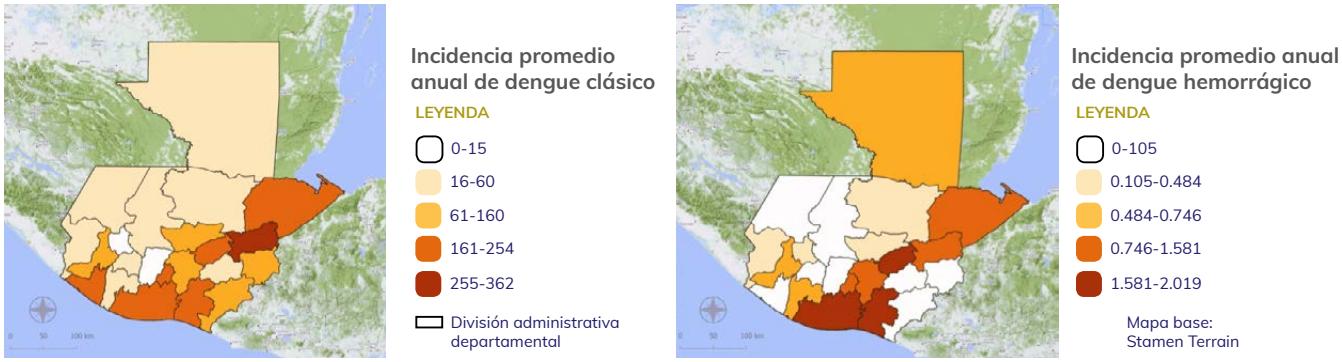


Figura 10-2 Incidencia de dengue en Guatemala. Incidencia promedio anual de dengue clásico (izquierda) y dengue hemorrágico (derecha) en Guatemala, casos por cada 100 000 habitantes durante el periodo 2012-2016. Elaboración propia, basado en MSPAS (2018).

Los modelos han mostrado dificultades e incertidumbre para reconstruir la complejidad de la respuesta de las enfermedades infecciosas frente al cambio climático (McIntyre, Rangel, Ready, & Carvalho, 2017). Por ejemplo, en algunas zonas, las predicciones sugieren que los vectores pueden redistribuirse a zonas geográficas con menos densidad poblacional (Escobar, Romero-Alvarez, et al., 2016; Peterson, 2009), resultando en menos casos; mientras otros modelos sugieren que las enfermedades pueden afectar zonas con mayor población humana, resultando en más casos (McIntyre et al., 2017; Patz, Campbell-Lendrum, Holloway, & Foley, 2005). Estos factores epidemiológicos y la alta incertidumbre en algunas predicciones (Vilges et al., 2017) sugieren que para entender los efectos del cambio climático sobre las enfermedades vectoriales, es indispensable el adecuado monitoreo epidemiológico de los casos en humanos y la distribución y abundancia de los vectores (Stewart-Ibarra & Lowe, 2013). Así, una efectiva estrategia para reducir los efectos del cambio climático sobre las enfermedades vectoriales sería la inversión de fondos en mejoramiento de la vigilancia epidemiológica (Holmes, Rambaut, & Andersen, 2018).

El Centro de Epidemiología del MSPAS de Guatemala, en su análisis epidemiológico de 2015 (MSPAS, 2016b), concluye que: i) el virus chikunguña es el que mayor tasa de incidencia presentó a nivel general durante el 2015, quizás por ser una enfermedad nueva para la cual la mayoría de población es susceptible; ii) el número de casos para dengue evidencia una leve disminución de casos acumulados entre los años 2014 y 2015; iii) los cuatro serotipos de dengue y la complicación a dengue hemorrágico se reportan de manera aislada en las diferentes áreas de salud

(Figura 10-2); iv) el grupo de mayor riesgo para zika, chikunguña y dengue son las mujeres comprendidas entre las edades de 20 a 49 años; v) no se reportaron complicaciones relacionadas o asociadas a infección por zika finalizado el 2015; vi) se espera un aumento en el número de casos de dengue debido al cambio de clima y a eventos de clima extremos; vii) debido a que el zika es una enfermedad emergente en Guatemala, donde la población no tiene inmunidad y es susceptible, se anticipa que el número de casos siga en incremento.

El gobierno de Guatemala hizo recomendaciones para prevenir enfermedades vectoriales. Por ejemplo: i) incrementar la investigación sobre los mosquitos Aedes que son los principales vectores de virus en Guatemala; ii) identificación oportuna de casos de embarazadas con zika, para proporcionarle una atención oportuna y adecuada a la madre y su recién nacido; iii) fortalecimiento de la vigilancia epidemiológica a nivel nacional; iv) identificación y priorización de las localidades de mayor riesgo de transmisión de enfermedades vectoriales frente al cambio climático; v) intensificar las acciones de comunicación de riesgo, con énfasis en la participación de todos los sectores y la población a nivel nacional (MSPAS, 2016b). Sin embargo, estas recomendaciones no consideran los efectos climáticos futuros sobre las enfermedades vectoriales en Guatemala, siendo esta una variable que el MSPAS debe incorporar entre sus programas.

10.3.4 Urbanización acelerada y no planificada

Para reducir el impacto de un nuevo modelo urbano a partir de la migración desde el campo, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) incluyó el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11 en la nueva agenda de desarrollo (PNUD, 2015), el cual pretende promover que las ciudades sean inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles para el año 2030. Para esas fechas se espera que el 60 % de los habitantes del mundo vivan en sitios urbanos. En las ciudades se determina si el crecimiento económico será inclusivo o desigual y se decide el uso de los recursos naturales de las zonas rurales. En Guatemala, el proceso de urbanización está en pleno desarrollo al ritmo de una tasa de crecimiento urbano anual de 3 % y está asociado a la migración interna (del campo a la ciudad). Se estima que Guatemala puede pasar del actual 50 % de población de zonas urbanas a un 65 % en 2030 (seis millones de habitantes a los centros urbanos). La transición rural-urbana de Guatemala conlleva desafíos para zonas agrícolas y ciudades, incluyendo el abandono de las áreas rurales por una población joven que no encuentra, en el campo, las oportunidades y el estilo de vida al que aspira; la necesidad de formación de capital humano para preparar la migración hacia las urbes; la dificultad de la llegada a la ciudad; y el crecimiento exponencial de las demandas vinculadas a la urbanización (energía, agua, servicios básicos). Así, la transición urbana es más que una transición estadística; de hecho, debe considerarse como un cambio en el funcionamiento, organización, y gestión de los territorios y sus ciudadanos.

Consideramos que uno de los mayores riesgos para la salud, en los contextos de una rápida urbanización de la población guatemalteca, es una pugna por el acceso a servicios públicos determinantes para la salud. Los efectos en la salud humana dependen de la calidad de los servicios básicos como agua, educación, atención de la salud y disponibilidad de productos de la canasta básica a precios accesibles. Los territorios que ocupa la población que migra a las grandes urbes, generalmente son marginales, ubicados en laderas y cuencas de ríos con alto deterioro ambiental; por lo tanto, las posibilidades de sufrir lesiones y pérdida de la vida es latente ante procesos como lluvias intensas, deslizamientos, vientos fuertes, incendios, hacinamiento, entre otros **(capítulo 9)**.

10.3.5 Adaptación de los sistemas de salud para proteger a las comunidades en mayor riesgo

Los procesos de adaptación de los sistemas de salud pueden dividirse en dos grandes componentes. El primero, relacionado con la ubicación y resiliencia de la infraestructura de salud; y el segundo, relacionado con su capacidad de enfrentar los retos del cambio climático y los fenómenos asociados, entre ellos están los desastres relacionados con los fenómenos hidrometeorológicos que son cada vez más importantes en su asociación con los eventos naturales.

No se encontraron datos acerca del nivel de seguridad de la red de servicios de salud ante desastres y adaptación al cambio climático. Sin embargo,

preocupa la posibilidad de una ampliación considerable de la red de servicios, sin tomar en cuenta los escenarios de clima y riesgo de desastres en su ubicación geográfica. El Índice de Seguridad Hospitalaria, diseñado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), es una valiosa herramienta para evaluar la red de hospitales de alta y mediana complejidad. Una evaluación de seis hospitales de alta complejidad y 17 centros y puestos de salud muestran que la ubicación de los servicios de salud no es la más estratégica. Un ejemplo preocupante es que, año con año, se reportan inundaciones en el sótano del Hospital Roosevelt debido a su localización en una zona de riesgo (M. Gutiérrez, comunicación personal, 11 de diciembre de 2014).

En cuanto al funcionamiento de los servicios de salud, no se tiene una estrategia de reporte de efectos en la salud causados por el cambio climático. Considerando que la mayoría de los impactos del cambio climático se expresa por fenómenos extremos, epidemias, entre otros, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (UNISDR, 2015) indica que se requiere:

- Aumentar la resiliencia de los sistemas sanitarios nacionales integrando la gestión del riesgo de desastres en la atención primaria, secundaria y terciaria de la salud, especialmente a nivel local, y desarrollando la capacidad de los trabajadores de la salud para comprender el riesgo de desastres. Asimismo, aplicar enfoques para la reducción del riesgo de desastres en la labor médica, promoviendo y fortaleciendo los medios de capacitación en el ámbito de la medicina aplicada a desastres; y apoyando y capacitando a grupos de atención sanitaria comunitaria en lo relativo a los enfoques de reducción del riesgo de desastres en los programas sanitarios, así como en la aplicación del Reglamento Sanitario Internacional de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en colaboración con otros sectores (OMS, 2005).
- Fortalecer el diseño y la aplicación de políticas inclusivas y mecanismos de protección social, mediante la implicación comunitaria, integrados con programas para mejorar los medios de vida y el acceso a servicios sanitarios básicos; salud materna, neonatal e infantil; salud sexual y reproductiva; seguridad alimentaria y nutrición; vivienda y educación; con el fin de erradicar la pobreza, encontrar soluciones duraderas en la fase posterior a los desastres y empoderar y ayudar a las personas afectadas de manera desproporcionada por los desastres.
- Incluir a las personas con enfermedades crónicas y potencialmente mortales, debido a sus necesidades especiales, en el diseño de las políticas y planes para gestionar sus riesgos antes, durante y después de los desastres, incluido su acceso a servicios de salvamento.

Otro efecto previsible en la salud humana es la pérdida de diversidad biológica, lo que incluye a las plantas medicinales tradicionales y alternativas para el tratamiento de enfermedades. En este aspecto, los servicios de salud que iniciaron la implementación del Sistema de Atención Inclusivo de Salud han introducido los huertos de plantas utilizadas en medicina tradicional; sin embargo, su cobertura e impacto aun necesitan ser evaluados.

Una limitante para diseñar programas de adaptación al cambio climático es la falta de mapas que describan con detalle sitios y magnitud de pérdidas de vidas y productos debido a los desastres, poblaciones afectadas y escenarios climáticos que permitan establecer tendencias de vulnerabilidad alimenticia. Para el sistema de salud de Guatemala, la localización de los sitios vulnerables y la estimación de las poblaciones y productos en riesgo es un reto trascendental para orientar mejor la distribución territorial de nuevos centros de salud en función de los efectos anticipados.

10.4 Potenciales impactos del cambio climático en la infraestructura de salud en Guatemala

La guía de aplicación del Análisis de Gestión de Riesgo en Proyectos de Inversión Pública (AGRIP) de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN, 2013) busca garantizar que la infraestructura se ubique en terrenos adecuados, contemplando variables hidrometeorológicas, geológicas, ambientales, jurídicas, institucionales y del medio construido. Sin embargo, su aplicación es limitada. Un gran vacío de información constituye el porcentaje de infraestructura de salud construida sin efectuar este diagnóstico territorial que garantiza un adecuado emplazamiento de la infraestructura. Esta situación puede agravarse ante la presencia de eventos extremos que han modificado los mapas de amenaza, especialmente por eventos hidrometeorológicos.

A pesar de que la Norma de Reducción de Desastres Número Dos (NRD2) (CONRED, 2017) es de cumplimiento obligatorio en todo el país, solamente tres municipios del departamento de Guatemala la exigen para extender las licencias de construcción. Por lo tanto, 337 de los 340 municipios de Guatemala incumplen la normativa oficial, lo que compromete la seguridad de la infraestructura de salud, reduciendo su capacidad de permanecer frente a desastres asociados al cambio climático.

10.5 Retos del cambio climático para el sistema de salud en Guatemala

Indudablemente, la generación de información es clave para evidenciar los potenciales impactos del cambio climático en la salud y en los sistemas de salud, por lo que los grandes retos para este son:

- Generación de información epidemiológica asociada al clima.
- Cumplimiento de normativas de seguridad ante desastres y adaptación al cambio climático en la construcción de infraestructura de salud.
- Estudios que permitan evidenciar el impacto de la migración interna y el acceso a la red de salud.
- Adaptación de los servicios de salud a la atención de los problemas de deficiencia alimentaria.
- Garantizar el acceso a agua de calidad para el consumo humano.
- Recuperar la salud ambiental, especialmente de cuerpos de agua.
- Control de vectores causantes de enfermedades. Adecuación de los registros de morbilidad y mortalidad para determinar la mortalidad asociada a los eventos naturales y el clima extremo.

10.6 Vacíos temáticos y necesidades de investigación

Existen evidencias de los potenciales efectos del cambio climático sobre las enfermedades vectoriales. El monitoreo epidemiológico es crucial para anticipar y entender los efectos del clima sobre estas enfermedades. Actualmente, Guatemala carece de la capacidad logística para documentar apropiadamente las enfermedades vectoriales en todo el territorio (Lepe et al., 2017). De hecho, la reciente epidemia de chikunguña, demostró que los sistemas de vigilancia epidemiológica en Guatemala colapsan durante epidemias (Escobar, Qiao, & Peterson, 2016), lo que resulta en una subestimación de casos. Es decir, Guatemala mostró una «fatiga de vigilancia epidemiológica» con limitados recursos humanos e insumos que no alcanzaron a responder a la epidemia y con cifras oficiales por debajo de lo esperado. Son indispensables más esfuerzos y recursos para mantener una vigilancia epidemiológica constante de cobertura nacional con la capacidad de responder apropiadamente durante situaciones de epidemia.

10.7 Conclusiones

Una de las principales limitantes en Guatemala para enfrentar el cambio climático es la falta de datos primarios de calidad. Existe actualmente una seria urgencia para generar información primaria que pueda servir para informar a los tomadores de decisiones. Entre los pasos importantes para resolver estas limitantes están: i) fortalecer el monitoreo epidemiológico; ii) incorporar el monitoreo climático junto con el monitoreo de enfermedades afectadas por el clima (p. ej., enfermedades vectoriales, enfermedades transmitidas por agua, enfermedades cardiovasculares, etc.); iii) fortalecer la visión prospectiva y reducir la reactiva para actuar antes, y no después, de los

desastres y epidemias; iv) promover la capacitación del recurso humano; v) fortalecimiento sistémico de la vigilancia de enfermedades y alerta temprana.

La tendencia mundial es que la inversión en adaptación, para los retos del cambio climático en el sector salud, es solo del 5 % del total global de los gastos para adaptación (Watts et al., 2018). Este porcentaje es desconocido en Guatemala, pero puede ser menor considerando que el país está por debajo de muchos otros índices de desarrollo y mejoramiento de calidad de vida comparado con países de la región, debido a la debilidad institucional que muestra. Recomendaciones puntuales incluyen aumentar la inversión en estrategias de adaptación en salud; aumentar la vigilancia epidemiológica más allá de las enfermedades arbovirales; clarificar las políticas públicas, normativas y financiamiento relacionado con el cambio climático en Guatemala; y fortalecer la investigación.

10.8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chirebvu, E., Chimbari, M. J., Ngwenya, B. N., & Sartorius, B. (2016). Clinical malaria transmission trends and its association with climatic variables in Tubu Village, Botswana: A retrospective analysis. *PLoS ONE*, 11(3). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139843

- Comisión Presidencial Coordinadora de la Política del Ejecutivo en materia de Derechos Humanos (COPREDEH). (2008). *Los derechos humanos y el cambio climático*. Guatemala.

- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). (2017). *Manual de uso para la norma de reducción de desastres número dos (NRD2)* (Cuarta edi). Ciudad de Guatemala: Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. Recuperado de http://conred.gob.gt/www/normas/NRD2/Manual_NRD2.pdf

- Dao, A., Yaro, A. S., Diallo, M., Timbiné, S., Huestis, D. L., Kassogué, Y., ... Lehmann, T. (2014). Signatures of aestivation and migration in Sahelian malaria mosquito populations. *Nature*, 516(7531), 387–390. https://doi.org/10.1038/nature13987

- Escobar, L. E., Qiao, H., & Peterson, A. T. (2016). Forecasting Chikungunya spread in the Americas via data-driven, empirical approaches. *Parasites & Vectors*, 9(112), 1–12. https://doi.org/10.1186/s13071-016-1403-y

- Escobar, L. E., Romero-Alvarez, D. A., Leon, R., Lepe-Lopez, M. A., Craft, M. E., Borbor-Cordoba, M. J., & Svenning, J.-C. (2016). Declining prevalence of disease vectors under climate change. *Nature Scientific Reports*, 6, 1–8. https://doi.org/10.1038/srep39150

- Fuller, D. O., Troyo, A., & Beier, J. C. (2009). El Niño Southern Oscillation and vegetation dynamics as predictors of dengue fever cases in Costa Rica. *Environmental Research Letters*, 4(4), 1–14. https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/1/014011

- Gagnon, A., Bush, A., & Smoyer-Tomic, K. (2001). Dengue epidemics and the El Niño Southern Oscillation. *Climate Research*, 19, 35–43. https://doi.org/10.3354/cr019035

- Holmes, E. C., Rambaut, A., & Andersen, K. G. (2018). Pandemics: spend on surveillance, not prediction. *Nature*, 558, 180–182. https://doi.org/10.1038/d41586-018-05373-w

- Hurtado-Díaz, M., Riojas-Rodríguez, H., Rothenberg, S. J., Gomez-Dantés, H., & Cifuentes, E. (2007). Short communication: Impact of climate variability on the incidence of dengue in Mexico. *Tropical Medicine and International Health*, 12(2), 1327–1337. https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2007.01930.x

- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2011). *Encuesta nacional de condiciones de vida 2011*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2015). *República de Guatemala: encuesta nacional de condiciones de vida 2014. Principales resultados*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2016). *Encuesta de condiciones de vida 2014. Tomo I*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística.
- Lepe, M., Dávila, M., Canet, M., López, Y., Flores, E., Dávila, A., & Escobar, L. (2017). Distribución de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* en Guatemala 2016. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 4(1).
- McIntyre, S., Rangel, E. F., Ready, P. D., & Carvalho, B. M. (2017). Species-specific ecological niche modelling predicts different range contractions for *Lutzomyia intermedia* and a related vector of *Leishmania braziliensis* following climate change in South America. *Parasites & Vectors*, 10(1), 1–15. https://doi.org/10.1186/s13071-017-2093-9
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS). (2016a). *Diagnóstico nacional de salud*. Guatemala: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS). (2016b). *Informe anual: situación de las enfermedades transmisibles y no transmisibles prioritarias de vigilancia epidemiológica, Guatemala 2015*. Guatemala.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS). (2018). Datos de Morbilidad. Recuperado de http://sigsa.mspas.gob.gt/datos-de-salud/morbilidad/principales-causas-de-morbilidad-y-mortalidad
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), Instituto Nacional de Estadística (INE), & ICF International. (2017). *VI encuesta nacional de salud materno infantil 2014-2015*. Informe Final. Guatemala: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
- Mora, J., Ramírez, D., Ordaz, J. L., Acosta, A., & Serna, B. (2010). *Guatemala. Efectos del cambio climático sobre la agricultura*. México, D.F.
- Murdock, C. C., Sternberg, E. D., & Thomas, M. B. (2016). Malaria transmission potential could be reduced with current and future climate change. *Scientific Reports*, 6(1), 1–7. https://doi.org/10.1038/srep27771
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR). (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. Recuperado de http://www2.ohchr.org/spanish/bodies/hrcouncil/docs/gaA.RES.60.1_Sp.pdf
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2003). *Cambio climático y salud humana: Riesgos y respuestas*, 37. https://doi.org/10.4067/S0049-34492000000200005
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2005). *Reglamento sanitario internacional* (2005) (Segunda ed). Guatemala: Organización Mundial de la Salud.
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438, 310–317. https://doi.org/10.1038/nature04188
- Pérez, E., Holmann, F., Schuetz, P., & Fajardo, E. (2006). *Evolución de la ganadería bovina en países de América Central: Costa Rica, Guatemala, Honduras y Nicaragua*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. Recuperado de http://ciat-library.ciat.cgiar.org/forrajes_tropicales/pdf/Books/Evolucion_Ganaderia_Bovina.pdf
- Peterson, A. T. (2009). Shifting suitability for malaria vectors across Africa with warming climates. *BMC Infectious Diseases*, 9(59), 1–6. https://doi.org/10.1186/1471-2334-9-59

- Procuraduría de los derechos Humanos (PDH). (2014). *Nota conceptual: el acceso al agua potable como un derecho humano en Guatemala*. Guatemala: Procurador de los Derechos Humanos.

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

- Ruybal, J. E., Kramer, L. D., & Kilpatrick, A. M. (2016). Geographic variation in the response of *Culex pipiens* life history traits to temperature. *Parasites & Vectors*, 9(116), 1–9. https://doi.org/10.1186/s13071-016-1402-z

- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN). (2013). *Análisis de gestión de riesgo en proyectos de inversión pública (AGRIP)*. Guatemala.

- Siraj, A. S., Santos-Vega, M., Bouma, M. J., Yadeta, D., Carrascal, D. R., & Pascual, M. (2014). Altitudinal changes in malaria incidence in highlands of Ethiopia and Colombia. *Science*, 343, 1154–1158. https://doi.org/10.1126/science.1244325

- Stewart-Ibarra, A. M., & Lowe, R. (2013). Climate and non-climate drivers of dengue epidemics in southern coastal Ecuador. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 88(5), 971–981. https://doi.org/10.4269/ajtmh.12-0478

- Vilges, S. V., Romero-Alvarez, D., Fernandes, T., Pereira, J., Labruna, M., Salles, G., ... Gurgel-Gonçalves, R. (2017). *Amblyomma* ticks and future climate: Range contraction due to climate warming. *Acta Tropica*, 176(June), 340–348. https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2017.07.033

- Watts, N., Amann, M., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., Bouley, T., Boykoff, M., ... Costello, A. (2018). *The Lancet Countdown on health and climate change*: From 25 years of inaction to a global transformation for public health. The Lancet, 391, 581–630. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32464-9

Foto: Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones

SECCIÓN 3

MITIGACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

11

EMISIONES HISTÓRICAS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y SUS TENDENCIAS

Autores: Marco Aurelio Juárez Calderón[1], Edwin J. Castellanos[2], Gabriela Fuentes Braeuner[3]

[1] Geotecnológica de Centroamérica, S.A., marco.aurelio.juarez@gmail.com
[2] Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad, Universidad del Valle de Guatemala, ecastell@uvg.edu.gt
[3] Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad, Universidad del Valle de Guatemala, gmfuentes@uvg.edu.gt

Forma de citar este capítulo:
Juárez Calderón, M. A., Castellanos, E. J., & Fuentes Braeuner, G. (2019).
Emisiones históricas de gases de efecto invernadero y sus tendencias.
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. 228–263). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Mensajes clave:

- Los inventarios realizados a la fecha (1990-2005) muestran que el balance neto (emisiones menos absorciones) se incrementó a una tasa de 8.5 % anual (crecimiento anual de 85.36 miles de toneladas de $CO_{2\text{-}eq}$). La tendencia de las emisiones de gases de efecto invernadero del país se mantendrá al alza.

- Las cinco principales actividades que generan mayor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero en Guatemala son la conversión de tierras forestales a cultivos o ganadería (26 %), la quema de combustible para el transporte de personas, productos y mercancías (18 %), el manejo de los suelos agrícolas (14 %), la fermentación entérica del ganado (9 %) y la quema de combustibles para la producción energética (9 %).

- No existe un sistema de recopilación e intercambio de información para la generación de inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero de forma periódica y sistemática. Hace falta estimar la incertidumbre de la información de los inventarios realizados hasta el momento.

Foto: E. Castellanos

RESUMEN

En Guatemala se han realizado cuatro inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (GEI) correspondientes a los años 1990, 1994, 2000 y 2005. Estos indican que las emisiones totales de GEI aumentaron de 18.10 a 31.40 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-}eq}$) de 1990 a 2005. Asimismo, muestran que la capacidad de absorción de dióxido de carbono (CO_2) se redujo de 43 a 24 millones de toneladas para el mismo periodo. Al combinar ambos datos se observa que el balance neto nacional (emisiones menos absorciones) pasó de ser una emisión neta negativa de 25 millones de toneladas en 1990 a una emisión neta positiva de siete millones de toneladas en 2005, equivalente a un incremento medio anual de 9 %. Las proyecciones para el año 2050 realizadas por el proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, muestran una tendencia al aumento en las emisiones del país a mediano y largo plazo.

Las emisiones per cápita han aumentado de 1.95 a 2.57 y 2.8 toneladas de $CO_{2\text{-}eq}$ durante los años 1990, 1994 y 2000 respectivamente; sin embargo, hubo una reducción a 2.4 toneladas de $CO_{2\text{-}eq}$ en el 2005. Las emisiones con respecto al producto interno bruto (PIB) del país también se mantienen al alza mostrando un incremento de 0.25, 0.29, 0.33 y 0.36 kg CO_2/USD PIB en los años 1990, 1994, 2000 y 2005 respectivamente. Estos dos indicadores muestran que la gestión de nuestras emisiones ha sido poco eficiente, ya que estamos emitiendo mayor cantidad de GEI por cada nuevo habitante, o bien, emitimos mayor cantidad de GEI por cada quetzal que genera nuestra economía.

De acuerdo con la información del inventario del año 2005, las cinco principales actividades que generan mayores emisiones de GEI son la conversión de tierras forestales a cultivos o ganadería (26 %); la quema de combustible para el transporte de personas, productos y mercancías (18 %); el manejo de los suelos agrícolas (14 %); la fermentación entérica del ganado (9 %) y la quema de combustibles para la producción de energía eléctrica (9 %).

Existen otros inventarios sectoriales de GEI además de los inventarios nacionales, pero no son comparables entre sí, debido a diferencias metodológicas y de fuentes de información. Existen vacíos de información que reducen la disponibilidad y certidumbre de los inventarios nacionales. Por ello, se recomienda fomentar arreglos institucionales que permitan instalar un sistema de recopilación e intercambio de información, para contar con estadísticas nacionales con mayor periodicidad y menor incertidumbre.

CONTENIDO

11.1 Inventarios de gases de efecto invernadero en Guatemala 232
- 11.1.1 Resultado de las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero 232
- 11.1.2 Análisis de las categorías principales de emisión 236

11.2 Otras fuentes de información sobre emisiones de GEI en el país 237

11.3 Emisiones y economía 238
- 11.3.1 Emisiones per cápita 238
- 11.3.2 Emisiones por producto interno bruto 240

11.4 Comportamiento de las principales actividades generadoras de GEI 241
- 11.4.1 Sector de la energía 241
  - 11.4.1.1 Subsector de la energía 241
    - 11.4.1.1.1 Emisiones por la generación de energía eléctrica 241
  - 11.4.1.2 Subsector del transporte 244
- 11.4.2 Sector de los procesos industriales 246
  - 11.4.2.1 Subsector de la industria de los minerales 246
    - 11.4.2.1.1 Producción de cemento y cal 246
- 11.4.3 Sector de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra 247
  - 11.4.3.1 Subsector de la ganadería 248
  - 11.4.3.2 Subsector de la agricultura: fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 250
  - 11.4.3.3 Subsector del cambio de uso de la tierra y silvicultura (CUTS) 253
- 11.4.4 Sector de desechos 255
  - 11.4.4.1 Subsector de desechos sólidos 256

11.5 Vacíos de información 259

11.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 260

11.1 Inventarios de gases de efecto invernadero en Guatemala

Los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero cuantifican las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se emiten hacia la atmósfera como resultado de las actividades humanas, y la cantidad de absorciones (por sumidero de carbono) que ocurren en un país. Estos resultados se presentan para cada uno de los GEI y las actividades consideradas fuentes de emisión.

Con la firma y ratificación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), Guatemala se comprometió a desarrollar, actualizar periódicamente, publicar y poner a disposición de la Conferencia de las Partes sus inventarios nacionales de emisiones antropogénicas por fuentes y de absorciones por sumideros, correspondientes a todos los GEI no controlados por el Protocolo de Montreal, para lo cual utilizará metodologías comparables con los inventarios nacionales de GEI (IPCC, 2006).

Los inventarios nacionales de GEI son útiles para informar nuestros avances ante la CMNUCC, sin embargo, tienen otros usos. Con la promulgación de la Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación Obligatoria ante los Efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (Decreto 7-2013, 2013) se establecen acciones que requieren contar con información actualizada sobre las emisiones y absorciones de GEI, la cual servirá para: i) desarrollar propuestas de mitigación de los efectos del cambio climático que son producto de las emisiones de GEI (art. 2); ii) dar seguimiento a la puesta en ejecución de las estrategias, planes y programas de acción en mitigación (art. 8); iii) proporcionar información sobre emisiones y reducción de GEI necesaria para las comunicaciones nacionales (art. 9); y iv) actualizar el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC) (CNCC, 2016) conforme los resultados de las comunicaciones nacionales de cambio climático (art. 11).

Otros usos importantes de la información de los inventarios nacionales de GEI es la evaluación de las metas establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo K'atun, principalmente la meta que propone la estabilización de las emisiones nacionales de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-}eq}$) per cápita en 2.50 toneladas (CONADUR, 2014), así como la evaluación del nivel de avance que Guatemala logre en su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) (Gobierno de Guatemala, 2015) que fue presentada ante la CMNUCC en enero del 2017.

Guatemala ha desarrollado cuatro inventarios nacionales de GEI para los años 1990, 1994, 2000 y 2005 (MARN, 2015). Estos inventarios se realizaron con base en las metodologías establecidas en las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), versión revisada en 1996 (IPCC, 1997); la orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2000); y la orientación sobre las buenas prácticas sobre uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (IPCC, 2003).

Estos inventarios nacionales fueron desarrollados en periodos diferentes de tiempo, a través de un proceso donde participaron varios consultores y especialistas sectoriales, quienes obtuvieron los resultados que fueron publicados por el país en las dos comunicaciones nacionales que ha presentado ante la CMNUCC.

11.1.1 Resultado de las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero

Los resultados de los cuatro inventarios nacionales de GEI que fueron presentados ante la CMNUCC se presentan en el Cuadro 11-1. Este cuadro muestra que las emisiones de GEI de Guatemala aumentaron fuertemente entre el periodo evaluado de 1990 a 2005.

Cuadro 11-1 Emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero de Guatemala, años 1990, 1994, 2000 y 2005

Año	CO_2		CH_4	N_2O	NO_x	CO	COVDM	SO_2
	emisiones	absorciones						
1990	7.490	-42.904	0.200	0.021	0.044	0.962	0.106	0.074
1994	18.475	-39.584	0.193	0.012	0.048	0.958	0.235	0.075
2000	22.911	-37.457	0.211	0.017	0.076	1.212	3.257	0.098
2005	20.818	-24.492	0.259	0.017	0.095	1.434	0.415	0.090

Nota: Valores expresados en millones de toneladas. CO_2 = dióxido de carbono. CH_4 = metano. N_2O = óxido nitroso. NO_x = óxidos de nitrógeno (óxido nítrico + dióxido de nitrógeno). CO = monóxido de carbono. COVDM = compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano. SO_2 = dióxido de azufre. Adaptado de MARN (2015).

El Cuadro 11-1 muestra las cantidades absolutas, expresadas en millones de toneladas, de cada uno de los GEI y los precursores[1] reportados en los inventarios. De estos, el principal GEI que emite Guatemala es el dióxido de carbono (CO_2), el cual representa el 69 % de las emisiones; mientras que el resto, metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), se reparten en partes muy similares. Con la finalidad de hacer comparables los resultados anteriores, estos fueron convertidos a la expresión de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-eq}}$)[2], a efecto de visualizar la magnitud de las emisiones y absorciones totales del país, así como la tendencia que han presentado. Estos valores se presentan en el Cuadro 11-2.

Cuadro 11-2 Emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero de Guatemala, años 1990, 1994, 2000 y 2005

Año	Emisiones totales	Absorciones totales	Balance
1990	18.10	-42.90	-24.80
1994	26.16	-39.58	-13.43
2000	32.59	-37.46	-4.87
2005	31.45	-24.49	6.95

Nota: En las columnas «emisiones totales» y «balance» los valores son expresados en millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-eq}}$); la columna «absorciones totales» se refiere a la absorción de carbono por los ecosistemas forestales y otros usos de la tierra, dada en millones de toneladas de dióxido de carbono (CO_2) que equivale a $CO_{2\text{-eq}}$. La columna «balance» es resultado del valor de la suma de emisiones totales y absorciones totales, resultando en un descuento de las absorciones a las emisiones totales. El valor negativo en la columna balance expresa mayor absorción que emisión; mientras que el positivo denota mayor emisión que absorción. Adaptado de MARN (2015).

1 Compuestos atmosféricos que no son GEI ni aerosoles, pero que tienen un efecto sobre las concentraciones de GEI o aerosoles, al contribuir en los procesos físicos o químicos que regulan sus niveles de producción o destrucción (IPCC, 2001). Dentro de estos se incluyen los óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano, y dióxido de azufre (IPCC, 2006).

2 Medida universal que indica el potencial de calentamiento global de cada GEI. Se usa para evaluar las emisiones de los diferentes gases que producen el efecto invernadero; el dióxido de carbono es definido con un potencial uno de calentamiento; el metano posee un potencial de calentamiento de 21 (21 veces la capacidad de calentamiento del CO_2); y el óxido nitroso tiene un potencial de calentamiento global de 310 (IPCC, 2007). Guatemala utilizó los factores sugeridos en la Segunda Evaluación del IPCC, sin embargo, en la actualidad el IPCC ha actualizado estos factores, aunque estos aún no han sido adoptados por Guatemala.

El Cuadro 11-2 muestra que el balance neto nacional (emisiones menos absorciones) se incrementó en un 9 % anual, pasando de una emisión neta de -24.80 millones de toneladas en 1990 a 6.95 millones de toneladas en 2005. Este aumento en el balance de las emisiones fue debido al crecimiento de las emisiones y a la reducción de la capacidad de absorción de los ecosistemas forestales en el país.

Al observar las emisiones brutas de GEI (emisiones sin descontar las absorciones), estas mostraron un aumento, pasando de 7.50 millones de toneladas en 1990 a 20.82 millones de toneladas en 2005, lo cual representa un crecimiento de 5 % anuales. Sin embargo, esta tendencia no se ha mantenido constante en los distintos periodos; de modo que en el periodo 1990-1994 el incremento observado fue del 11 % anual, en el periodo 1994-2000 las emisiones brutas aumentaron un 4 % anual y en el periodo 2000-2005 se observó un decrecimiento de 2 % anual.

Por otro lado, los ecosistemas forestales y otros usos de la tierra redujeron su capacidad de absorber el dióxido de carbono atmosférico. Esta capacidad se redujo de 42.90 millones de toneladas en 1990 a 24.49 millones de toneladas en 2005. Para comprender cuáles sectores y subsectores son los que generan mayor cantidad de emisiones de GEI, en la Figura 11-1 se presenta la cantidad de emisiones de GEI, expresadas en millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$.

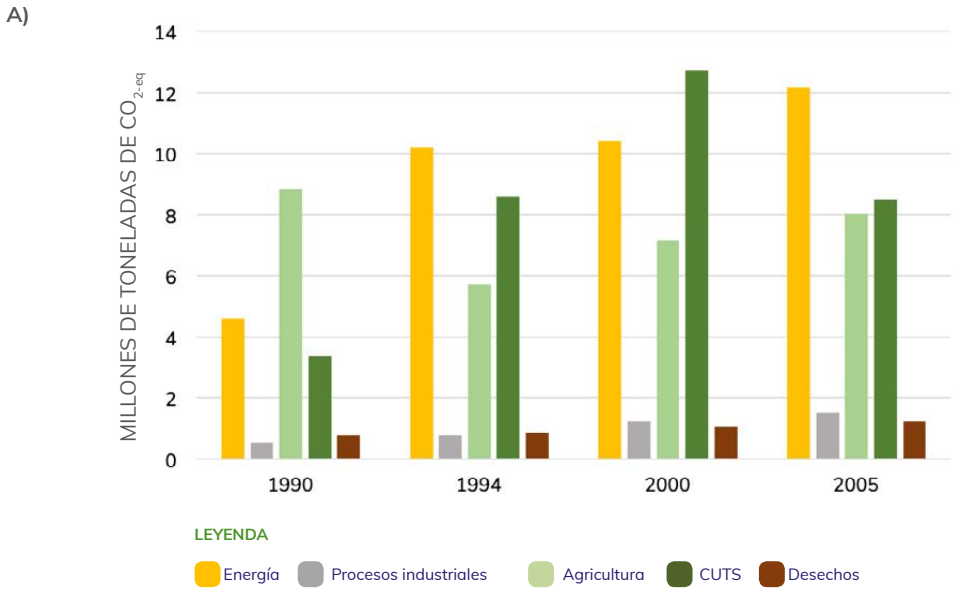
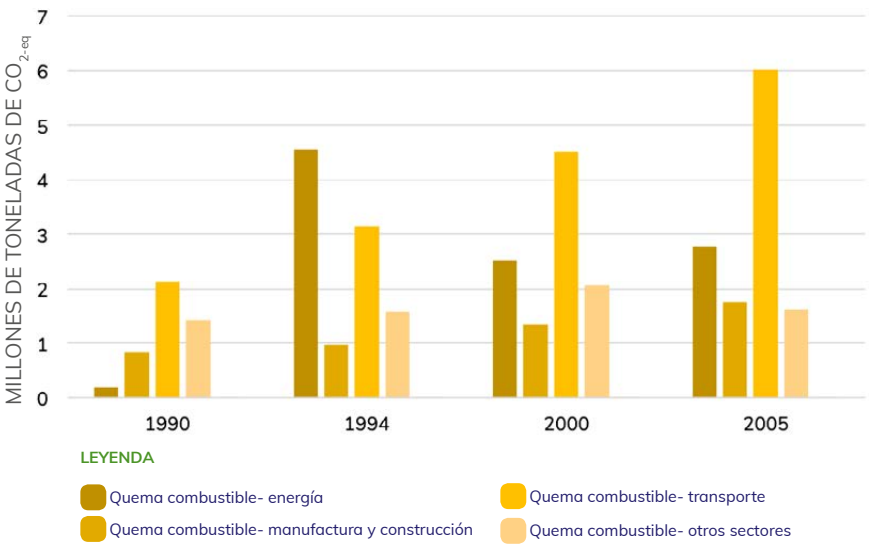
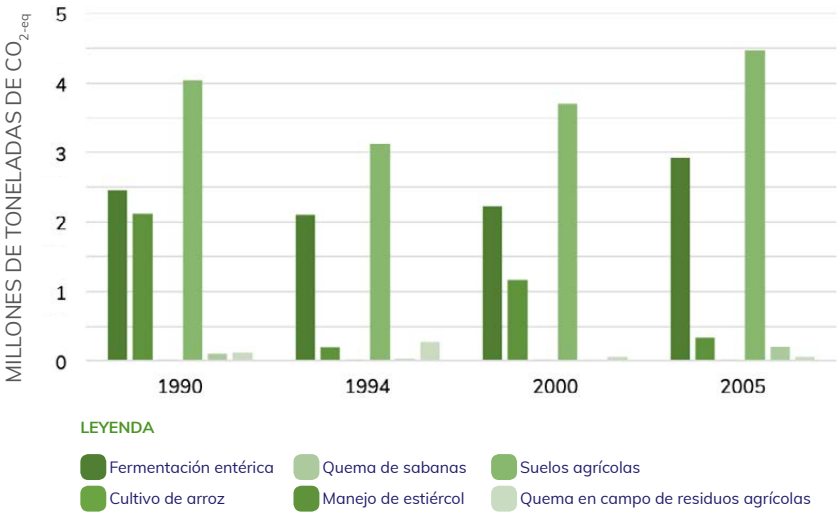


Figura 11-1 Emisiones de GEI (expresados en millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente [$CO_{2\text{-eq}}$]) distribuidas por sector y subsector en los cuatro inventarios de GEI realizados en Guatemala. La gráfica «a» muestra la emisión de GEI por sector, siendo el sector de energía y subsectores de agricultura y cambio de uso de la tierra y silvicultura (CUTS) los que generaron mayor cantidad de emisiones. La gráfica «b» muestra las emisiones en las distintas categorías del sector de energía, la gráfica «c» muestra las del subsector agricultura y ganadería y la gráfica «d» el sector de desechos. Elaboración propia, basado en MARN (2015). Nota: Las emisiones del subsector CUTS no incluyen el descuento por absorciones de este subsector, por lo que se refieren a emisiones brutas. Nótese la diferencia de la escala en las figuras.

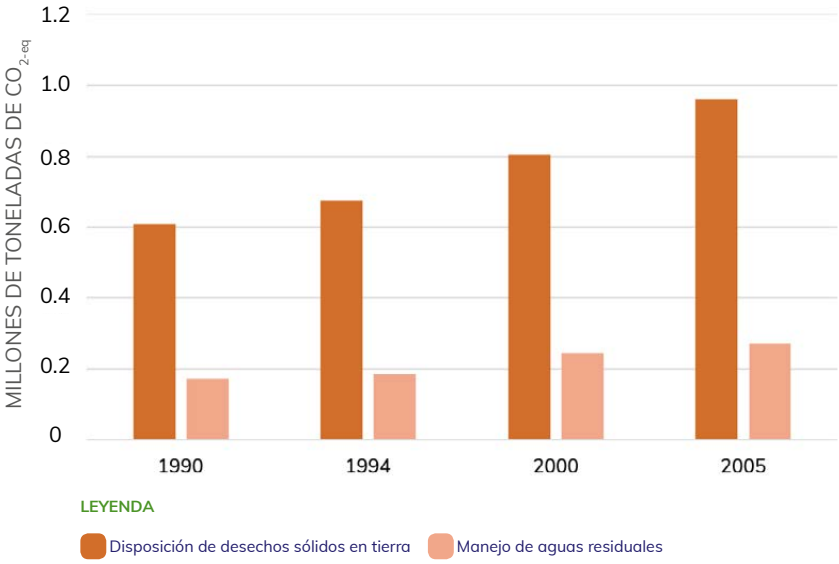
B)


MILLONES DE TONELADAS DE CO_{2-eq}
7
6
5
4
3
2
1
0
1990
1994
2000
2005
LEYENDA
Quema combustible- energía
Quema combustible- transporte
Quema combustible- manufactura y construcción
Quema combustible- otros sectores

C)


MILLONES DE TONELADAS DE CO_{2-eq}
5
4
3
2
1
0
1990
1994
2000
2005
LEYENDA
Fermentación entérica
Quema de sabanas
Suelos agrícolas
Cultivo de arroz
Manejo de estiércol
Quema en campo de residuos agrícolas

D)


MILLONES DE TONELADAS DE CO_{2-eq}
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
1990
1994
2000
2005
LEYENDA
Disposición de desechos sólidos en tierra
Manejo de aguas residuales

11.1.2 Análisis de las categorías principales de emisión

Con la finalidad de identificar cuáles son las principales fuentes de emisiones de GEI en el país, se realizó el análisis de las categorías principales[3] empleando la información del inventario nacional de GEI del año 2005 (Figura 11-2), indicando que existen nueve categorías de actividades responsables del 95.2 % de las emisiones y absorciones del país, a las cuales se les debe dar atención especial dentro de los sistemas de inventarios nacionales. Esas categorías son las siguientes:

- Tierras convertidas en tierras de cultivo. Donde se reporta la pérdida de carbono de las tierras que se incorporan a las actividades agrícolas, como la deforestación de los bosques, el cambio de los sistemas agroforestales (SAF) y la conversión de praderas y sabanas naturales.
- Quema de combustible para el transporte. Debido al uso de combustibles fósiles en las actividades de transporte de personas, productos y mercancías.
- Emisiones directas de óxido nitroso en los suelos manejados. Se debe principalmente al uso de fertilizantes nitrogenados y a la incorporación de los residuos de cosechas en las tierras agrícolas.
- Fermentación entérica del ganado. Es dada por las emisiones de metano que se genera durante la digestión del ganado, tanto de los rumiantes como de los monogástricos.
- Quema de combustible en las industrias de la energía. Debido al uso de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica.
- Quema de combustible en las industrias manufactureras y de la construcción. Debido al consumo de combustibles en los diferentes procesos industriales.
- Quema de combustibles en otros sectores. Se debe a la demanda energética a nivel de los hogares, principalmente.
- Industria de los minerales: producción de cemento. Se debe a la calcinación de la piedra caliza y otros carbonatos que se requieren para la fabricación de clínker[4].

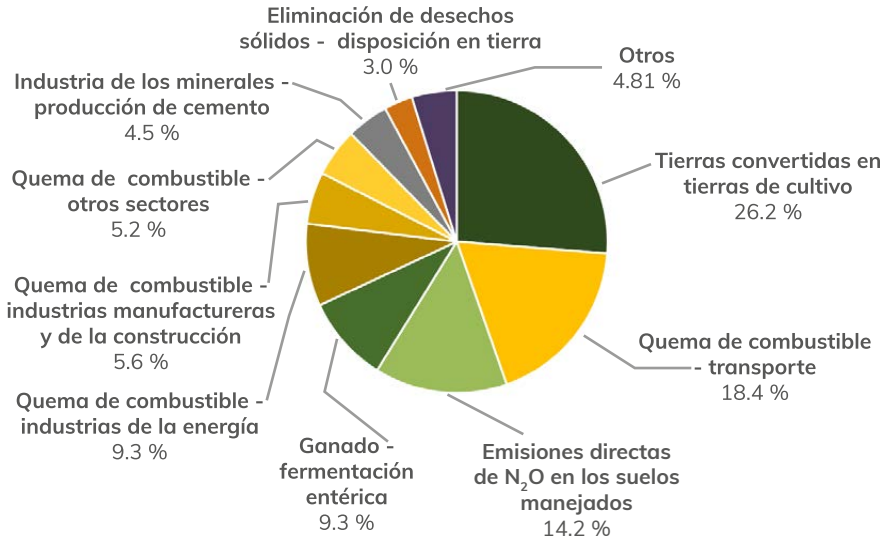


Figura 11-2 Categorías de fuentes clave para Guatemala, identificadas con los resultados del inventario nacional de GEI del 2005. Nueve categorías de actividades son responsables del 95.2 % de las emisiones y absorciones del país siendo el restante 4.8 % otras categorías (quema de biomasa [0.9 %], tratamiento y disposición de aguas residuales [0.9 %], tierras convertidas en tierras forestales [0.8 %], quema de combustible de la aviación civil [0.7 %], industria de los minerales para la producción de cal [0.4 %], emisiones indirectas de N_2O en los suelos manejados [0.1 %], industria de los minerales para el uso de carbonatos [0.03 %], cultivo de arroz [0.02 %] y emisiones fugitivas del petróleo y gas natural [0.007 %]). Elaboración propia, basado en MARN (2015).

3 Una categoría principal es una categoría prioritaria en el sistema de inventarios nacionales porque su estimación influye significativamente sobre el inventario total de GEI de un país, en cuanto al nivel absoluto, la tendencia, o la incertidumbre de emisiones y absorciones (IPCC, 2006).

4 Producto intermedio obtenido durante la fabricación del cemento, creado en hornos de altas temperaturas. En estos hornos, se calcina el carbonato de calcio para obtener cal u óxido de calcio (CaO) y dióxido de carbono. El CaO reacciona luego con el dióxido de silicio (SiO_2) y otros óxidos para formar minerales hidráulicamente reactivos, principalmente silicatos de calcio, dentro de nódulos semi-vitrificados llamados clínker, o escoria de cemento (IPCC, 2006).

- Eliminación de desechos sólidos: disposición en tierra. Se debe a la generación de metano por la descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos de los desechos que se acumulan en los vertederos urbanos y periurbanos.

11.2 Otras fuentes de información sobre emisiones de GEI en el país

Recientemente el proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones desarrolló una línea base de emisiones de GEI para Guatemala con una estimación de las emisiones hasta el año 2015 y proyecciones hasta el año 2050.

Esta línea base fue elaborada siguiendo la metodología propuesta por el IPCC para la elaboración de inventarios nacionales de GEI, y se emplearon diferentes fuentes de información, con la finalidad de cubrir las principales actividades generadoras de GEI en el país (CCS & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, 2018c). Estas estimaciones presentan valores de emisiones de GEI superiores a las presentadas por el país ante la CMNUCC, ya que establece que para el año 2005, las emisiones totales de Guatemala se situaban en los 74.50 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ (CCS & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, 2018d), mientras que el inventario nacional del mismo año reportó únicamente 31.40 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ (MARN, 2015). Esta diferencia de valores se debe en parte a las fuentes de información que se emplearon en ambos procesos, por lo que se debe tomar en cuenta este aspecto al momento de realizar nuevos inventarios nacionales en el país.

Las estimaciones del proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones muestran que se espera que las emisiones netas aumenten a 99 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ al año 2015, y que las mismas se proyecten a 138 millones de $tCO_{2\text{-eq}}$ para 2030 y 201 millones de $tCO_{2\text{-eq}}$ para 2050. Ese fuerte incremento de las emisiones estimadas por dicha fuente se debe principalmente a los aportes del sector forestal y de otros usos de la tierra (CUTS). Para 2015, este sector contribuyó con casi el 72 % del total de las emisiones (71 millones de $tCO_{2\text{-eq}}$), y se espera que para el 2050, bajo el escenario tendencial, las emisiones aumenten más del doble a 147 millones de $tCO_{2\text{-eq}}$ (CCS & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, 2018d) (Figura 11-3).

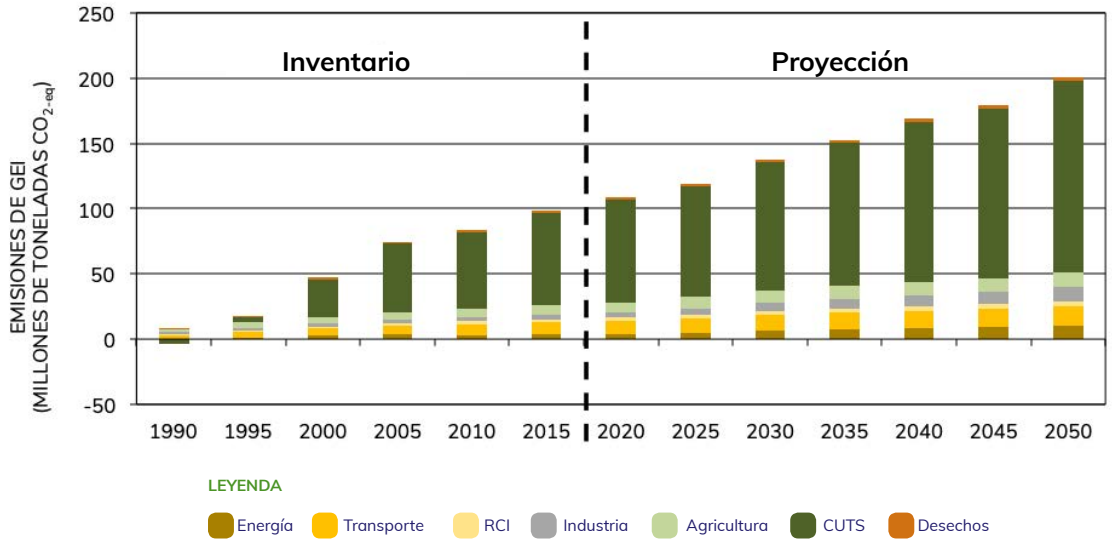


Figura 11-3 Línea de base de emisiones de GEI para los sectores evaluados. Las emisiones netas aumentaron a 99 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-eq}}$) al año 2015. Se proyectan a 138 millones de $tCO_{2\text{-eq}}$ para 2030 y 201 millones de $tCO_{2\text{-eq}}$ para 2050. RCI= demanda energética del sector residencial, comercial e industrial. CUTS = Cambio de uso de la tierra y silvicultura. Adaptado de CCS y Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones (2018d).

11.3 Emisiones y economía

Los GEI antropogénicos son, en términos económicos, una externalidad. Quienes producen las emisiones de GEI y que, por lo tanto, contribuyen en mayor medida con el cambio climático, están imponiendo costos al mundo y a las generaciones futuras, pero no enfrentan directamente, ni a través de los mercados ni de otras maneras, las consecuencias totales de los costos de sus acciones (Stern, 2006). Dicho en otras palabras, no tienen que pagar por emitir los GEI a la atmósfera.

El cambio climático tiene carácter mundial, tanto en sus causas como consecuencias; sus impactos son persistentes y se desarrollan a largo plazo; existen incertidumbres que impiden una estimación precisa de los impactos económicos que genera; y existe un grave riesgo de cambios importantes e irreversibles a mediano y largo plazo, con efectos económicos no marginales (Stern, 2006).

Generalmente se tiende a relacionar la forma como nos desarrollamos y la huella que dejamos en el ambiente. Una forma de hacerlo es relacionando la extracción total de recursos naturales, expresada como la huella material que resulta del volumen extraído (o consumido) del ambiente natural, y el producto interno bruto (PIB) generado con esos recursos naturales, lo cual da un indicador de la intensidad de uso de esos recursos (CEPAL, 2018). En la región de Latinoamérica y El Caribe, entre 1970 y 2010, creció la extracción total de recursos y la intensidad del uso de estos no se desacopló del crecimiento económico (PNUMA, s/f; Banco Mundial, 2015, citados por [CEPAL, 2018]).

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2018) identificó que a nivel de Latinoamérica y El Caribe, para avanzar hacia el desarrollo sostenible en sus tres dimensiones (social, económica y ambiental), se necesita realizar inversiones y modificar la tecnología de producción, teniendo como eje la descarbonización y el desacople entre crecimiento e impacto ambiental.

Para evaluar la eficiencia del crecimiento económico de Guatemala respecto a sus emisiones de GEI se emplearon tres indicadores: las emisiones per cápita, las emisiones por PIB y el consumo de energía por unidad de ingreso per cápita que sirve para evaluar cuan eficiente es el sistema productivo y social de un país para reducir sus emisiones de GEI.

11.3.1 Emisiones per cápita

Este indicador se obtiene de la relación entre las emisiones de GEI totales del país con su población total, y se expresa en toneladas de dióxido de carbono equivalente per cápita ($tCO_{2\text{-}eq}$ / habitante). Para estimar las emisiones per cápita de Guatemala y su comportamiento, se utilizó la información de las emisiones brutas (emisiones totales) y las emisiones netas (emisiones menos absorciones) de GEI, reportadas en los inventarios nacionales (MARN, 2015), y la información de la población total reportada y proyectada para el país (INE & CELADE, 1997). Los resultados de este análisis se presentan en el Cuadro 11-3.

Cuadro 11-3 Emisiones de gases de efecto invernadero, brutas y netas, totales y per cápita, de Guatemala, años 1990, 1994, 2000 y 2005

Año	Población total	Emisiones brutas	Emisiones netas	Emisiones brutas per cápita	Emisiones netas per cápita
1990	9 263 813	18 100 199	-24 803 528	1.95	-2.68
1994	10 172 297	23 155 915	-13 427 729	2.57	-1.32
2000	11 650 743	32 587 055	-4 869 759	2.80	-0.42
2005	13 096 028	31 445 901	6 953 840	2.40	0.53

Nota: En las columnas «emisiones brutas» y «emisiones netas» los valores son expresados en toneladas de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-}eq}$); mientras que en las columnas «emisiones brutas per cápita» y «emisiones netas per cápita» se encuentran en toneladas de dióxido de carbono equivalente por habitante (t $CO_{2\text{-}eq}$ / habitante). Las emisiones netas corresponden a la suma de emisiones menos absorciones y reflejan el descuento de las absorciones a las emisiones totales. Elaboración propia, basado en MARN (2015) e INE & CELADE (1997).

Los resultados del Cuadro 11-3 muestran que las emisiones brutas per cápita de Guatemala han aumentado del año 1990 (1.95 tCO_{2-eq}), a los años 1994 (2.57 tCO_{2-eq}) y 2000 (2.80 tCO_{2-eq}), con una ligera reducción en el año 2005 (2.40 tCO_{2-eq}). El hecho de que estas emisiones bajaran en el año 2005 se debe a la reducción de emisiones del sector de cambio de uso de la tierra y silvicultura reportada para ese periodo. Por otro lado, las emisiones netas per cápita han aumentado fuertemente, pasando de -2.68 tCO_{2-eq} en 1990 a 0.53 tCO_{2-eq} en el año 2005.

Existen otras fuentes de información sobre las emisiones per cápita en el país. El Banco Mundial (2018) cuenta con el indicador de emisiones de CO_2 (toneladas métricas per cápita) para la mayoría de países del mundo. En la Figura 11-4 se presentan los datos de las emisiones per cápita de Guatemala, para el periodo de 1990 a 2014[5].

Aunque los datos presentados por el Banco Mundial son menores a los datos obtenidos con la información nacional, se notan algunas tendencias similares, especialmente en el periodo 1990 a 2005, donde se observó que las emisiones per cápita se incrementaron de 0.55 a 0.96 tCO_{2-eq}. A partir de ese año, las emisiones han presentado una tendencia variada, así que, del 2006 a 2012 se observó una disminución de 0.94 a 0.78 tCO_{2-eq}; y del 2012 al 2014 se observó un fuerte incremento hasta llegar a 1.15 tCO_{2-eq}.

Otra información respecto a las emisiones per cápita es la generada por el proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones (CCS & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, 2018d). En este informe se establece que las emisiones per cápita al año 2015 se encontraban alrededor de seis toneladas de CO_{2-eq} y se espera que aumente a un valor superior a ocho toneladas de CO_{2-eq} per cápita al final del periodo de pronóstico de patrones actuales de comportamiento y acciones ya planificadas, sin hacer ninguna modificación o BAU (*business as usual*, por sus siglas en inglés) que corresponde al año 2050.

Como se puede observar, las tres fuentes de información, aunque varían significativamente entre sí, coinciden en mostrar que las emisiones per cápita de Guatemala aumentaron entre el periodo 1990 – 2005; y de acuerdo con los datos del proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, las emisiones de GEI seguirán al alza.

Esta información indica que el país ha estado emitiendo mayor cantidad de emisiones de GEI por cada nuevo individuo que se suma a la población; a pesar de que Guatemala es uno de los países de Latinoamérica con la mayor tasa de crecimiento poblacional observada, de 2.4 en el año 2005 y de 2.1 en el año 2014 (INE, 2015b).

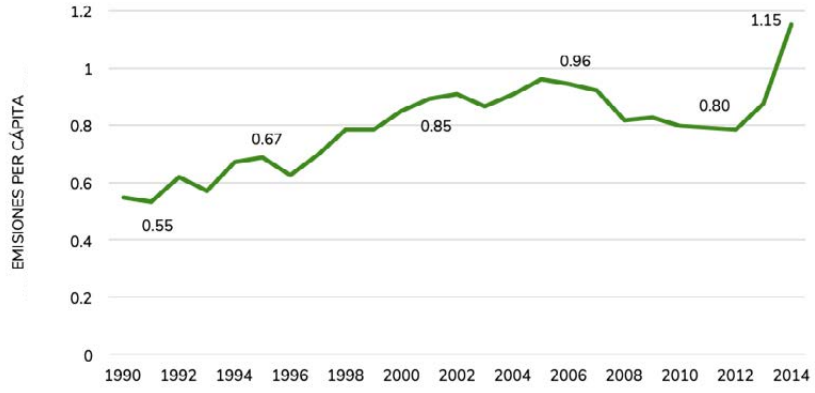


Figura 11-4 Emisiones per cápita de Guatemala, periodo 1990 – 2014. Las emisiones per cápita se expresan en toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_{2-eq}) por habitante. En el periodo 1990 a 2005 se observa un incremento y a partir de ese año las emisiones presentaron una tendencia variada disminuyendo en el periodo 2006 a 2012. Contrariamente para el periodo del 2012 al 2014 se observa un aumento considerable. Elaboración propia, basado en Banco Mundial (2018).

5 Favor notar que estas corresponden a emisiones brutas, ya que no consideran el balance por absorciones mostrado por MARN (2015).

11.3.2 Emisiones por producto interno bruto

Este indicador relaciona el PIB anual de un país y las emisiones de GEI totales, mostrando su nivel de eficiencia de la economía (en términos de crecimiento económico). El resultado de esta relación se presenta en toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ por cada millón de quetzales generados en la economía. Si un país presenta una menor relación entre ambas variables (que la misma tiene una tendencia decreciente), significa que emite menor cantidad de GEI por cada unidad de riqueza generada, o sea que es más eficiente en términos de mitigación y economía.

Con la información generada por el Banco Mundial para Guatemala (2018) se construyó una gráfica que relaciona la cantidad total de emisiones de GEI y el PIB del país para el periodo 1990 – 2014 (Figura 11-5).

La Figura 11-5 muestra la fuerte relación que existe entre el crecimiento económico de Guatemala y las emisiones de GEI. Esas emisiones aparecen con valores muy superiores al crecimiento de la economía en la última fase de este periodo, lo que indica la fuerte dependencia de nuestra economía en las actividades que generan fuertes cantidades de GEI. Estos datos muestran la urgente necesidad de «descarbonizar» el crecimiento económico del país.

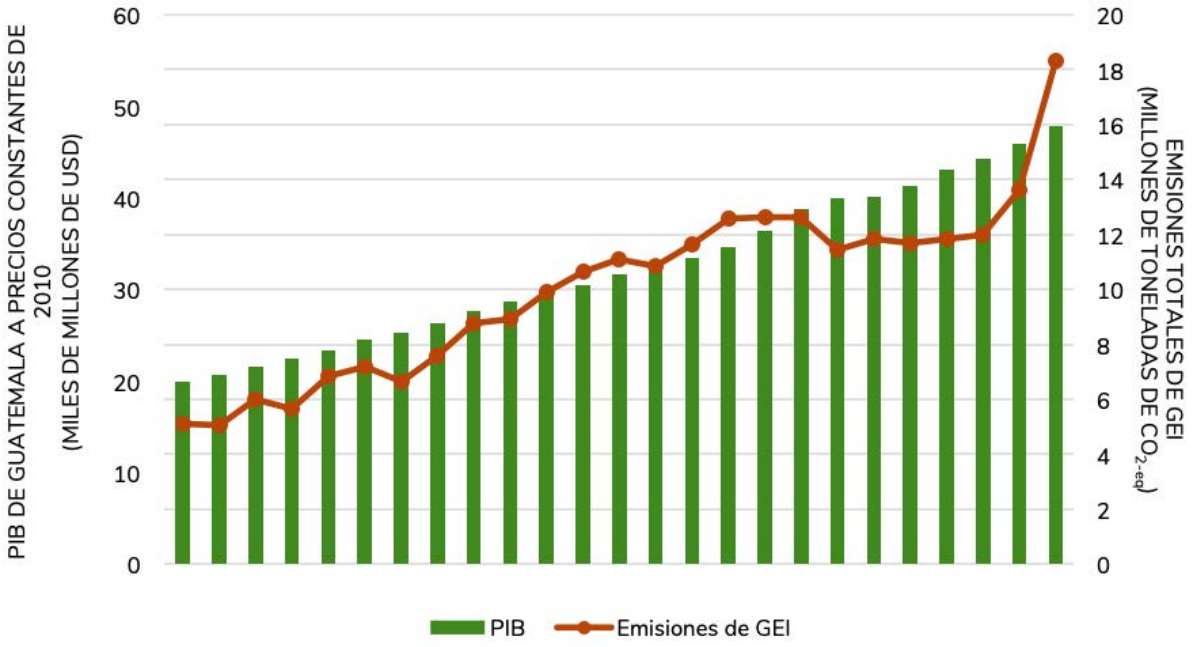


Figura 11-5 Emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) y producto interno bruto (PIB) de Guatemala para el periodo 1990 - 2014. Las emisiones se expresan en millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-eq}}$, eje y derecho) y aparecen con valores muy superiores al crecimiento de la economía (expresada en miles de millones de USD a precios constantes de 2010, eje y izquierdo) en la última fase de este periodo. Elaboración propia, basado en Banco Mundial (2018).

11.4 Comportamiento de las principales actividades generadoras de GEI

Tomando en cuenta que Guatemala no cuenta con información de inventarios nacionales de GEI actualizados a la fecha de la elaboración de este reporte[6], es difícil analizar el comportamiento y definir la tendencia de las emisiones de GEI en el país. Con la finalidad de comprender cómo ha sido el comportamiento de las emisiones y establecer una tendencia a mediano plazo, se analizó el comportamiento de las principales actividades generadoras de emisiones de GEI descritas a continuación.

11.4.1 Sector de la energía

Como se indicó en el apartado *11.1.2 Análisis de las categorías principales de emisión*, la quema de combustibles es una de las principales fuentes de emisión de GEI en el país. En esta categoría se incluye el combustible que se emplea para el transporte (personas, mercancías y productos), para la generación eléctrica, en la industria manufacturera y de la construcción, y en otros usos generales. Esto se debe principalmente al incremento de la demanda de energía eléctrica y al aumento del parque vehicular y de consumo de combustibles.

11.4.1.1 Subsector de la energía

Las emisiones de GEI en este subsector ocurren durante la combustión o quema de los combustibles, proceso en el cual el carbono y el hidrógeno de los combustibles fósiles se convierten principalmente en dióxido de carbono y agua, y se libera la energía química del combustible en forma de calor (IPCC, 2006). Dentro de este análisis, únicamente se tomaron en consideración las categorías principales identificadas para este subsector, que incluyen las emisiones asociadas a la generación y consumo de energía eléctrica y al consumo de combustibles para las actividades de transporte de personas, productos y mercancías.

11.4.1.1.1 Emisiones por la generación de energía eléctrica

En Guatemala se ha incrementado la oferta de generación de energía eléctrica, con la finalidad de abastecer la creciente demanda que se tiene, tanto en el segmento residencial como en el industrial, incluyendo la exportación de energía a través del Sistema de Interconexión Eléctrica para Países de América Central (SIEPAC) (Figura 11-6).

La Figura 11-6 muestra que el crecimiento de la producción de energía eléctrica por medio del Sistema Nacional Integrado (SNI), incluyendo los valores de las importaciones, ha crecido en promedio 6 % por año. Esto es motivado por la fuerte demanda y consumo de energía que se tiene en el país, incluyendo las exportaciones de energía. Uno de los principales factores que ha incidido en el aumento del consumo de la energía eléctrica en Guatemala es el incremento de la electrificación de los hogares. En el periodo de 1996 a 2006, el índice de electrificación aumentó de un 60 % a 92 % (CNEE, 2017).

Para abastecer la demanda, en Guatemala se ha continuado con las inversiones en el sector de generación de energía eléctrica. Entre el periodo 2012-2016, el parque generador creció anualmente 7 % en promedio, variando de 5 % entre 2014-2015 hasta 10 % entre 2015-2016. A pesar de este crecimiento, la relación de la matriz de generación que emplea energías renovables (66 %) versus la que emplea energías no renovables (34 %) se ha mantenido con pocas variaciones para el periodo 2012-2016 (Figura 11-7).

El total de la generación de energía empleando recursos no renovables aumentó de 3056 GWh generados en 2012 a 4026 GWh en 2016, lo que representa un crecimiento medio anual de 8 %. La matriz de generación de energía eléctrica empleando fuentes no renovables se ha modificado en la última década. El consumo de *bunker* C (*fuel oil*) se redujo en un 44 % entre el 2012-2016, y el carbón mineral aumentó en 102 % en el mismo periodo. En el año 2012, la matriz energética de la producción empleando carbón era de 1295 GWh (42 % del total de la energía generada con fuentes

6 Con excepción de los inventarios nacionales del sector de la energía. El MEM ha generado y publicado inventarios del sector de la energía hasta el año 2017.

no renovables); y en 2016, esta subió a 2624 GWh (65 % del total de la energía generada con fuentes no renovables) (Figura 11-7).

El incremento de la cantidad de las emisiones de GEI por el uso del carbón se debe a su alto coeficiente de emisión[7] (Figura 11-8) y a la reducción de los precios internacionales del carbón mineral, lo que ha permitido reducir el monto de los costos variables de generación de las plantas generadoras de energía eléctrica. Las emisiones en el año 2005, en el rubro de generación eléctrica, aumentaron de 2.77 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ para el año 2005 (MARN, 2015) a 6.07 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ para el 2016 (MEM, 2017), lo que representa un incremento promedio anual de 11 % del total de emisiones.

Otras categorías dentro del subsector de la energía también mostraron incrementos en las emisiones de GEI. La categoría de la industria manufacturera y de la construcción pasó de generar emisiones por 1751 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ en el año 2005 (MARN, 2015) a 2051 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ en el 2016 (MEM, 2017), lo que equivale a un incremento promedio anual de 2 % del total de emisiones.

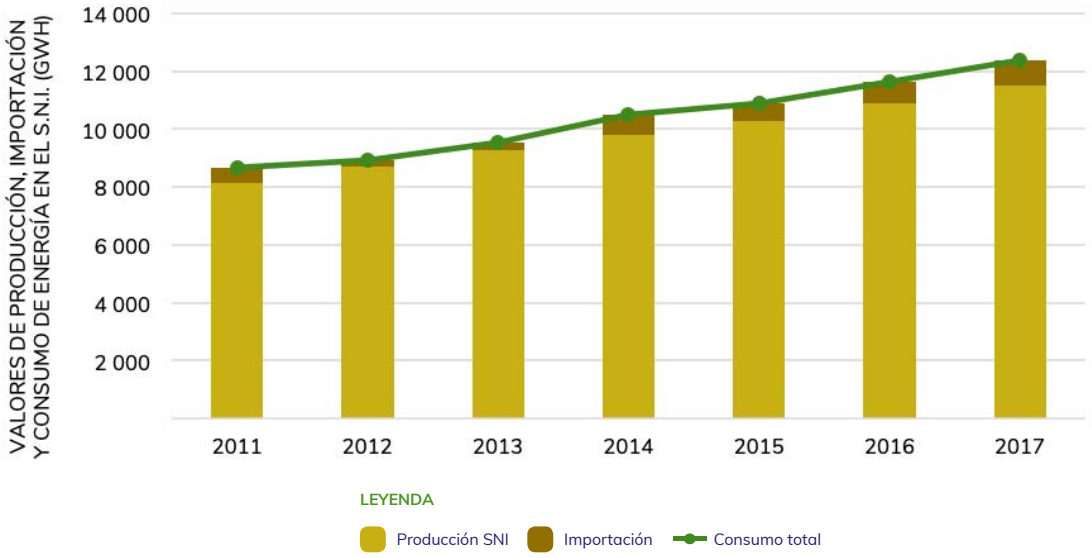


Figura 11-6 Evolución de la oferta y consumo de energía eléctrica de Guatemala para el periodo 2011-2017. El crecimiento de la producción de energía eléctrica por medio del Sistema Nacional Integrado (SNI, expresado en gigavatios por hora [GWh]) se ha dado en promedio de 6 % por año. Elaboración propia, basado en MEM (2018c).

7 Relación entre el total de emisiones de GEI por cada tipo de combustible, expresadas en $CO_{2\text{-eq}}$, y su relación con la generación eléctrica total producida por cada combustible. El carbón posee un valor de 1.26 miles de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ por cada kilovatio hora (KWh) generado, que supera en 69 % a las emisiones que se generan por medio de *bunker* C (*fuel oil*) cuyo coeficiente de emisión es de 0.74 miles de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$/ KWh (MEM, 2018a).

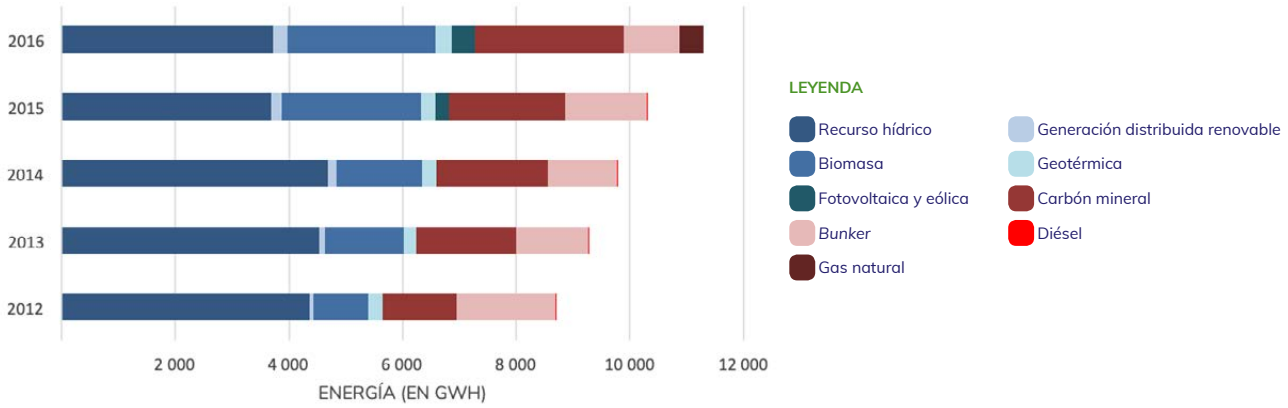


Figura 11-7 Matriz energética de la producción para el periodo 2012-2016. El eje x está expresado en gigavatios por hora (GWh). Las tonalidades de corinto representan las energías no renovables mientras las azules las energías renovables. La «generación distribuida renovable» es una modalidad de generación de electricidad, producida por unidades de tecnologías de generación con recursos renovables, conectadas a las instalaciones de distribución con aportes de potencia netos menores o iguales a cinco megavatios (5 MW). Elaboración propia, basado en CNEE (2017).

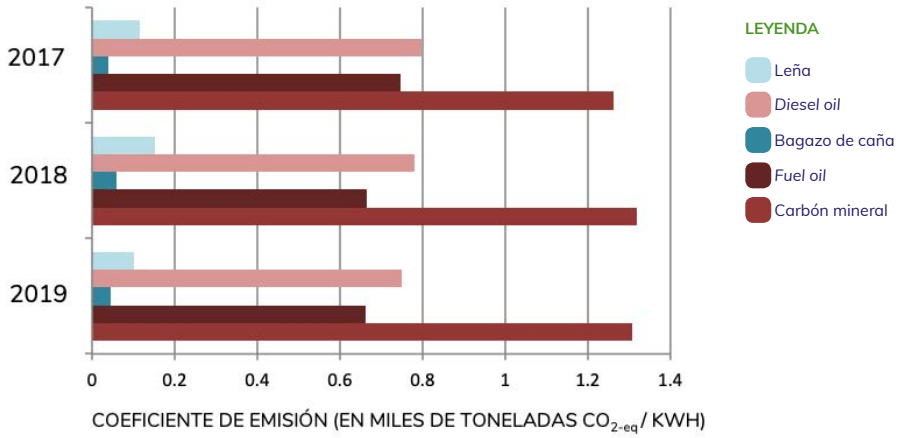


Figura 11-8 Coeficientes de emisión de GEI por tipo de fuente de generación empleada para el periodo 2015-2017. El coeficiente de emisión (eje x) equivale a giga gramos (miles de toneladas) de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-}eq}$) por kilovatio hora (KWh). Las tonalidades de corinto representan las energías no renovables mientras las azules las energías renovables. Elaboración propia, basado en MEM (2018b).

11.4.1.2 Subsector de transporte

Las fuentes móviles producen emisiones de gases directos de efecto invernadero de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso procedentes de la quema de diversos tipos de combustible; así como varios otros contaminantes como el monóxido de carbono, los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano, el dióxido de azufre, la materia particulada (PM) y los óxidos de nitrato, los cuales causan o contribuyen a la contaminación del aire local o regional (Waldron et al., 2006).

En Guatemala se ha observado un incremento sostenido de las emisiones de GEI en el subsector del transporte pasando de 6.01 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ en el año 2005 (MARN, 2015) a 9.23 millones de $tCO_{2\text{-eq}}$ en el 2016 (MEM, 2017), lo que representa un incremento promedio anual de 5 % del total de emisiones. Esto se debe principalmente al aumento del parque vehicular en el país y al incremento en la demanda y consumo de combustible para este fin. De acuerdo con los reportes de la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT, 2018), el parque vehicular en Guatemala aumentó de 1.08 millones de unidades al mes de diciembre de 2005 a 3.38 millones de unidades al mes de diciembre de 2017 (Figura 11-9).

De acuerdo con la información del año 2017, el 38 % del parque vehicular correspondía a motocicletas; seguido por los automóviles (22 %); los tipo *pick-up* (17 %); y las camionetas, camionetillas y tipo panel (13 %); mientras que el restante 10 % corresponde a otro tipo de vehículos (SAT, 2018).

El segundo factor que tiene incidencia directa con las emisiones de GEI de este subsector está relacionado con el consumo de combustibles. En la Figura 11-10 se muestra la serie del consumo de combustibles relacionados con el subsector de transporte (gasolina superior, gasolina regular y diésel) en el periodo 2000-2016 (MEM, 2018b).

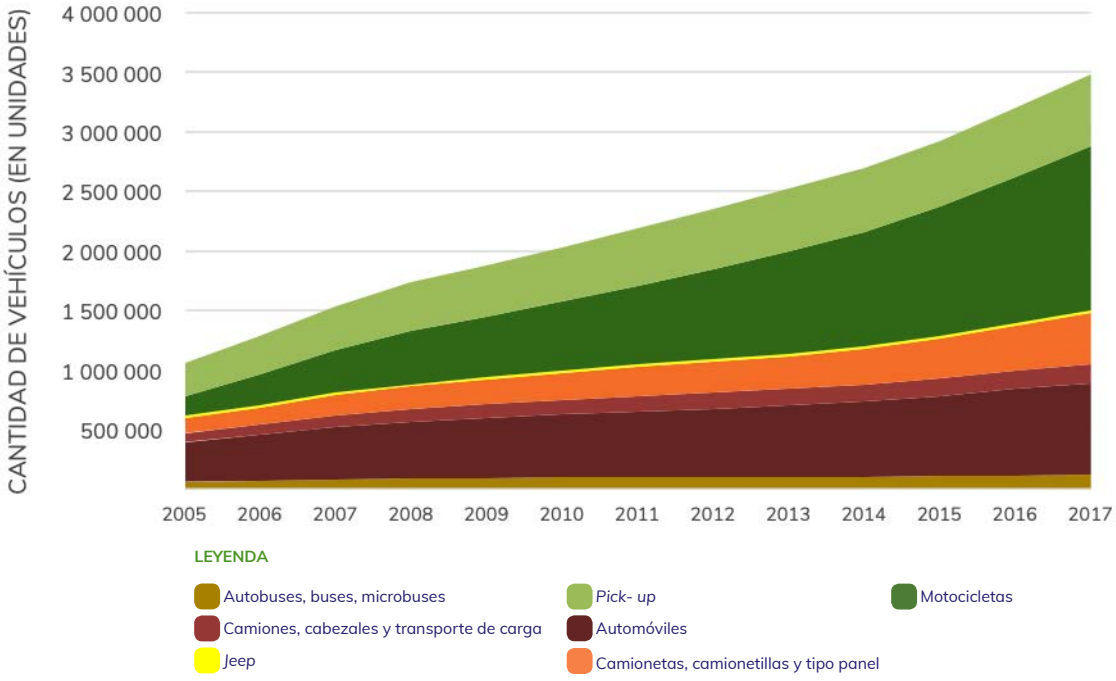


Figura 11-9 Evolución del parque vehicular en Guatemala para el periodo 2005-2017. Los valores en el eje y se expresan en unidades de vehículos. En el eje x se muestran los datos para diciembre de cada año desde el 2005 al 2017. El parque vehicular en Guatemala aumentó de 1.08 millones de unidades al mes de diciembre de 2005 a 3.38 millones de unidades al mes de diciembre de 2017. Elaboración propia, basado en SAT (2018).

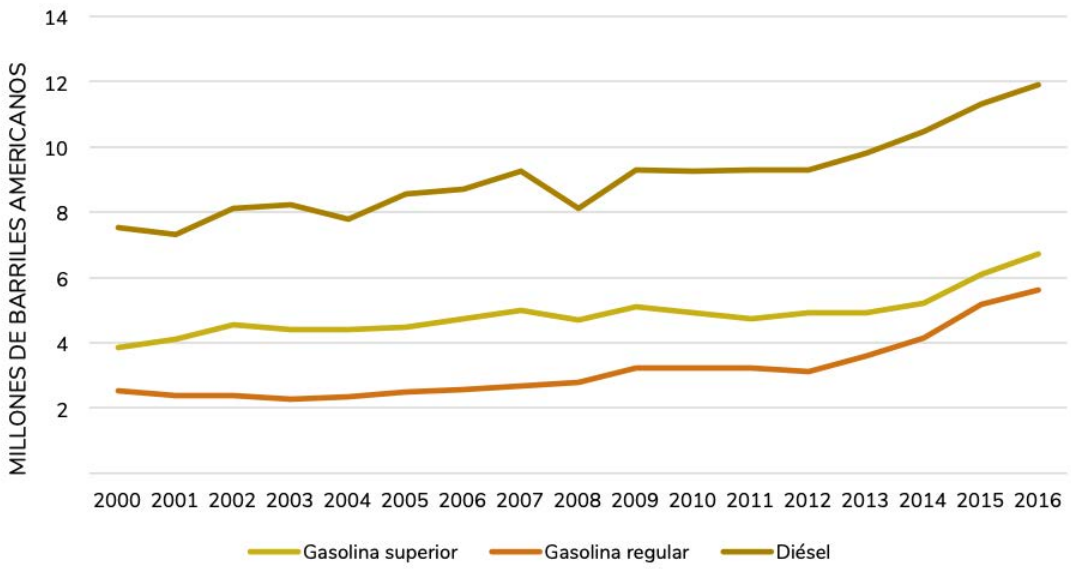


Figura 11-10 Evolución del consumo de combustibles relacionados con el sector transporte de personas, productos y mercancías para el periodo 2000-2016. El consumo de combustibles se expresa en millones de barriles americanos, mostrando un leve incremento. Elaboración propia, basado en MEM (2018b).

El consumo de los diferentes tipos de combustibles ha presentado variaciones en el periodo indicado. El consumo de la gasolina regular se mantuvo relativamente estable entre el 2000 y 2008, en alrededor de los 2.5 millones de barriles americanos[8], incrementándose a aproximadamente 3.2 millones de barriles en el periodo 2009-2012. A partir del 2013, el consumo se incrementó, pasando de 3.6 millones para ese año a 5.6 millones en el 2016 (MEM, 2018b). La gasolina superior ha tenido un consumo más estable; entre el 2002 y 2013 el consumo se encontró alrededor de los 4.7 millones de barriles; en el 2014 se incrementó a 5.2 millones, en el 2015 a 6.1 millones y en el 2016 a 6.7 millones de barriles.

En el caso de diésel, el comportamiento ha sido diferente. Entre el 2000 y 2007 se observó una variación de 7.5 a 9.2 millones de barriles; entre el 2009 y 2012 el consumo se mantuvo estable alrededor de los 9.3 millones de barriles. A partir de ese periodo, el consumo de diésel se incrementó fuertemente, pasando de 9.8 millones en el 2013, 10.5 millones en el 2014, 11.3 millones en 2015 a 11.9 millones de barriles en el 2016 (MEM, 2018b).

Según esta información se puede asumir que las emisiones en el subsector del transporte habrán aumentado con estas tendencias, considerando que el mayor volumen consumido corresponde al combustible diésel y seguido de la gasolina superior, por tanto, se estima que la tendencia del incremento de las emisiones estará en este orden.

8 Unidad de medida de los combustibles que corresponde a 42 galones americanos y equivale a 159 litros aproximadamente.

11.4.2 Sector de los procesos industriales

Dentro de este sector, las emisiones de GEI pueden producirse por dos vías: i) por los procesos físicos o químicos que se dan en las industrias, y ii) por el consumo energético que se requiere para desarrollar estos procesos. De acuerdo con las metodologías para la elaboración de inventarios nacionales de GEI (IPCC, 2006), las emisiones por el consumo energético se deben reportar en el sector de la energía, razón por la que no se describen en este apartado.

Las principales fuentes de emisión que se reportan dentro del sector de los procesos industriales transforman materias por medios químicos o físicos, con lo que se pueden producir una gran variedad de gases, como el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) (IPCC, 2006). En Guatemala, el subsector que genera la mayor cantidad de emisiones de GEI corresponde a las emisiones de la industria de los minerales.

11.4.2.1 Subsector de la industria de los minerales

Las metodologías del IPCC se basan principalmente en la estimación de las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con los procesos que resultan del uso de materias primas carbonatadas en la producción y el uso de una variedad de productos minerales industriales. Existen dos grandes vías para la liberación de dióxido de carbono a partir de los carbonatos, estas son la calcinación y la liberación de dióxido de carbono inducida por ácidos. El principal proceso que conduce a la liberación de dióxido de carbono es la calcinación de compuestos carbonatados, durante la cual se forma óxido metálico mediante la aplicación de calor (IPCC, 2006).

Aunque los procesos principales a través del cual se liberan emisiones por calcinación son similares, las metodologías propuestas por el IPCC sugieren centrarse en tres procesos principales, ya que sus contribuciones mundiales relativas son importantes; estas categorías de fuente son (IPCC, 2006): la producción de cemento, de cal y de vidrio.

11.4.2.1.1 Producción de cemento y cal

La información de los inventarios de Guatemala indica que las emisiones de GEI por la producción de cemento han aumentado de 0.40 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ en 1990, 0.61 millones de $tCO_{2\text{-eq}}$ en 1994, 0.79 millones de $tCO_{2\text{-eq}}$ en el año 2000 a 1.4 millones de $tCO_{2\text{-eq}}$ en el año 2005. No se cuenta con información de las emisiones de GEI actualizada. Considerando que en el país existe la Ley del Impuesto Específico a la Distribución de Cemento (Decreto 79-2000, 2000), es posible obtener información estadística de este rubro. La ley referida anteriormente establece que dicho impuesto es recaudado por la SAT y se reporta por medio del Boletín Estadístico que la SAT actualiza mensualmente (SAT, 2018). En este informe, la SAT hace una distinción entre el cemento que es producido nacionalmente y el que es importado; dicha información se presenta a partir del año 2005.

Con la finalidad de conocer cómo ha sido el comportamiento de la producción de cemento en Guatemala (y de allí estimar la cantidad de clínker producido) se relacionaron dos fuentes de información: i) las estadísticas de producción de clínker de la empresa Cementos Progreso que fueron utilizados para la elaboración del inventario nacional de GEI del 2005 (López, 2009), y ii) las estadísticas del cemento distribuido a nivel nacional, generadas por la SAT[9] (2018) (Figura 11-11).

Esta información muestra la evolución histórica de la producción de clínker en Guatemala. Se puede inferir que la producción nacional de clínker entre el periodo de 2005 a 2017 se ha mantenido relativamente estable, aunque debe considerarse que la Figura 11-11 posee información de dos fuentes. Esto haría suponer que las emisiones de GEI asociadas a esta actividad se mantendrán en un nivel relativamente similar al observado en el año 2005.

9 Con base en la información generada por la SAT se infirió la cantidad de clínker producido en el país.

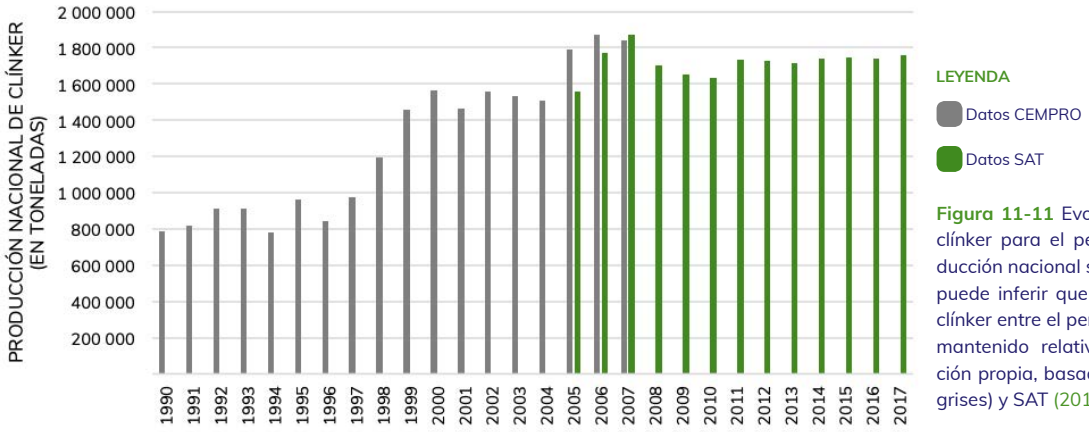


Figura 11-11 Evolución de la producción de clínker para el periodo 1990-2017. La producción nacional se expresa en toneladas. Se puede inferir que la producción nacional de clínker entre el periodo de 2005 a 2017 se ha mantenido relativamente estable. Elaboración propia, basado en López (2009) (barras grises) y SAT (2018) (barras verdes).

11.4.3 Sector de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra

Este sector analiza todas las emisiones derivadas de los diferentes usos de la tierra y de los cambios en uso que se observan en el territorio nacional. También se incluyen emisiones de procesos de producción pecuaria y emisiones de otros gases diferentes del dióxido de carbono por procesos agrícolas. Según datos al 2005, publicados en la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático, es el sector que más aporta emisiones de GEI en el país, correspondientes al 52 % (MARN, 2015). Esto se debe a que gran parte de la población económicamente activa trabaja en agricultura y ganadería, lo que se refleja en que aproximadamente el 35 % del uso de la tierra a nivel nacional corresponde a estos usos (GIMBUT, 2014). Además, los estudios que identifican las principales causas y agentes de la deforestación en Guatemala sugieren que son la agricultura y la ganadería las que principalmente han ido sustituyendo las superficies con bosque en el país (GCI, 2018).

Los inventarios en este sector presentan dos opciones metodológicas aprobadas por el IPCC. Guatemala ha usado la opción más antigua, la metodología de 1996 donde la agricultura y la silvicultura son sectores que se deben analizar por separado en los inventarios publicados (IPCC, 1997). En la metodología más reciente de 2006, estos dos sectores se vuelven subsectores que se deben analizar conjuntamente (IPCC, 2006). La recomendación de la CMNUCC es que todos los países busquen moverse a la metodología de 2006 que está en proceso de mejora, de la cual saldrá una publicación en 2019. Bajo estas nuevas guías metodológicas, este sector presenta tres grandes categorías: i) ganado; ii) tierras (tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, humedales, asentamientos y otras tierras); y iii) fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 en la tierra (agricultura). Dado que los inventarios de Guatemala han sido realizados con las guías de 1996, esta discusión se hará siguiendo la división antigua de ganadería, agricultura y silvicultura.

Este sector presenta bastantes complejidades al momento de hacer los inventarios de emisiones, especialmente porque necesita tener información geográfica sobre la cobertura forestal y el uso de la tierra en al menos dos fechas, información detallada sobre áreas cultivadas con diferentes cultivos y niveles de degradación de los distintos tipos de bosque, así como el número de cabezas de ganado a nivel nacional. Al no contarse con suficiente información, ni con los factores de emisión específicos para estas actividades, la metodología debe estimar las hectáreas deforestadas, las toneladas de fertilizantes nitrogenados aplicados al suelo, y el número de cabezas de ganado, por ejemplo. Asimismo, para los factores de emisión debe utilizar valores por defecto establecidos a nivel mundial, con el consecuente error en la estimación.

Debido a la limitación de información disponible al momento de hacer los inventarios nacionales, los resultados reportados para este sector presentan importantes limitaciones. Por ejemplo, todo el esfuerzo reciente de mapeo de uso de la tierra por el Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra (GIMBUT) no estaba disponible al momento de realizar los cuatro inventarios incluidos en las dos

comunicaciones nacionales publicadas. Los datos derivados de sensores remotos tampoco han podido ser validados en un inventario nacional forestal o de uso de la tierra en años recientes. Debido a esto, las revisiones externas de los inventarios han concluido en la necesidad de mejorar sustancialmente la información a utilizar en los inventarios de este sector (Tetra Tech & FCMC USAID, 2013). Actualmente, se han iniciado esfuerzos para elaborar la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, en la cual se espera que los inventarios anteriores sean actualizados y mejorados, tomando en cuenta la información generada por el GIMBUT.

11.4.3.1 Subsector de la ganadería

La ganadería se realiza en todo el país y se refiere mayoritariamente a la producción de ganado bovino, porcino, caprino y ovino, y aves. Según el IV Censo Nacional Agropecuario (CNA) (INE, 2003b), la superficie total de fincas censales es de 37 143.8 km^2, equivalente al 34 % del territorio nacional. De esta superficie, 8980 km^2 corresponden a uso de la tierra con pastos. De acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) para 2014 (INE, 2015a), el 60 % es pasto natural, el 26 % es pasto cultivado y el 14 % es bosque con pasto. Cinco departamentos sobresalen por el alto porcentaje de superficie territorial en fincas: Escuintla (79 %), Retalhuleu (66 %), Santa Rosa (60 %), Suchitepéquez (59 %) y Alta Verapaz (51 %). Sin embargo, en cuanto a número de cabezas de ganado, el departamento con el mayor porcentaje es Petén (18 %), seguido de Escuintla (13 %) e Izabal (9 %). La producción avícola ha crecido en los últimos años y se concentra en el Altiplano y en los alrededores del departamento de Guatemala (Barrera, 2015).

Las principales emisiones causadas por la actividad ganadera son las del gas metano, el cual es emitido en gran medida por la fermentación entérica o proceso digestivo de los animales, y el proceso de descomposición anaeróbica en el estiércol cuando este es almacenado. En el caso específico de la producción avícola, esta genera concentraciones de gallinaza que contribuyen con las emisiones de metano (CNCC, 2016).

Es importante considerar que el cálculo de las emisiones de GEI con las que cuenta el país, producidas por estas actividades, presenta bastante incertidumbre, debido a la falta de datos a nivel nacional acerca del número de cabezas de ganado existentes.

Con base en los datos del IV CNA (INE, 2003b), así como de la ENA (INE, 2014) y la base de datos FAOSTAT (Food and agriculture data) (FAO, 2017) se presenta el Cuadro 11-4 que muestra la tendencia al incremento en el número de cabezas de ganado en el país para el comparativo de los años 1964, 2005 y 2016.

Según Castellanos, Thomas y Dunston (2018), el análisis de las tendencias de ganado con datos de FAOSTAT indica que hubo un constante incremento para el periodo de 1990 a 2012. La población de ganado vacuno se duplicó durante ese periodo y la población de ganado porcino se incrementó drásticamente del 2000 al 2005, llegándose a triplicar la población existente en 1990. En el caso de la población ovina, hubo una reducción entre 1996 y el 2000, pero luego se dio un incremento fuerte entre 2001 y 2008.

Los datos de FAOSTAT sobreestiman los datos presentados en el censo y la ENA (a excepción del número estimado de aves), pero las tendencias son similares. El incremento en el número de cabezas de ganado, por su relación directa con las emisiones de metano, implica un aumento de estas, lo cual es corroborado por los datos de los inventarios de GEI con los que cuenta el país. Los inventarios muestran que las emisiones de metano a causa de la fermentación entérica presentan un crecimiento del 23 % desde el año 1990 al 2005 (MARN, 2015).

De la misma manera, el manejo del estiércol para 2005 expone un crecimiento de emisiones de metano a la atmósfera de un 76 % respecto al año 1994 (CNCC, 2016) (Cuadro 11-5). Los datos de 1990 y 2000 para manejo de estiércol presentan un comportamiento errático debido a la alta incertidumbre del dato oficial de actividad (MARN, 2015).

Cuadro 11-4 Incremento en el número de cabezas de ganado según dos fuentes distintas de información

Cabezas de ganado	INE			FAOSTAT			
	1964	2005	INC	1964	2005	INC	2016
Bovino	1 111 325	2 453 019	121	1 300 000	2 601 300	100	3 768 400
Equino	193 515			226 875	226 875	0	226 875
Caprino	83 576	64 790	-22	85 000	110 100	30	113 800
Ovino	536 543	834 326	56	748 300	494 000	-34	589 300
Porcino	239 368	2 001 175	736	628 000	3 107 500	395	2 875 900
Aves	4 140 145	26 842 169	548	7840	32 700	317	36 044

Nota: La primera columna muestra los diferentes tipos de ganado considerados. Las columnas denominadas «INC» muestran el incremento de cabezas de ganado para el periodo de 1964 a 2005 medido en porcentaje para las dos fuentes de información. INE = Instituto Nacional de Estadística; FAOSTAT = Food and agriculture data. Elaboración propia, basado en INE (2003b, 2005) y FAO (2017).

Cuadro 11-5 Emisiones de las categorías de fermentación entérica y manejo del estiércol del subsector ganadero para los años 1990, 1994, 2000 y 2005

	1990	1994	2000	2005
Fermentación entérica	2.25	2.10	2.22	3.00
Manejo del estiércol	2.12	0.19	1.17	0.33

Nota: Valores expresados en millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_{2-eq}). Elaboración propia, basado en MARN (2015).

De acuerdo con las proyecciones de emisiones a futuro realizadas por el proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones (2018a) en cuanto al subsector ganadero, se espera un incremento en la producción de la actividad ganadera en general (Figura 11-12). Cabe mencionar, que al igual que la base de datos FAOSTAT, los datos de número de cabezas de ganado estimadas por este proyecto sobrestiman los datos de los censos y las ENA.

De acuerdo con estas proyecciones y las tendencias de los datos de número de cabezas de ganado y emisiones presentadas anteriormente, se esperaría que las emisiones de GEI en este subsector se incrementen en la misma proporción a futuro.

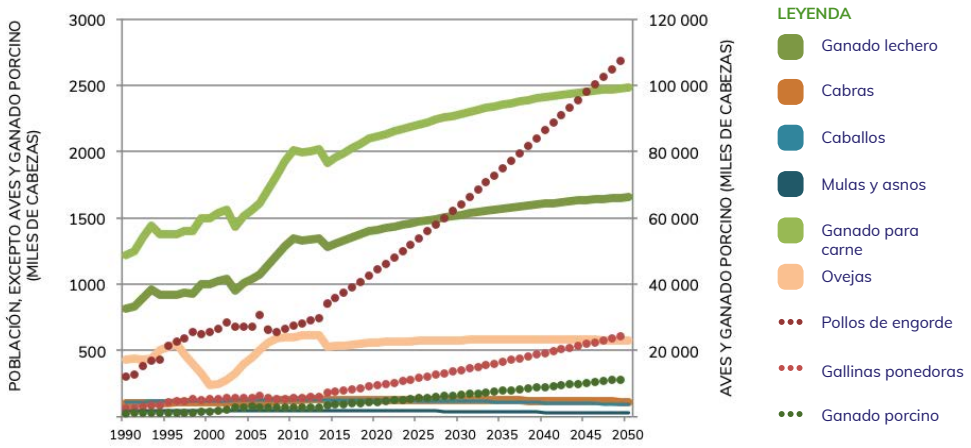


Figura 11-12 Proyección de la población de ganado para el año 2050 en Guatemala. En el eje y de la derecha se muestra la escala para el número en miles de aves y ganado porcino (líneas punteadas) mientras que en el eje izquierdo se muestra la escala para el número en miles de cabezas del resto de animales. Adaptado de CCS y Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones (2018d).

11.4.3.2 Subsector de la agricultura: fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2

El subsector agrícola de Guatemala se divide en tres categorías: i) subsistencia, el cual básicamente produce maíz, frijol, hortalizas y papa; ii) comercial, que es el que abastece a todos los mercados locales; y iii) de exportación que produce café, banano, caña de azúcar, algodón, ajonjolí, cardamomo, palma de aceite, hule, plantas ornamentales, frutas, entre otros (Robles, 2012).

En cuanto a los cultivos temporales, según la ENA de 2015, el cultivo del maíz es el que más superficie abarca en el país con 725 000 ha, le sigue el frijol con 80 000 hectáreas, el cultivo de hortalizas con 19 000 hectáreas, y otros cultivos anuales abarcan una superficie de 48 000 ha, dentro de los que se encuentra el arroz cultivado en una superficie de 9618 ha (INE, 2016b).

De los cultivos permanentes, el café es el de mayor extensión con 390 000 ha cultivadas, le sigue la caña con 314 000 hectáreas, la palma de aceite con 164 000 ha, el hule con 130 000 ha y finalmente el cardamomo con 51 000 ha (INE, 2016b).

Muchas de estas actividades son generadoras de GEI, específicamente óxido nitroso, el cual tiene un poder de calentamiento 310 veces mayor al del dióxido de carbono. Las emisiones de este subsector se dan principalmente por el manejo de los suelos agrícolas, debido en gran parte al uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos u orgánicos. Asimismo, las rozas en la agricultura de subsistencia, la quema de pastos para su manejo y la quema de residuos agrícolas en el campo, también contribuyen con estas emisiones, aunque en menor medida. En el caso específico de la quema de residuos agrícolas como tallos, pastos, hojas y cáscaras, con el objetivo de limpiar, podar y despejar zonas de cultivo, liberar nutrientes y eliminar plagas, se ha notado que es una práctica que va en crecimiento a medida que avanza la frontera agrícola, debido a que es una manera fácil y económica de reducir recursos orgánicos derivados de la producción agrícola (CNCC, 2016). Por su parte, el cultivo del arroz bajo inundación permanente o temporal, ubicado mayormente en los departamentos de Petén, Jutiapa, Izabal, San Marcos y Alta Verapaz (Cardona & Lee, 2000), es generador de metano, cuyo poder de calentamiento es 21 veces mayor al del dióxido de carbono. Sin embargo, las emisiones provenientes de este cultivo se dan en bajas cantidades, debido a las pequeñas extensiones en donde este se cultiva en el país.

Es importante mencionar que, de acuerdo con la metodología del IPCC (1997), existe una emisión neta cero de dióxido de carbono en las actividades agrícolas anuales; ya que, aunque se producen emisiones en la quema de residuos agrícolas en el campo y durante las rozas, estas son nuevamente fijadas durante el periodo de crecimiento de la siguiente cosecha, produciéndose un balance cero (MARN, 2001).

Sin embargo, existe una fuente de emisiones de dióxido de carbono en el subsector agrícola que no es aún contabilizada en las metodologías de inventarios del IPCC, pero que es importante mencionar. Esta fuente está relacionada con la práctica del arado y la mecanización agrícola, las cuales conducen a un proceso de degradación de los suelos, generando grandes pérdidas en los sumideros de carbono por aumento en la oxidación y erosión, lo que causa que este carbono se convierta en dióxido de carbono. La disminución del carbono almacenado en el suelo se da entonces cuando se realiza esta agricultura con laboreo. Los diferentes estudios han mostrado que la disminución de carbono bajo laboreo es más rápida durante los primeros años de uso agrícola y luego se hace más lenta, tendiendo a un equilibrio. En ese momento, el nivel de carbono podrá estar entre el 40 y 75 % del que existía originalmente (Salvo & Bayer, 2014). Es importante notar que además de las emisiones provenientes de la erosión, la degradación que sufre el suelo lleva a incrementar el uso de fertilizantes y provoca además reducciones en la productividad de las cosechas; esto conlleva la necesidad de encontrar nuevas tierras con mayor fertilidad, contribuyendo con el avance de la frontera agrícola y, por tanto, con las emisiones asociadas al subsector de cambio de uso del suelo.

Con relación a todo lo anterior, se puede decir que la categoría emisora que ha sido dominante en el

subsector de la agricultura, por su aporte a las emisiones de óxido nitroso, es el manejo de los suelos agrícolas. Sin embargo, el cálculo de las emisiones de GEI con las que cuenta el país para esta actividad presenta bastante incertidumbre, debido a los vacíos de información sobre el uso de fertilizantes nitrogenados en el país.

Las emisiones del subsector agrícola se pueden asociar al área cultivada de los cultivos temporales y permanentes en el país. Con base en los datos del CNA para el año 1964 (INE, 2004), así como de la ENA para los años 2005 y 2015 (INE, 2015a, 2016b), y la base de datos FAOSTAT para los años 1964, 2005 y 2015 (FAO, 2017), se presenta el Cuadro 11-6 que muestra los datos de superficie cultivada para los cultivos anuales o temporales y los cultivos permanentes más importantes a nivel nacional, desde el punto de vista de la superficie total cultivada.

El área con cultivos, tanto temporales como permanentes, ha mostrado una tendencia al incremento a lo largo de los años (a excepción del frijol, según FAO [2017]), especialmente en el caso del maíz, papa, café, caña de azúcar y palma de aceite, incrementándose en un 133 % de 1950 a 2015 (INE, 2003b, 2016b). Sin embargo, al analizar los datos de todos los años a partir de 1950, es evidente que se presentan datos de superficie con mucha variación entre los periodos interanuales para algunos cultivos, esto se debe a que en algunos años las encuestas tomaron una muestra de fincas considerablemente menor o mayor.

Cuadro 11-6 Superficie cultivada para los principales cultivos del país en el periodo 1964 al 2015

Cultivo	INE				FAOSTAT			
	1964	2005	2015	INC	1964	2005	2015	INC
Maíz	698 000	589 030	876 625	26	530 129	836 334	725 000	37
Frijol negro	92 000	218 405	252 930	175	84 369	134 298	80 000	-5
Café	237 000	247 339	269 424	14	206 320	319 019	390 000	89
Caña de azúcar	35 900	184 928	267 887	646	38 456	262 133	314 000	717
Banano	21 000	39 488	75 061	257	6700	19 991		
Ajonjolí					795	69 098		
Papa					3737	12 177	9000	141
Cardamomo						40 914	51 000	
Palma de aceite						28 565	164 000	

Nota: La primera columna muestra los diferentes tipos de cultivos considerados. Los datos están expresados en hectáreas. Las columnas «INC» muestran el incremento (en porcentaje) del área cultivada desde el año 1964 al 2015. INE = Instituto Nacional de Estadística; FAOSTAT = Food and agriculture data. Elaboración propia, basado en INE (2003b, 2016b) y FAO (2017).

El estudio realizado por Castellanos et al. (2018) concuerda con lo anterior, ya que afirma que las áreas plantadas con maíz han crecido modestamente en el país; que la caña de azúcar se ha expandido rápidamente; que el cultivo del banano, después del 2004, se triplicó; y el de frijol se duplicó, pero luego disminuye.

Aunque los datos de superficie cultivada de la base de datos FAOSTAT (FAO, 2017) muestran una tendencia similar al incremento de las áreas cultivadas a nivel nacional (Cuadro 11-6), cabe notar que al analizar los datos puntuales y no las tendencias, las bases de datos de FAOSTAT, en su mayoría, sobreestiman las superficies de cultivo, en comparación con los datos oficiales del país, publicados en los censos y las encuestas nacionales agropecuarias. Un ejemplo de la diferencia de los datos nacionales con los de FAOSTAT se da con el frijol, ya que FAOSTAT muestra una sobreestimación del 216 % con respecto a la ENA del 2015 (INE, 2016b), en relación con la superficie cultivada.

En adición a las tendencias sobre el incremento de la superficie cultivada en el país, que pueden relacionarse de manera indirecta con el comportamiento de las emisiones, la Figura 11-13 muestra las importaciones de fertilizantes nitrogenados en Guatemala para los años de 2002 a 2016 según la base de datos FAOSTAT, lo que se correlaciona con el uso de fertilizantes y, por lo tanto, con las emisiones de óxido nitroso por manejo de los suelos agrícolas. Se puede observar un claro incremento en las importaciones de fertilizantes nitrogenados del 100 %, lo que sugiere que las emisiones se están comportando de la misma manera.

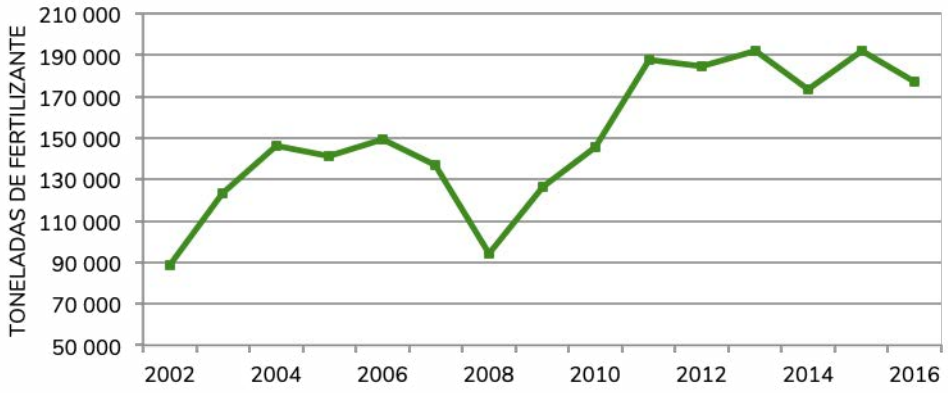


Figura 11-13 Importaciones de fertilizantes nitrogenados en el país para el periodo 2002-2016 según FAOSTAT (Food and agricultura data). Los datos se expresan en toneladas de fertilizantes nitrogenados importados y muestran un incremento significativo para el periodo analizado. Elaboración propia, basado en FAO (2017).

Asimismo, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) ha registrado un incremento del 34 % en la importación de fertilizantes nitrogenados para el periodo de 2011 a 2014, lo que implica un incremento en las emisiones de óxido nitroso por manejo de los suelos agrícolas en las mismas proporciones.

En esta misma línea, el Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones (2018a), en relación con las emisiones futuras en el subsector agrícola, estima que al 2011, el uso de fertilizantes nitrogenados se incrementó en un 61 % con respecto a las toneladas consumidas en el 2005, año para el cual se tienen los últimos datos oficiales.

Todas estas fuentes de datos, aunque varían en los porcentajes de incremento, coinciden en que la tendencia de las emisiones por óxido nitroso va en aumento.

Las tendencias mostradas anteriormente por los datos de superficie cultivada y uso de fertilizantes nitrogenados concuerdan con el comportamiento de los datos de emisiones presentados en los inventarios de los años 1990, 1994, 2000 y 2005. Según los inventarios nacionales, la categoría de manejo de suelos agrícolas de 1994 a 2005 mostró una tendencia al aumento en las emisiones del 43 % (MARN, 2015) (Cuadro 11-7).

La tendencia de todas las variables analizadas anteriormente sugiere que el incremento en las emisiones continuará en el futuro.

Cuadro 11-7 Emisiones de la categoría de manejo de suelos agrícolas del subsector Agricultura, para 1990, 1994, 2000 y 2005

	1990	1994	2000	2005
Manejo de suelos agrícolas	4.04	3.12	3.71	4.48

Nota: Los valores se expresan en millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-}eq}$). Elaboración propia, basado en MARN (2015).

En adición al análisis anterior, según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), se prevé que las emisiones de óxido nitroso en la agricultura aumenten en un 50 % para el 2030. Asimismo, se espera que el uso de fertilizantes en la región de América Latina y El Caribe crezca a un sostenido ritmo anual del 3 % (FAO, 2015).

Asimismo, el proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones (2018a) estimó que el área con cultivos permanentes se incrementó del 2005 al 2013 en un 23 %. En general, si estas tendencias continúan a futuro, se esperaría que las emisiones de GEI en el subsector agrícola se incrementen en las mismas proporciones.

11.4.3.3 Subsector del cambio de uso de la tierra y silvicultura (CUTS)

De acuerdo con el último inventario oficial del gobierno de Guatemala para el año 2005 (MARN, 2015), el subsector del cambio de uso de la tierra y silvicultura presenta emisiones anuales de 8.26 millones de toneladas de CO_2 y absorciones de 24.46 millones de tCO_2; esto resulta en una captura neta de 16.19 millones de toneladas de ese gas, es decir, el inventario oficial indica que este sector contribuye con una emisión negativa (absorción neta) al inventario nacional (Cuadro 11-8). Este resultado es contrastante con los diferentes ejercicios de mapeo, los cuales han mostrado que, de 1991 a 2010, el país ha perdido más de 100 000 hectáreas de bosque anualmente y que incluso los niveles crecientes de reforestación y regeneración no han logrado compensar esta pérdida (INAB, CONAP, UVG, & URL, 2012).

Los trabajos recientes del GIMBUT (2014), que generaron mapas con las categorías establecidas por el IPCC, sugieren que este sector es de los que más contribuye a emisiones de dióxido de carbono en el país debido a las altas tasas de deforestación que se han observado en las últimas décadas. Las emisiones netas anuales al 2006, calculadas por esta metodología, ascienden a 23.42 millones de toneladas de CO_2 (Cuadro 11-8). En los últimos 40 años, el país ha visto su cobertura forestal reducida a la mitad, de dos tercios a un tercio del territorio nacional (Solomons et al., 2017). Una buena parte de la deforestación ocurre a través de incendios provocados, lo que resulta también en la emisión de otros gases de efecto invernadero en menores cantidades, pero con un potencial de calentamiento más alto (CO, CH_4, N_2O y otros).

Adicional a los mapas con categorías de uso del IPCC, el GIMBUT también ha generado mapas de dinámica forestal que muestran que la tasa neta de deforestación se ha reducido, debido al incremento de la cobertura forestal en algunas regiones del país, derivado de procesos de regeneración y reforestación. De esa cuenta, la tasa neta de deforestación ha disminuido hasta situarse en 1 % en el último periodo medido (2006-2010), pero el incremento todavía no compensa la pérdida de bosque (INAB et al., 2012). Usando esta metodología de dinámica forestal, para el 2006 se tiene una emisión positiva anual de 18.87 millones de toneladas de CO_2 (Cuadro 11-8).

La comparación de los datos del Cuadro 11-8 muestra que las metodologías diferentes resultan en valores de emisiones muy diferentes, algunos positivos y otros negativos para años similares (2005-2006), y que las tendencias a lo largo de los años también varían; por lo tanto, en algunos casos las emisiones aumentan y en otros disminuyen. Este análisis resalta la complejidad de medición que presenta este sector y muestra la necesidad de revisar todos los inventarios de emisiones realizados a la fecha para este sector. La principal diferencia entre los inventarios nacionales y las otras mediciones resulta de la inclusión de una absorción por crecimiento de bosques (Cuadro 11-9). Los inventarios han asumido que los bosques existentes están creciendo constantemente y, por tanto, absorben carbono a un nivel que compensa la pérdida por deforestación. En áreas de mucha población se sabe que, en vez de crecer, los bosques se están degradando por la extracción de leña y otros productos maderables y, por lo tanto, disminuyendo su contenido de carbono. Desafortunadamente, no se tienen mediciones de parcelas permanentes para estimar el nivel de crecimiento o degradación de los bosques del país, por lo que este valor de absorción por crecimiento presenta alta incertidumbre.

Cuadro 11-8 Emisiones de dióxido de carbono para el sector bosques y uso de la tierra para el periodo 1990-2010 según diferentes metodologías de medición

Actividad	Inventarios nacionales				GIMBUT mapas IPCC		Línea base DBE		
	1990	1994	2000	2005	2006	2010	1990	2000	2010
Emisiones por pérdida de bosque (A)*	3.25	8.36	12.33	8.26	25.19	14.69	41.00	76.00	88.00
Absorciones por incremento de área de bosque (B)	-2.97	-4.44	-10.17	-0.26	-1.77	-1.36			
Absorciones por crecimiento de bosque(C)	-35.41	-35.10	-25.96	-24.19					
Cambio neto por uso de la tierra (A+B)	0.28	3.92	2.16	8.00	23.42	13.33			
Cambio neto total (A+B+C)	-35.14	-31.18	-23.80	-16.19	23.42	13.33	-4.00	29.00	59.00

Nota: *En el caso de la línea base del Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones (DBE) se considera también degradación de bosque, a diferencia de los otros que solo consideran deforestación. Los valores están expresados en millones de toneladas de dióxido de carbono (CO_2) por año. Este dato es el resultante del promedio anual para el periodo considerado en cada estudio. GIMBUT = Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra; IPCC = Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Elaboración propia, basado en MARN (2015), GIMBUT (2014) y CCS & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones (2018d).

Cuadro 11-9 Atributos considerados por distintos procesos de medición de emisiones

Metodología	Deforestación	Degradación	Incremento de reservas de carbono por área de bosque	Incremento de reservas de carbono por crecimiento de árboles
Inventarios nacionales	X		X	X
GIMBUT	X		X	
Desarrollo con bajas emisiones	X	X		X

Nota: Deforestación se refiere a la disminución de las reservas de carbono por área de bosque; degradación a la disminución de las reservas de carbono por extracción de biomasa sin cambiar el área. GIMBUT = Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra. Elaboración propia, basado en MARN (2015), GIMBUT (2014) y CCS & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones (2018d).

La generación de datos base para desarrollar inventarios de emisiones en este sector ha mejorado sustancialmente desde que se completó el último inventario de emisiones. La iniciativa de manejo forestal municipal MIBOSQUE aportó financiamiento que permitió que se generara mucha investigación alrededor del tema de carbono en sistemas forestales, con el apoyo de la Universidad del Valle de Guatemala (Castellanos & Flores, 2006); ese proceso culminó con la publicación de un mapa del contenido de carbono de los bosques de Guatemala (Castellanos, 2011). Dicho estudio concluyó que los bosques del país contienen en promedio 107 toneladas de carbono por hectárea, para un total de 414 millones de toneladas de carbono en los bosques del territorio nacional. Esta información de carbono a nivel nacional se complementó con la información de cambio de cobertura forestal que empezó a generarse de forma sistemática con la formación del GIMBUT, que agrupa a instituciones de gobierno y académicas y que desde 2001 ha estado trabajando para estimar los cambios en la cobertura forestal del país, usando imágenes satelitales y fotografías aéreas.

La información de cobertura forestal derivada de

sensores remotos no ha tenido una contraparte frecuente en inventarios forestales a nivel de campo, que son importantes no solo para estimar cobertura, sino también el tipo y tamaño de los árboles. El único inventario forestal del país se realizó en 2002 y concluyó que el país tenía un 37 % de cobertura forestal, en coincidencia con los datos reportados por sensores remotos, del cual un 31 % de cobertura era de bosques latifoliados, con tan solo un 3 % de coníferas y un 3 % de bosques mixtos (INAB, 2005). Es necesario realizar un nuevo inventario forestal y se recomienda mantener un equipo de trabajo que realice estos inventarios con una frecuencia de al menos 10 años.

La deforestación neta del país ha ido disminuyendo debido a los esfuerzos de reforestación y regeneración de bosques. Los programas de incentivos forestales PINFOR y su sucesor PROBOSQUE, PINPEP y otras iniciativas de manejo forestal desde el sector de organizaciones no gubernamentales, han tenido éxito en promover la reforestación, que resulta en una tendencia al alza en las absorciones de GEI, pero no así en conservar los bosques existentes. El resultado es una alta tasa de deforestación bruta con las consecuentes emisiones elevadas de GEI, que se mantiene e incluso aumenta en el último periodo de medición reportado por el GIMBUT (2014). Detener la deforestación ha sido uno de los retos más grandes para el sector ambiental del país, e incluso la declaración de áreas de protección total como los parques nacionales no han logrado detener esta pérdida del bosque natural; por ejemplo, el Parque Nacional Laguna del Tigre muestra una tasa de deforestación del 5 %, muy por encima del promedio nacional de 1 % para el último periodo medido (2006-2010) (INAB et al., 2012).

La extrapolación de las tendencias medidas por el GIMBUT al 2010, de deforestación y reforestación, muestran que hacia el 2022 la ganancia igualará la pérdida de bosque resultando en una deforestación neta de cero (Castellanos, 2013). Esto, por supuesto, depende de que las tendencias observadas en las dos décadas pasadas se mantengan a futuro: una tasa de deforestación anual alta pero constante balanceada por una tasa de reforestación y regeneración anual que va en constante aumento. En términos de emisiones de carbono, esto puede significar una reducción de emisiones desde este sector, aunque no necesariamente un balance cero, ya que se tendría una pérdida de bosque maduro con alto contenido de carbono (arriba de 150 tC/ha) reemplazado por un bosque joven con valores menores a 100 tC/ha (Castellanos, 2011). El resultado de la línea base del proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones (2018b) contrasta con este análisis, el cual muestra que las emisiones de este sector tendrán una tendencia continua al alza a futuro; esto resulta por el hecho de que la línea base no toma en cuenta las acciones de reforestación o regeneración natural de bosques.

11.4.4 Sector de desechos

Dentro del sector de desechos, se estiman las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso que se generan durante el manejo y tratamiento de los residuos y desechos sólidos, así como de las aguas residuales.

Durante el tratamiento y la eliminación de los desechos sólidos municipales, industriales, entre otros, se producen cantidades significativas de metano. Además del metano, en los sitios de eliminación de desechos sólidos, también se produce dióxido de carbono biogénico[10] y compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano, así como cantidades más pequeñas de N_2O, NO_x y CO. En cambio, durante la incineración de desechos que contienen carbono fósil, como el caso de los plásticos, se generan cantidades importantes de emisiones de dióxido de carbono, así como pequeñas cantidades de metano y óxido nitroso (IPCC, 2006). Para el año 2005, estas emisiones correspondían al 3 % del total de emisiones reportadas (MARN, 2015) (Cuadro 11-10).

Del total de las fuentes de emisión de GEI que se dan en el sector de desechos, únicamente las emisiones por el manejo y tratamiento de los desechos sólidos es considerada como una categoría clave de las emisiones, razón por la cual, únicamente este subsector se analizará como parte de este reporte.

10 Es el carbono derivado de fuentes biogénicas (vegetales o animales), a excepción del carbono fósil (IPCC, 2006). Está relacionado con el tiempo que tarda en ser reemplazado por una nueva fuente de carbono.

Cuadro 11-10 Emisiones de gases de efecto invernadero del sector desechos, reportadas en los años 1990, 1994, 2000 y 2005

Fuentes de GEI / Año del inventario nacional	1990		1994		2000		2005	
Categorías / Gases	CH_4	N_2O	CH_4	N_2O	CH_4	N_2O	CH_4	N_2O
Totales	30.39	0.46	33.74	0.49	41.49	0.57	49.60	0.62
Disposición de desechos sólidos en la tierra	28.95	0.00	32.15	0.00	38.32	0.00	45.76	0.00
Manejo y tratamiento de las aguas residuales	1.44	0.46	1.59	0.49	3.17	0.57	3.84	0.62
Incineración de desechos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Otros	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota: Valores expresados en miles de toneladas. GEI = gases de efecto invernadero; CH_4 = metano; N_2O = óxido nitroso. Elaboración propia, basado en MARN (2015).

11.4.4.1 Subsector de desechos sólidos

Para estimar las emisiones de GEI resultantes de la generación, manejo y eliminación de desechos sólidos, se requiere información detallada sobre las actividades que influyen en la tasa de generación de desechos, su composición, y el tipo de manejo que se da al momento de su disposición final (IPCC, 2006).

En Guatemala existe poca información disponible sobre las tasas de generación de desechos y su composición, tanto para las actividades que se realizan a nivel de los hogares, como para las actividades productivas, comerciales e industriales. En el inventario nacional de GEI realizado en el año 2005, se encontró que la mayor actividad generadora de GEI por el manejo de los desechos correspondía a la generada por los hogares (MARN, 2015).

Los residuos y desechos sólidos urbanos/municipales se generan como parte de las actividades diarias de la sociedad; estos se generan en hogares, oficinas, comercio (mayorista y minorista), mercados, restaurantes, instituciones públicas, instalaciones industriales, plantas de tratamiento de aguas y alcantarillado; obras en construcción y demolición; parques y áreas recreativas; y en actividades agrícolas (IPCC, 2006). Las prácticas comunes de manejo y tratamiento de los residuos y desechos sólidos incluyen: recolección, separación, reciclado, eliminación de desechos sólidos en tierras, tratamientos biológicos y otros, así como la incineración de los residuos y desechos.

El volumen de los residuos y desechos se ha incrementado en los últimos años, a tal nivel de producción que su recolección, manejo y disposición constituyen uno de los principales problemas que enfrentan los centros poblados y las autoridades que los dirigen (Zafra, 2009). Los principales factores que influyen en esta situación son el rápido crecimiento demográfico; la migración y concentración de la población en centros urbanos; la utilización de materiales e insumos de poca durabilidad; y el uso, cada vez más frecuente, de envases y recipientes no retornables, muchos de los cuales son fabricados con materiales de baja degradabilidad (Salvato et al., 2003; Mosler et al., 2006, citados por [Zafra, 2009]).

De acuerdo con la información de las Estadísticas Demográficas y Vitales 2014 (INE, 2016a), para el año 2018 se estimaba una población total en el país que ascendía a 15 607 640 personas[11]. De este total, 7.81 millones residían en áreas urbanas (49.5 %), contra 7.99 millones que residían en áreas rurales (50.5 %). Los valores muestran que para el año 2014, la tendencia del crecimiento poblacional era ascendente, sin embargo, la tasa

11 Este valor difiere de las proyecciones de población por municipio: periodo 2002-2020 (INE & CELADE, 1997), donde se proyecta una población de 15 806 675 habitantes para el año 2014.

de crecimiento poblacional ha ido en disminución, siendo esta de 2.4 en el año 2005 y de 2.1 en el 2014 (INE, 2015b).

Otro factor importante que influye en la generación de residuos a nivel de hogar es el grado de urbanización que estos poseen. Un hogar ubicado en las áreas urbanas tiende a generar mayor cantidad de desechos en comparación con uno ubicado en las áreas rurales. En el año 2000, la relación que existía entre los hogares de las áreas urbanas y rurales era de 43 a 57 %, situación que cambió al año 2014, con una relación de 49 a 51 %. Se considera que la razón principal de la urbanización de la población es por la migración interna y no por el crecimiento vegetativo. Las áreas urbanas están creciendo a una tasa de 4 % anual.

El ingreso monetario real en una economía de mercado constituye uno de los medios más importantes para acceder al consumo de bienes y servicios necesarios para vivir. La cantidad de bienes que una sociedad puede consumir está en función de las necesidades sociales básicas, sus hábitos de consumo y el grado de desarrollo alcanzado en la misma (Escamirosa, del Carpio, Castañeda, & Quintal, 2001). La información estadística de varias metrópolis latinoamericanas ha permitido establecer una relación directa entre población y acumulación de residuos sólidos, así también entre el nivel de ingresos y generación de residuos, mostrando que la relación población-residuos sólidos está mediada por variables económicas y culturales (Rodríguez Escobar, 2002).

Con esta base, se utilizó la estratificación relacionada a la pobreza que establecen las Encuestas de Condiciones de Vida (ENCOVI). Para ello se empleó la información de las ENCOVI de los años 2006, 2011 y 2014 (INE, 2017), la cual se encuentra segregada según el lugar de residencia, sea esta rural o urbana. El país ha estado observando un proceso de empobrecimiento de su población. En el año 2006, el 49 % de la población total era considerada como no pobre, en cambio, al año 2014 la población total considerada en esta categoría se redujo a 41 %; en contraposición, la población considerada en pobreza extrema aumentó de un 15 % en el 2006 a 23 % en el 2014. En términos generales se puede indicar que la población considerada como no pobre se concentra principalmente en las áreas urbanas, mientras que la población en pobreza extrema se concentra principalmente en las áreas rurales, de la misma forma que sucede con la población que se encuentra en pobreza (INE, 2017).

En Guatemala se han realizado varios estudios que tienden a obtener datos sobre la generación, composición y tratamiento de los residuos y desechos a nivel municipal principalmente; sin embargo, no se cuenta con un estudio que contenga información detallada a nivel nacional y que, además, cubra todas las técnicas de manejo y tratamiento que se le dan, o que segregue a la población según su urbanismo y nivel socioeconómico.

El proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, realizó estimaciones sobre la tasa de generación per cápita de desechos en el país (CCS & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, 2018d). Encontraron que la tasa de generación de desechos sólidos en el área urbana fue de 0.6 kg/persona/día para el año 2006; 0.66 kg/persona/día para el año 2011; y 0.71 kg/persona/día para el año 2014; mientras que en el área rural fue de 0.30 kg/persona/día para el año 2006; 0.34 kg/persona/día para el año 2011; y 0.36 kg/persona/día para el año 2014.

Sin embargo, con la finalidad de hacer más detallado el análisis de las emisiones por desechos en Guatemala, se decidió utilizar la información del Estudio sobre el manejo de desechos sólidos en el área metropolitana de Guatemala, realizado por JICA entre los años 1990 y 1991 (JICA, 1991). Debido a lo antiguo de esta información, se procedió a realizar una proyección de la generación, para lo cual se consideró la tasa promedio de crecimiento de la generación de residuos sólidos en las principales ciudades de América Latina. Para realizar esta proyección se utilizó la información generada por Rodríguez Escobar (2002), donde se indica que la tasa de crecimiento de la generación de desechos sólidos es de aproximadamente 1 % por año; este valor se utilizó para obtener la tasa de generación per cápita para el año 2014 en las regiones urbanas del país. Para el caso de las regiones

rurales se aplicó un factor, considerando que estos hogares se encuentran alejados de los grandes centros de consumo y, por ende, la generación per cápita tiende a reducir.

Para estimar la producción de residuos en los años 2006, 2011 y 2014, se tomó en cuenta las proyecciones de la población para esos años (de acuerdo a la ENCOVI) y la tasa de producción per cápita estimada, así se encontró que la producción total de residuos y desechos sólidos en los hogares del país fue de 2.97 millones de toneladas para el año 2006 (equivalente a 8157 t/día), 3.46 millones de toneladas en el año 2011 (9486 t/día), y 3.79 millones de toneladas en el año 2014 (10 375 t/día).

Esta información indica que los hogares ubicados en las áreas urbanas son los que generan la mayor cantidad de residuos, con el 62 % del total; el restante 38 % se genera en las áreas rurales. Según el nivel de pobreza, la mayor cantidad de generación se realiza en los hogares no considerados como pobres (56 %), seguido por los hogares que se encuentran en pobreza no extrema (31 %) y los hogares que se encuentran en pobreza extrema (13 %).

La información sobre el manejo y disposición de los desechos a nivel de hogar es de importancia para determinar los principales flujos que tienen los recursos que se demandan y consumen en los hogares. Para esto se empleó la información de las bases de datos del XI Censo Nacional de Población y VI de Habitación 2002 (INE, 2003a), y de las ENCOVI 2006, 2011 y 2014 (INE, 2017), con lo que se procedió a agrupar la información a nivel nacional, referente al manejo y/o disposición de los residuos y desechos a nivel de los hogares del país, a fin de que se pudiera visualizar la evolución que se ha tenido en los últimos años sobre el tema (Figura 11-14).

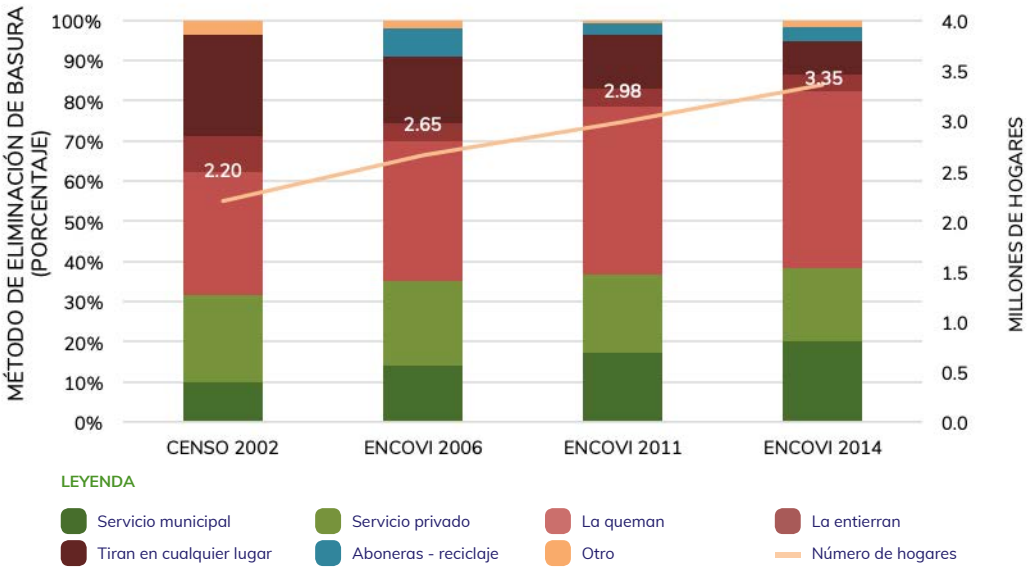


Figura 11-14 Número de hogares y método de manejo de los residuos y desechos a nivel de hogar. En el eje y de la derecha se muestra el número de hogares en millones, mientras que en el eje y de la izquierda se muestra la proporción en porcentaje de los distintos métodos de manejo, el servicio de recolección y transporte; quema de basura y tirar los residuos y desechos en cualquier parte los mayoritarios. Elaboración propia, basado en INE (2003a, 2017).

La Figura 11-14 muestra cómo ha evolucionado la forma de manejo de los residuos y desechos sólidos en los hogares, principalmente en los tipos de manejo siguientes:

- Hogares que cuentan con servicio de recolección y transporte. En el año 2002 el 32 % de los hogares contaban con este tipo de servicio de recolección y transporte de residuos y desechos, situación que fue incrementando en los periodos siguientes, 35 % en 2006, 37 % en 2011 y 38 % en 2014; sin embargo, el mayor crecimiento porcentual se dio en los hogares con servicio municipal, que crecieron de 10 % en 2002, 14 % en 2006, 17 % en 2011 a 20 % en 2014. En cambio, la proporción de hogares con servicio privado de recolección tendió a reducirse de 22 % en 2002, 21 % en 2006, 19 % en 2011 y 18 % en 2014.
- Hogares que queman la basura. Se puede notar que existe un incremento sostenido en la proporción de hogares que queman la basura con fines de su eliminación. En el año 2002, el 31 % de los hogares quemaban los residuos y desechos, 35 % en 2006, 42 % en 2011 y 44 % en 2014.
- Hogares que tiran los residuos y desechos en cualquier parte. Se observó un descenso significativo de este rubro. En el año 2002 el 25 % de los hogares disponían sus residuos y desechos de esta forma, reduciéndose a 17 % en 2006, 14 % en 2011 y 8 % en 2014.

11.5 Vacíos de información

Al comparar los diferentes resultados de emisiones de GEI utilizados para el análisis de este capítulo, se evidencia la necesidad de contar con fuentes de datos y metodologías estandarizadas que permitan estimar y generar datos confiables para Guatemala. El caso más evidente se manifiesta al comparar los inventarios nacionales de GEI con el resto de las fuentes analizadas, especialmente en el sector agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, que representa el sector que más contribuye con las emisiones del país.

Estas diferencias se dan por el origen de los datos empleados y no solo en la estimación directa de las emisiones. A continuación, se enumeran algunas de las diferencias y vacíos encontrados en las fuentes de datos de este sector:

- Incertidumbre en la información del hato ganadero, debido a la carencia de datos nacionales sobre número de cabezas de ganado, composición, raza, tipo de alimento que ingieren y manejo del ganado, ya que el último dato oficial proviene del año 2008 y las fuentes con datos más recientes (CCS & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, 2018d; FAO, 2017) presentan datos muy diferentes a los obtenidos por el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2003b, 2005, 2006, 2007, 2008). En este subsector también se detectan datos anómalos, específicamente en el manejo del estiércol, con datos significativamente más altos para los años 1990 y 2000 que los años 1994 y 2005.
- Vacíos y dificultad de acceso a datos respecto al uso e importaciones de fertilizantes nitrogenados en el subsector de agricultura, tanto los de origen orgánico, como los formulados sintéticamente. Adicionalmente, existe vacío sobre el manejo de los suelos agrícolas, que determinen la cantidad de suelos que son mecanizados (o labrados manualmente), la quema de residuos agrícolas en campo, entre otros.
- Inconsistencias en los datos de superficie cultivada en los censos y encuestas nacionales.
- Amplia variación en los resultados de emisiones según las fuentes de datos disponibles para el subsector de cambio de uso de la tierra y silvicultura (CCS & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, 2018d; GIMBUT, 2014; INAB et al., 2012; MARN, 2015), por el uso de fuentes de información y metodologías diferentes y, en particular, por los criterios empleados para estimar las absorciones de dióxido de carbono de los bosques, sin considerar el proceso de degradación para el cual no se cuenta con datos en parcelas permanentes de monitoreo.

11.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). (1991). *El estudio sobre el manejo de los desechos sólidos en el área metropolitana de la Ciudad de Guatemala*. Informe final.
- Banco Mundial. (2018). Datos de libre acceso del Banco Mundial. Recuperado el 1 de septiembre de 2018, de https://datos.bancomundial.org/
- Barrera, L. (2015). *La importancia de realizar una recopilación de leyes y disposiciones que regulan la actividad pecuaria de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Cardona, J., & Lee, P. (2000). *Manual de recomendaciones para cultivar arroz en condiciones de inundación*. Guatemala.
- Castellanos, E. (2011). *Informe final. Elaboración del primer mapa nacional sobre el carbono capturado por plantaciones y bosques naturales de Guatemala*. Guatemala.
- Castellanos, E. (2013). ¿Cómo estará el entorno ambiental en Guatemala en las siguientes décadas? *Revista UVG*, (26), 51–55. Recuperado de http://www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-26/5.COMO ESTARA EL ENTORNO AMBIENTAL.pdf
- Castellanos, E., & Flores, C. (2006). *Estimación del contenido de carbono en bosques del Altiplano Occidental*. Guatemala.
- Castellanos, E., Thomas, T., & Duston, S. (2018). Climate change, agriculture, and adaptation options for Guatemala. *IFPRI Discussion Paper 01789* (December). Washington. Recuperado de http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/133036.
- Center for Climate Strategies (CCS), & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones. (2018a). *AFOLU baseline module*.
- Center for Climate Strategies (CCS), & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones. (2018b). *Baseline Report. Guatemala Low Emissions Development Strategies*.
- Center for Climate Strategies (CCS), & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones. (2018c). *Final Report: Guatemala Low Emissions Development Strategies (GLEDS) plan*. Guatemala.
- Center for Climate Strategies (CCS), & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones. (2018d). *Informe de línea base*. Guatemala.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2018). *La ineficiencia de la desigualdad*. Síntesis (LC/SES.37/4). La Habana, Cuba. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43566/1/S1800302_es.pdf
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE). (2017). *Informe estadístico 2016*: Periodo 2012-2016. Guatemala.
- Consejo Nacional de Cambio Climático (CNCC). (2016). *Plan de acción nacional de cambio climático*. Guatemala. Recuperado de http://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2016/10/Plan-de-Acción-Nacional-de-Cambio-Climático-ver-oct-2016-aprobado-1.pdf
- Consejo Nacional de Desarrollo Urbanoy Rural (CONADUR). (2014). *Plan nacional de desarrollo K'atun: nuestra Guatemala 2032*. Guatemala.
- Decreto 7-2013. Ley marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero (2013). Guatemala: Diario de Centroamérica.

- Decreto 79-2000. Ley de impuesto específico a la distribución de cemento, Pub. L. No. 79–2000 (2000). Guatemala: Diario de Centroamérica.

- Escamirosa, L., del Carpio, C., Castañeda, G., & Quintal, C. (2001). Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios. En *Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios Manejo de los residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas* (pp. 27–57). México, D.F.: Plaza y Valdés, S.A. de C.V.

- Gobierno de Guatemala. (2015). *Contribución prevista y determinada a nivel nacional.* Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

- Grupo de Coordinación Interinstitucional (GCI). (2018). *Evaluación preliminar de factores del uso de la tierra, causas y agentes de deforestación y degradación de bosques en Guatemala.* Estrategia Nacional de Reducción de la Deforestación y Degradación de Bosques en Guatemala (ENDDBG) bajo el mecanismo REDD+. Guatemala.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. *Reference manual* (Volume 3). London: IPCC / OECD / IEA. Recuperado de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2000). *Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories.* Hayama Kanagawa. https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2006.00937_1.x

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2001). *Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assesment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* (J. Houghton, Y. Ding, D. Griggs, M. Noguer, P. Van der Linden, X. Dai, ... C. Johnson, Eds.). Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos de América: Cambridge University Press. Recuperado de http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/pdf/wg1_tar-front.pdf

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.* (J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, ... F. Wagner, Eds.). Hayama, Kanagawa, Japón: Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme.* (H. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, Eds.). Hayama, Kanagawa, Japón: Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, ... Z. Chen, Eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.

- Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra (GIMBUT). (2014). *Mapa de bosques y uso de la tierra 2012 y mapa de cambios en uso de la tierra 2001- 2010 para estimación de emisiones de gases de efecto invernadero.* Guatemala.

- Instituto Nacional de Bosques (INAB). (2005). *Resumen de resultados inventario forestal nacional 2002-2003. Basado en la metodología propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.* Ciudad de Guatemala.

- Instituto Nacional de Bosques (INAB), Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), Universidad del Valle de Guatemala (UVG), & Universidad Rafael Landívar (URL). (2012). *Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2010 y dinámica de la cobertura forestal 2006-2010.* Ciudad de Guatemala.

- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2003a). *Características de la población y de los locales de habitación censados*. Guatemala. Recuperado de https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/02/20/jZqeGe1H9WdUD-ngYXkWt3GlhUUQCukcg.pdf
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2003b). *IV Censo nacional agropecuario 2003*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2004). *Número de fincas censales, superficie cultivada y producción obtenida de cultivos permanentes y semipermanentes*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2005). *Encuesta nacional agropecuaria 2005*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2006). *Encuesta nacional agropecuaria 2006*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2007). *Encuesta nacional agropecuaria 2007*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2008). *Encuesta nacional agropecuaria 2008*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2014). *Encuesta nacional agropecuaria 2013*. Guatemala. Recuperado de http://web.maga.gob.gt/download/ena-2013.pdf
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2015a). *República de Guatemala: encuesta nacional agropecuaria 2014*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2015b). *República de Guatemala: estadísticas demográficas y vitales 2014*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística. Recuperado de https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/01/13/FijigScCmvJuAdaPIozybqKmr01X-tkjy.pdf
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2016a). *Encuesta de condiciones de vida 2014*. Tomo I. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2016b). *Encuesta nacional agropecuaria: superficie cultivada y producción 2015*. Guatemala. Recuperado de https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/10/04/PqrbKvoTCXA0f3A-1TR7rlwL7R545pAZ4.pdf
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2017). Bases de datos de las encuestas de condiciones de vida (ENCOVI) 2006, 2011, 2014. Guatemala. Recuperado de https://www.ine.gob.gt/index.php/encuestas-de-hogares-y-personas/condiciones-de-vida
- Instituto Nacional de Estadística (INE), & Centro Latinoamericano de Demografía (CELADE). (1997). *Guatemala: estimaciones y proyecciones de población 1950-2050*. Guatemala.
- López, M. (2009). *Segunda comunicación nacional sobre cambio climático. Elaboración INGEI de los procesos industriales 1994 y 2005, cálculo de los potenciales de calentamiento global 1990, 1994, 2000 y 2005*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo 42487. Guatemala.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2001). *Primera comunicación nacional sobre cambio climático*. Guatemala. Recuperado de http://www.gefonline.org/ProjectDocs/ClimateChange/Guatemala - Enabling Guatemala to Prepare its First National Communication in Response to its Commitments to UNFCCC/First National Communication to UNFCCC.pdf
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2015). *Segunda comunicación nacional sobre cambio climático Guatemala*. Guatemala.
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2017). *Informe: balance energético 2016*. Guatemala. Recuperado de http://www.minetad.gob.es/energia/balances/Balances/LibrosEnergia/Energia_2015.pdf%0Ahttp://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf

- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2018a). *Balance energético nacional 2017*. Guatemala. Recuperado de https://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/balance2017/BEN2017.pdf
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2018b). Consumo de productos derivados de petróleo - detalle mensual años 2000 a 2016. Recuperado el 8 de abril de 2018, de http://www.mem.gob.gt/estadisticas/direccion-general-de-hidrocarburos/
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2018c). *Oferta y consumo de energía eléctrica, 2011-2017*. Guatemala.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). El uso de fertilizantes sobrepasará los 200 millones de toneladas en 2018. Recuperado el 14 de julio de 2018, de http://www.fao.org/news/story/es/item/277654/icode/
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). FAOSTAT. Food and agriculture data. Recuperado el 9 de febrero de 2018, de http://www.fao.org/faostat/en/
- Robles, E. (2012). Agricultura y ganadería en Guatemala. Recuperado el 14 de julio de 2018, de http://www.deguate.com/artman/publish/hist_moderna/agricultura-y-ganaderia-en-guatemala.shtml
- Rodríguez Escobar, L. Á. (2002). Hacia la gestión ambiental de residuos sólidos en las metrópolis de América Latina. *Innovar*, 12(20), 111–120. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0121-50512002000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Salvo, L., & Bayer, C. (2014). Balance de Gases de Efecto Invernadero en suelos agrícolas de secano. *Cangüé*, 35, 7–14.
- Solomons, N. W., Castellanos, E., Cifuentes Velásquez, F. R., Maselli Conde, S., Orozco Figueroa, M. N., Pennington, P. M., ... Zambrano Ruano, G. G. (2017). Seguridad alimentaria y nutricional en Guatemala. En Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS) (Ed.), *Retos y oportunidades de la seguridad alimentaria y nutricional en las Américas. El punto de vista de las Academias de Ciencias* (pp. 352–375). México: IANAS.
- Stern, N. (2006). *Stern Review: The economics of climate change*. Stern Review. United Kingdom. https://doi.org/10.1257/aer.98.2.1
- Superintendencia de Administración Tributaria (SAT). (2018). Estadísticas tributarias SAT. Recuperado el 12 de abril de 2018, de https://portal.sat.gob.gt/portal/estadisticas-tributarias-sat/#1506903647232-dff79679-679a
- Tetra Tech, & FCMC USAID. (2013). *Evaluación institucional y análisis sectorial para la Estrategia de Desarrollo con Bajas Emisiones de Guatemala*. Arlington. Recuperado de http://www.fcmcglobal.org/documents/Guatemala_LEDS_Spanish.pdf
- Waldron, C. D., Jochen, H., Oswaldo, L., Scott, M., Sharon, S., Fabian, W., & Michael, W. (2006). Combustión móvil. En *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero -Volumen 2 Energía* (p. 78). Japón: Task Force on National Greenhouse Gas Inventories.
- Zafra, C. A. (2009). Metodología de diseño para la recogida de residuos sólidos urbanos mediante factores punta de generación: sistemas de caja fija (SCF). En *II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de residuos* (p. 13). Barranquilla: Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental (REDISA) y Universidad del Norte (UN).

12

ACCIONES DE MITIGACIÓN
DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Autores: Gabriela Fuentes Braeuner[1], Edwin J. Castellanos[2], Marco Aurelio Juárez Calderón[3]
Autores contribuyentes: Carlos Mansilla M.[4] y Óscar Estuardo Villagrán García[4]

[1] Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad, Universidad del Valle de Guatemala, gmfuentes@uvg.edu.gt
[2] Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad, Universidad del Valle de Guatemala, ecastell@uvg.edu.gt
[3] Geotecnológica de Centroamérica, S.A., marco.aurelio.juarez@gmail.com

[4] Consultores a nivel nacional e internacional

Forma de citar este capítulo:
Fuentes Braeuner, G., Castellanos, E. J., & Juárez Calderón, M. A. (2019).
Acciones de mitigación de gases de efecto invernadero.
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. 264–297). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Mensajes clave:

- A pesar de que Guatemala tiene una historia de más de veinte años en acciones de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, los resultados no reflejan un impacto para reducir las emisiones del país. Existe un marco jurídico y avances políticos, pero las acciones van rezagadas.
- Se han desarrollado varios esfuerzos nacionales (Plan de Acción Nacional de Cambio Climático, Estrategia Nacional de Desarrollo con Bajas Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropiadas, Estrategia Nacional para el Abordaje de la Deforestación y Degradación de los Bosques en Guatemala) y locales (Proyectos REDD+, Mecanismos de Desarrollo Limpio, Verified Carbon Standard) que definen una ruta de acciones prioritarias, pero que requieren de su activación o fomento.
- Muchas acciones de mitigación (energía renovable, vehículos eléctricos, reforestación; deforestación y degradación evitada; fertilizantes mejorados; manejo de desechos sólidos) presentan beneficios adicionales que van más allá de la captura o reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, haciendo estas actividades más importantes para el buen manejo ambiental del país.

Foto: E. Castellanos

RESUMEN

Guatemala emitió 31.40 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-}eq}$) en el año 2005, según el inventario nacional oficial; de este total de emisiones, cinco actividades generan tres cuartas partes: la conversión o corte de bosques para establecer cultivos o pastos para la ganadería (26 %), la quema de combustibles para el transporte de personas, productos y mercancías (18 %), el manejo y fertilización de los suelos agrícolas (14 %), el manejo del hato ganadero (9 %) y la quema de combustibles para la producción energética (9 %).

Las emisiones de Guatemala son muy bajas si se comparan con las emisiones mundiales; la información del Banco Mundial indica que, al año 2012, equivalían al 0.06 % de las emisiones globales. Si son tan bajas, ¿por qué debemos mitigar? Porque la mitigación (reducción de emisiones de gases de efecto invernadero) es la única forma de abordar la causa del calentamiento global y del cambio climático a largo plazo. Pero adicional a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la mayoría de las acciones de mitigación generan otros beneficios o cobeneficios, que pueden contribuir a reducir la vulnerabilidad y mejorar la adaptación del país. Por ejemplo, al reducir la deforestación y la degradación de los bosques, se obtienen impactos positivos, como la reducción de la erosión de los suelos, el mantenimiento de la capacidad de regulación del ciclo del agua y la protección de la diversidad biológica, por citar algunos beneficios.

Guatemala, como signatario del Acuerdo de París, está comprometido a reducir sus emisiones. En ese sentido, propuso una Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) con el compromiso de reducir, con recursos propios, el 11.2 % de las emisiones de GEI proyectadas al año 2030 y, en el caso de contar con apoyo técnico y financiero internacional, podría comprometerse a reducir hasta el 22.6 % de las emisiones para el mismo periodo.

Guatemala tiene una historia de más de 20 años en acciones de mitigación, pero los resultados obtenidos no han logrado reducir la tendencia de las emisiones de GEI de forma sustancial. Los principales avances se observan en el ámbito político, con la instalación del Consejo Nacional sobre Cambio Climático (CNCC) y la elaboración del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC). A la fecha, sin embargo, este documento no ha podido orientar la política pública y, especialmente, las asignaciones presupuestarias necesarias para abordar la temática de cambio climático.

Adicionalmente se han desarrollado otras propuestas nacionales, como la Estrategia Nacional de Desarrollo con Bajas Emisiones de Gases de Efecto Invernadero; las Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropiadas (NAMA, por sus siglas en inglés), de uso sostenible y eficiente de leña y ganadería sostenible; la Estrategia Nacional para el Abordaje de la Deforestación y Degradación de los Bosques; y otras acciones de carácter local. Entre estas últimas, sobresalen los proyectos de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) y proyectos inscritos en el mercado regulado (Mecanismo de Desarrollo Limpio) o en los mercados voluntarios (como Verified Carbon Standard, VCS).

CONTENIDO

12.1 ¿Por qué debemos mitigar? 268

12.2 Desarrollo histórico de los procesos de mitigación nacionales 268

12.3 Gasto nacional en cambio climático 274

12.4 Opciones de mitigación por sector 274
- 12.4.1 Sector de la energía 274
  - 12.4.1.1 Industria energética 274
  - 12.4.1.2 Transporte: uso de etanol como combustible 277
  - 12.4.1.3 Otros subsectores: uso de leña 279
- 12.4.2 Sector de procesos industriales y uso de productos 280
- 12.4.3 Sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra 280
  - 12.4.3.1 Subsector de agricultura: fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 en la tierra 280
    - 12.4.3.1.1 Industria azucarera 281
    - 12.4.3.1.2 Industria del café 282
    - 12.4.3.1.3 Industria de palma de aceite 283
    - 12.4.3.1.4 Industria bananera 284
  - 12.4.3.2 Subsector de la ganadería 284
  - 12.4.3.3 Subsector del cambio de uso de la tierra y silvicultura (CUTS) 286

12.5 Impactos y beneficios 289

12.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 292

12.1 ¿Por qué debemos mitigar[1]?

Esta es una pregunta recurrente en los foros donde se aborda la problemática del cambio climático en países como Guatemala, principalmente cuando se hace una revisión de las pérdidas y daños sufridos por eventos extremos que se asocian a los cambios del clima, y se contrasta contra la baja contribución en las emisiones mundiales. Esta situación se define en el principio de «responsabilidades compartidas pero diferenciadas» que rige la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Todos somos responsables de atacar el problema de contaminación, aunque nuestras responsabilidades son diferentes porque nuestras contribuciones a la contaminación mundial son muy bajas.

Las evaluaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) indican que, al 2017, las temperaturas medias mundiales superaron en 1.1 °C ± 0.1 °C a las temperaturas de los años de la era preindustrial (alrededor del año 1750). Aunque el 2017 no fue tan cálido como el 2016 (año récord), es uno de los tres años más calientes desde que se tienen datos y lo más importante fue que ese año no tuvo la influencia del fenómeno de El Niño (OMM, 2018a) **(Capítulo 2)**. La mayor parte de la comunidad científica internacional coincide en que el aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI) son el principal responsable del aumento de las temperaturas medias mundiales (IPCC, 2014b) **(Capítulo 1)**.

En el 2017, estas concentraciones llegaron a niveles de 405.5 ± 0.1 ppm[2] de dióxido de carbono (CO_2), 1859 ± 2 ppb[3] de metano (CH_4) y 329.9 ± 0.1 ppb de óxido nitroso (N_2O), niveles que representan un aumento del 146 %, 257 % y 122 % respectivamente, con relación a las que se encontraban en la era preindustrial (OMM, 2018b). Este aumento en las concentraciones de GEI se debe principalmente al desarrollo de actividades humanas, que incluyen el uso de combustibles fósiles, la producción agropecuaria, el cambio de uso de la tierra y la generación de desechos, por citar algunos casos.

De los análisis realizados para determinar cómo atender el cambio climático, se han encontrado dos opciones: la primera, por medio de acciones de adaptación **(sección 2)**, las cuales se enfocan en reducir la vulnerabilidad de las personas, sectores productivos o ecosistemas a los cambios en los patrones climáticos; y la segunda, por medio de la mitigación, que consiste en reducir o compensar las emisiones de GEI. Para poder limitar el calentamiento global, y de esta forma minimizar los impactos del cambio climático, es necesario reducir sustancialmente las emisiones de GEI a la atmósfera. Esta es la razón principal por la cual las diferentes sociedades mundiales (gobiernos, industrias, empresas, autoridades locales, hogares y sector académico y científico) deben realizar sus mayores esfuerzos, dependiendo de sus capacidades y responsabilidades, para modificar sus hábitos y reducir al máximo sus emisiones de GEI. De esta manera, se lograría estabilizar las concentraciones atmosféricas de GEI, frenar el aumento de las temperaturas y limitar el cambio climático.

Sin embargo, la mitigación de GEI no solo aporta beneficios al clima, sino también a la sociedad local como se describe más adelante (Impactos y beneficios).

12.2 Desarrollo histórico de los procesos de mitigación nacionales

En virtud de que el cambio climático es un problema de alcance mundial, necesita también una respuesta mundial que integre los intereses y necesidades de todos los países. Esto implica que las medidas de mitigación implementadas en cada país dependerán de sus responsabilidades y capacidades particulares. Desde su entrada en vigor en 1994, la CMNUCC ha contribuido de forma decisiva a abordar el cambio climático y la necesidad de reducción de emisiones de GEI. El objetivo último de la CMNUCC, de la cual son signatarios prácticamente todos los países, es estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera en un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático.

1 Mitigación es la intervención humana encaminada a reducir las fuentes o potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero (IPCC, 2014a)
2 Partes por millón
3 Partes por billón (1 billón = 1000 millones)

A nivel internacional, la convención es la encargada de establecer las normas, lineamientos y medidas relativas al cambio climático con el fin de que los países reduzcan sus emisiones de GEI y se creen las capacidades nacionales para hacer frente al cambio climático (UNFCCC, 2007).

Como país signatario de la CMNUCC, Guatemala se comprometió a unirse a los esfuerzos globales de mitigación o reducción de emisiones de GEI (MARN, 2015). En cumplimiento de este compromiso que ha asumido en el marco de la convención, Guatemala ha realizado significativos avances para afrontar el cambio climático desde el punto de vista de la mitigación en los diferentes sectores económicos.

Una de las primeras acciones nacionales fue la creación de la Oficina Guatemalteca de Implementación Conjunta (OGIC) en 1996, que fue ratificada en 1997 (Acuerdo gubernativo 474-97, 1997) como Comisión Nacional de Implementación Conjunta. Sus principales actividades incluían i) colaborar en la identificación y definición de políticas nacionales y sectoriales para el aprovechamiento de proyectos de Implementación Conjunta (IC) y de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL); ii) desarrollar mecanismos financieros para la canalización nacional de proyectos y actividades de IC y de MDL; iii) establecer los criterios nacionales para la aprobación de proyectos de IC y de MDL; y iv) aprobar proyectos y actividades nacionales de IC y de MDL.

La OGIC fue conformada por representantes del Ministerio de Energía y Minas (MEM), del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN, en ese tiempo Comisión Nacional de Medio Ambiente [CONAMA]), Fundación para el Desarrollo de Guatemala (FUNDESA), Asociación Nacional de Organizaciones No Gubernamentales de Recursos Naturales y Medio Ambiente (ASOREMA) y un representante de todas las universidades del país.

El Gobierno de Guatemala designó al MARN como la autoridad nacional encargada del MDL, definido en el artículo 12 del Protocolo de Kioto de la CMNUCC, los Acuerdos de Marrakech y decisiones subsiguientes (Acuerdo gubernativo 388-2005, 2005). También establece que corresponde al MARN el cumplimiento de las políticas gubernamentales relacionadas con el MDL en Guatemala de acuerdo con los lineamientos establecidos en la constitución política del país, acuerdos internacionales y normas ordinarias vigentes. A partir de esta designación, por medio del Acuerdo Ministerial 477-2005 (MARN, 2005), se creó la Oficina Nacional de Desarrollo Limpio y se definieron sus objetivos, funciones e integración. Además, en este acuerdo ministerial se emitió el Reglamento para la Solicitud, Análisis, Valoración y Aprobación Nacional de los proyectos que apliquen al MDL (MARN, 2005).

Actualmente, el país cuenta con una Política Nacional de Cambio Climático a través del Acuerdo Gubernativo 329-2009 (MARN, 2009) y una Ley Marco de Cambio Climático desde 2013 (Decreto 7-2013, 2013). Asimismo, el Plan Nacional de Desarrollo K'atun Nuestra Guatemala 2032, en el marco de las metas vinculadas al tema del cambio climático, establece que las emisiones de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-eq}}$) per cápita deberán de estabilizarse en 2.50 toneladas. Para 2005, se contaba con emisiones de 2.11 toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ per cápita de acuerdo con el último inventario nacional de GEI del país (CONADUR, 2014) **(Capítulo 11)**.

En el contexto de la Ley Marco de Cambio Climático, se ha generado una serie de instrumentos jurídicos y técnicos e instancias de gobernanza en la materia, que han permitido al país avanzar en la implementación de acciones de mitigación del cambio climático (MARN, 2016) (Cuadro 12-1).

Cuadro 12-1 Instrumentos multisectoriales a nivel nacional para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero

Instrumento	Entrada en vigencia
Política Nacional de Cambio Climático (Acuerdo Gubernativo 329-2009)	2009
Ley Marco de Cambio Climático (Decreto 07-2013)	2013
Plan de Desarrollo K'atun Nuestra Guatemala 2032	2014
Contribución Determinada a Nivel Nacional	2015
Plan de Acción Nacional de Cambio Climático	2016
Estrategia Nacional de Desarrollo con Bajas Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	2018

Nota: Únicamente se listan los instrumentos que son transversales a todos los sectores contemplados en la mitigación del cambio climático. Elaboración propia, basado en CNCC (2016), CONADUR (2014), Decreto 7-2013 (2013), Gobierno de Guatemala (2015, 2018a), MARN (2009) y USAID (2013).

Como parte de estos instrumentos, el país cuenta con el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC), aprobado por el CNCC en el 2016, el cual presenta acciones prioritarias para reducir las emisiones de GEI en los sectores de energía (transporte, industria manufacturera y construcción, industria energética, y los sectores residencial y comercial), procesos industriales, desechos, agricultura y uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. El plan tiene como fin orientar a la institucionalidad pública y a los diferentes sectores del país para implementar acciones enfocadas al cumplimiento de objetivos y resultados en el contexto de la Ley Marco de Cambio Climático. Pretende, además, que se armonicen, coordinen e interactúen diversas iniciativas y esfuerzos de relevancia nacional para lograr la reducción de emisiones (CNCC, 2016).

Otro instrumento de importancia para el país es la Estrategia Nacional de Desarrollo con Bajas Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (EDBE) (Gobierno de Guatemala, 2018a), la cual se derivó de los compromisos adquiridos en la Conferencia de las Partes de la CMNUCC celebrada en el 2010 en Cancún, México. A raíz de esto, Guatemala firmó con el Gobierno de los Estados Unidos de América un memorando de entendimiento y plan de trabajo conjunto para el periodo 2013-2018. Este proceso fue desarrollado por el proyecto Desarrollo con Bajas Emisiones financiado por la Agencia de los Estados Unidos de América para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés). La creación de la EDBE fue un proceso desarrollado en varias etapas: 1) presentación de la línea base y visión del sector; 2) presentación de las opciones de políticas (posibles acciones de mitigación) y criterios de priorización; 3) priorización de políticas; 4) revisión y validación de las políticas diseñadas; 5) análisis microeconómico de las políticas; e 6) integración de políticas de los sectores y análisis macroeconómico. Los sectores que se priorizaron para hacer este trabajo fueron: a) energía, b) transporte, c) actividades residenciales, comerciales e institucionales, d) industria, e) agricultura, f) uso de la tierra y silvicultura, y g) desechos.

El objetivo de la EDBE, lanzada oficialmente el 14 de noviembre de 2018, es desvincular las emisiones de GEI del crecimiento económico del país a través de los sectores de la economía nacional. Como resultado de esta estrategia, el Gobierno de Guatemala cuenta con un listado priorizado de políticas de reducción de emisiones en los diferentes sectores, lo que permite contar con 43 opciones productivas sostenibles (RTI & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, 2017). Estas opciones poseen un potencial de reducción considerable y, además, permiten sostener la economía de todos los sectores productivos del país (MARN, 2016). Es importante mencionar que, para 12 de estas opciones de mitigación, se han identificado consideraciones de género (RTI & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, 2017)[4]

4 Debido a que la EDBE fue lanzada recientemente, muchas de estas opciones se encuentran a nivel de propuesta, por lo que no se abordarán en este reporte. Se sugiere consultar la página http://desarrolloconbajasemisiones.org.

En adición a lo anterior, como parte del proceso de construcción de la estrategia, se generó una curva de costo marginal de abatimiento (MACC, por su sigla en inglés) para el periodo 2019-2050 (Figura 12-1). Esta curva es una forma gráfica de representar el potencial de reducción de una acción y su costo-efectividad, que expresa el costo o ahorro requerido para reducir una tonelada de $CO_{2\text{-eq}}$. Las barras por debajo del eje horizontal representan un ahorro económico por cada tonelada reducida, mientras que una barra por encima del eje requiere una inversión neta para reducir emisiones. Entre más ancha sea la barra, mayor será el potencial de reducción de emisiones en esa acción. Es importante notar que una curva MACC solo contiene información sobre reducciones y costo-efectividad, pues no contempla otros cobeneficios que podría tener una acción en cuanto a mejorar la resiliencia, apoyar la salud pública o fortalecer el cumplimiento de un marco legal.

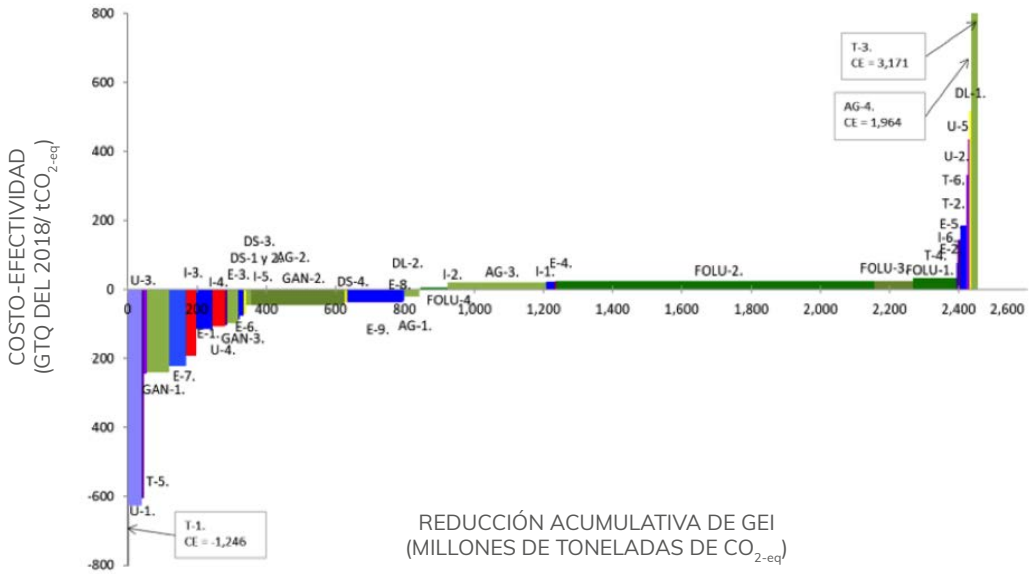


Figura 12-1 Curva de costo marginal de abatimiento para el periodo 2019-2050. Esta gráfica representa el potencial de reducción de una acción y su costo-efectividad, que expresa el costo o ahorro requerido para reducir una tonelada de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-eq}}$). Las barras por debajo del eje horizontal representan un ahorro económico por cada tonelada reducida, mientras que una barra por encima del eje requiere una inversión neta para reducir emisiones. Entre más ancha sea la barra, mayor será el potencial de reducción de emisiones en esa acción. Tomado de Gobierno de Guatemala (2018a).

Adicional a estos esfuerzos de carácter nacional, algunos sectores del país han generado instrumentos económicos orientados a la mitigación, usando herramientas tanto en el mercado regulado como en el voluntario. Dentro del mercado regulado, desde la adopción del Protocolo de Kioto en 1997, el país se ha mantenido muy activo e interesado en promover y ejecutar proyectos para el MDL, el cual permite que países en desarrollo certifiquen sus reducciones de emisiones de GEI y puedan vender dichos certificados a los países industrializados con compromisos de reducción de emisiones. Guatemala ha logrado registrar 16 proyectos dentro del MDL, los cuales permiten una reducción aproximada de 1.17 millones de $tCO_{2\text{-eq}}$/año (CDM, 2018) (Cuadro 12-2).

En cuanto al mercado voluntario, Guatemala cuenta con siete proyectos que se encuentran desarrollados y registrados dentro del Verified Carbon Standard (VCS). Estos proyectos tienen un potencial de reducción de emisiones de 2.50 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ por año. El Cuadro 12-2 muestra la información específica para cada uno de estos proyectos, incluyendo el porcentaje de reducción de emisiones de cada tipo de proyecto, en relación con los 2.50 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ por año (VCS, s/f).

Cuadro 12-2 Número y tipo de proyectos de Guatemala registrados en el mercado regulado y voluntario

Tipo de Mercado	Número de proyectos	Tipo de proyecto	Reducción anual de emisiones	Porcentaje de reducción
Regulado	11	Hidroeléctrico	876 500	75.2
	1	Eólico	82 900	7.1
	1	Geotérmico	83 000	7.1
	3	Reúso de biogás obtenido del proceso de aguas industriales residuales	123 000	10.6
Voluntario	3	REDD+ (Guatecarbon, Costa del Caribe y Lacandón)	2 353 000	92.6
	1	Agroforestería y restauración forestal	39 500	1.6
	2	Plantaciones de caucho natural	65 400	2.6
	1	Geotérmico	83 000	3.2

Nota: Cada proyecto se presenta con su respectivo aporte de reducción anual de emisiones presentadas en toneladas de dióxido de carbono equivalente al año (t $CO_{2\text{-}eq}$/año). Elaboración propia, basado en CDM (2018) y VCS (s/f).

En los últimos años han surgido varias entidades en Guatemala que permiten a empresas e individuos calcular su huella de carbono. En este esquema, las compañías calculan la cantidad de emisiones de GEI que emiten debido a la quema de combustibles fósiles, consumos de energía y otras actividades, y con base en esto implementan acciones para la reducción y compensación de parte de tales emisiones. Es importante mencionar que el país realizó esfuerzos por establecer una plataforma voluntaria ReduzCO_2, cuyo mercado objetivo era el sector privado, específicamente empresas que buscan medir su huella de carbono y compensar emisiones de GEI (MARN, 2015). Sin embargo, no hubo una implementación específica de proyectos después de su lanzamiento.

Para sistematizar las iniciativas y proyectos de mitigación existentes en el país, a mediados del 2014, el Gobierno de Guatemala lanzó la iniciativa Guatemala Huella Cero, la cual buscaba reunir bajo un concepto local todas las actividades, proyectos, programas y acciones realizadas por el sector público, sector privado, sociedad civil, cooperación internacional y academia, que impulsan la competitividad y el crecimiento social y económico sostenible a largo plazo, desvinculando la generación de emisiones de GEI (MARN, 2015). No fue posible darle seguimiento a esta iniciativa, pero representó un primer intento de integrar en una sola plataforma la información de todos los proyectos de mitigación existentes en el país.

El país también ha presentado tres propuestas en el marco de las NAMA, abordando diversos sectores emisores, entre ellos el subsector ganadero, el sector de cambio de uso del suelo y el sector de desechos[5]. Asimismo, se encuentra actualmente elaborando una cuarta, sobre café. Las NAMA son acciones voluntarias realizadas por los países en vías de desarrollo para reducir emisiones de GEI, las cuales deben estar alineadas con políticas nacionales y sectoriales, y generar cobeneficios. Cualquier acción debe realizarse en el contexto de un desarrollo sustentable, de manera medible, reportable y verificable, y debe estar apoyada por financiamiento, tecnología y desarrollo de capacidades. Como parte del Acuerdo de Cancún (UNFCCC, 2011), la secretaría de la CMNUCC estableció un registro de las NAMA, en el cual se registra la información de las acciones propuestas por los países que buscan apoyo internacional en materia de financiamiento, desarrollo de tecnología y capacidades para implementar dichas acciones.

5 NAMA de Ganadería Sostenible, NAMA de leña y NAMA de gestión integral de residuos y desechos sólidos en las cuencas de los lagos de Amatitlán, Izabal y Peten Itzá.

Por último, es importante mencionar que Guatemala, como signatario del Acuerdo de París, que entró en vigor para el país el 24 de febrero de 2017, aprobado por el Congreso de la República (Decreto 48-2016, 2016) y ratificado por el presidente de la República el 5 de diciembre de 2016, realizó una propuesta de reducción de emisiones ante la CMNUCC en el marco de la NDC, la cual fue sometida a la convención en septiembre de 2015. La propuesta presentada por Guatemala se basa en la tendencia de las emisiones de GEI del país en el periodo 1990-2005, durante el cual se observó un incremento promedio de 0.90 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ por año. Con esta información, se realizó una proyección de las emisiones entre los años 2005 y 2030, y se encontró que las emisiones se incrementarán de 31.45 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ en 2005 a 53.85 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ hacia 2030. Con base en estos datos, Guatemala se comprometió a reducir el 11.2 % de las emisiones GEI proyectadas al año 2030 (propuesta no condicionada, a realizarse con recursos propios), lo cual significa una reducción total de 6.04 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ (Gobierno de Guatemala, 2015).

Asimismo, el país presentó una propuesta condicionada a la obtención de apoyo técnico y financiero necesario, proveniente de recursos internacionales públicos y privados, nuevos y adicionales, en donde se compromete a reducir hasta el 22.6 % de las emisiones proyectadas al 2030. Esto implica reducir las 53.85 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ estimadas para el año 2030 a un valor de 41.66 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ para ese año (Gobierno de Guatemala, 2015). El Cuadro 12-3 resume los compromisos presentados en la NDC de Guatemala.

Las contribuciones contenidas en la NDC fueron incorporadas al Plan Nacional de Desarrollo K'atun 2032 y articuladas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) al 2030, en cumplimiento de los mandatos de la Política Nacional de Cambio Climático, la Ley Marco de Cambio Climático y sus salvaguardas (art. 3), los derechos humanos, la equidad de género, los derechos de los pueblos indígenas y los principios reconocidos internacionalmente por el país (Gobierno de Guatemala, 2015).

Cuadro 12-3 Compromisos de reducción de emisiones, según lo presentado en el NDC de Guatemala

Propuesta NDC	Porcentaje de reducción de emisiones	Emisiones BAU en 2030	Emisiones en 2030 con las reducciones
No condicionada	11.2	53.85	47.81
Condicionada	22.6		41.66

Nota: Las emisiones del escenario tendencial (business as usual [BAU]) y con reducciones se muestran en millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente. NDC = Contribución Determinada a Nivel Nacional. Elaboración propia, basado en Gobierno de Guatemala (2015).

12.3 Gasto nacional en cambio climático

Actualmente, el gasto nacional en cambio climático es ejecutado por siete principales actores; cinco de ellos son instituciones del sector público (MARN, MAGA, Consejo Nacional de Áreas Protegidas [CONAP], Instituto Nacional de Bosques [INAB], Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres) y dos pertenecen al sector privado (cooperación internacional y sector privado). Del total de gasto acumulado para el periodo 2014-2017 (GTQ 15 661.67 millones), el 84 % se destinó a acciones de mitigación y el 16 % restante a adaptación (Villagrán, 2017a).

El promedio anual del gasto público en mitigación asciende a GTQ 204.45 millones, con una tendencia a un incremento significativo en el presupuesto de 2017. El subsector con mayor volumen de este gasto corresponde al uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, con un 85.6 %; debido principalmente al programa de incentivos forestales (Villagrán, 2017b).

En cuanto al gasto privado en mitigación, la dimensión más importante la constituye el sector de energía (transporte, industria manufacturera y construcción, e industria energética residencial y comercial), con un promedio de GTQ 2607.47 millones, que por sí sola representa el 94 % del total.

Villagrán (2018) estimó que el costo total para llevar a cabo el PANCC para el periodo 2018-2032 asciende a USD 23 033.62 millones. De este monto, el 75 % del requerimiento es para inversión y el 25 % corresponde a gasto. Se estima que el componente de mitigación requiere de USD 6702.29 millones, que equivale a 29 % (Villagrán, 2017a).

En función del costo para el periodo 2018-2032, se muestran necesidades de financiamiento en el orden de USD 1379.41 millones anuales. Las dimensiones que muestran los mayores requerimientos son las siguientes: la gestión integrada de los recursos hídricos, con USD 767.04 millones anuales; infraestructura con USD 282.14 millones anuales; y uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, con requerimientos anuales de USD 214.68 millones. El total de requerimientos anuales para mitigación exige USD 142.09 millones. Este último valor está influenciado porque el sector de energía muestra un superávit en su financiamiento debido a la alta participación del sector privado en dicho aspecto. Al descontar este valor, el total anual requerido por mitigación asciendo entonces a USD 418.50 millones (Villagrán, 2018).

12.4 Opciones de mitigación por sector

12.4.1 Sector de la energía

Dentro del sector de la energía, se reconoce que las emisiones surgen como resultado de las actividades de combustión, o por la quema de los combustibles, y por escape sin combustión de los combustibles, como emisiones fugitivas. Estas se desglosan en cuatro subsectores: i) industria energética, ii) industria de manufactura y construcción, iii) transporte, y iv) otros sectores, que incluyen la quema derivada de las actividades comerciales e institucionales, las residenciales, y las emisiones de la agricultura, silvicultura, pesca y piscicultura (IPCC, 2006).

Derivado de la modernización del subsector eléctrico en Guatemala, que inició en 1996 con la promulgación de la Ley General de Electricidad (Decreto 93-96, 1996) y la promulgación de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable (Decreto 52-2003, 2003), se promovió el cambio de la matriz energética en el país, dando prioridad al uso de fuentes renovables, con lo que se ha logrado implementar acciones concretas en la reducción de las emisiones de GEI (MARN, 2015). A continuación, se presentan los principales esfuerzos realizados en el país.

12.4.1.1 Industria energética

En la década 2000-2010 el país logró incorporar a la matriz energética una gran cantidad de plantas que utilizan fuentes renovables, lo cual impactó positivamente en la reducción de las emisiones de GEI por la generación de energía eléctrica. Esto se logró debido a la prioridad que se le dio a la generación mediante fuentes de energías renovables[6], frente a la generación con fuentes no renovables[7] (Figura 12-2).

6 Dentro del rubro de energías renovables se incluye la generada por las plantas hidroeléctricas, geotérmicas, biomasa (bagazo de caña), plantas de generación fotovoltaica y eólicas.

7 Dentro del rubro de energías no renovables se incluye la generación por carbón mineral, *bunker*, *diesel oil* y orimulsión.

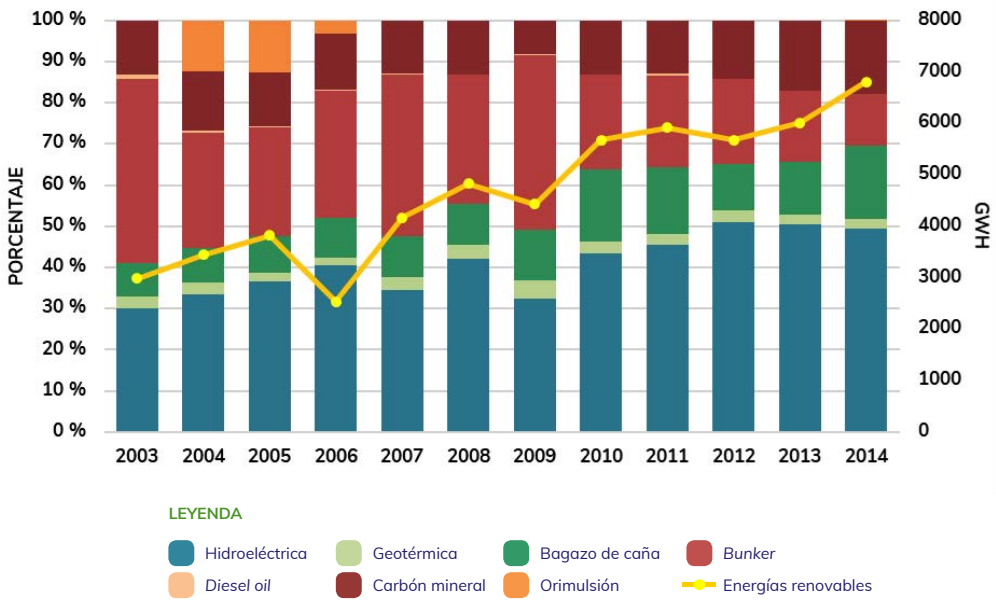


Figura 12-2 Evolución de la composición de la matriz energética de Guatemala para el periodo 2003 a 2014. Las energías renovables se presentan en colores azules y verdes, mientras que las no renovables en tonalidades rojas y naranja; y se expresan en gigavatios por hora (GWh, eje y derecho). El eje y izquierdo muestra la proporción en porcentaje de las energías renovables (línea amarilla), donde se muestra un incremento positivo. Elaboración propia, basado en MEM (2018c).

La búsqueda de una matriz energética con predominio de energías renovables ha sido uno de los bastiones de la Política Energética (MEM, 2013). Como resultado de esta política y de la implementación de los Planes Indicativos de Generación y Transmisión (MEM, 2016), se logró que la relación entre la generación con fuentes renovables y con fuentes no renovables aumentara de 44 % a 67 % del año 2005 al 2014. Estas acciones permitieron reducir considerablemente la dependencia y uso de combustibles fósiles en el país.

Otra acción de importancia para la reducción de las emisiones del sector energético es por medio del impulso de la eficiencia energética. Guatemala está proponiendo la implementación de un Plan Integral de Eficiencia Energética, que tendrá como objetivo «propiciar el ahorro y uso eficiente de la energía, contribuyendo con ello al desarrollo económico y social del país, así como a la preservación del medio ambiente». Si se implementan las medidas de este plan, el país tendría ahorros en el orden de los 1100 GWh en un periodo de 10 años (CNEE, 2018).

A pesar de los esfuerzos mencionados, a partir del año 2012, se ha incrementado el consumo de carbón mineral en la generación de energía eléctrica mediante fuentes no renovables, pues se pasó de 494 000 toneladas consumidas en el 2011 a 1 803 000 toneladas consumidas en el 2016 **(apartado 11.3.2. Sector energía, capítulo 11)**. Este cambio reciente en la matriz energética de Guatemala ha impactado en el aumento total de las emisiones de GEI del sector, con lo cual se invisibilizan los resultados de haber incorporado fuentes renovables en la generación del país.

En el año 2017, en cumplimiento del artículo 18 de la Ley Marco sobre Cambio Climático, el MEM, el MARN y la Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) presentaron el Plan Nacional de Energía 2017-2032 (MEM, MARN, & SEGEPLAN, 2017), el cual está basado en la ejecución de tres ejes: i) aprovechamiento sostenible de los recursos renovables, ii) eficiencia y ahorro energético y iii) reducción de emisiones de GEI. Este último eje busca demostrar las cantidades de emisiones de GEI que se pueden reducir por sector, debido a la implementación de los dos primeros ejes, los cuales contribuirían a la mitigación de las emisiones de GEI (MEM et al., 2017) (Figura 12-3).

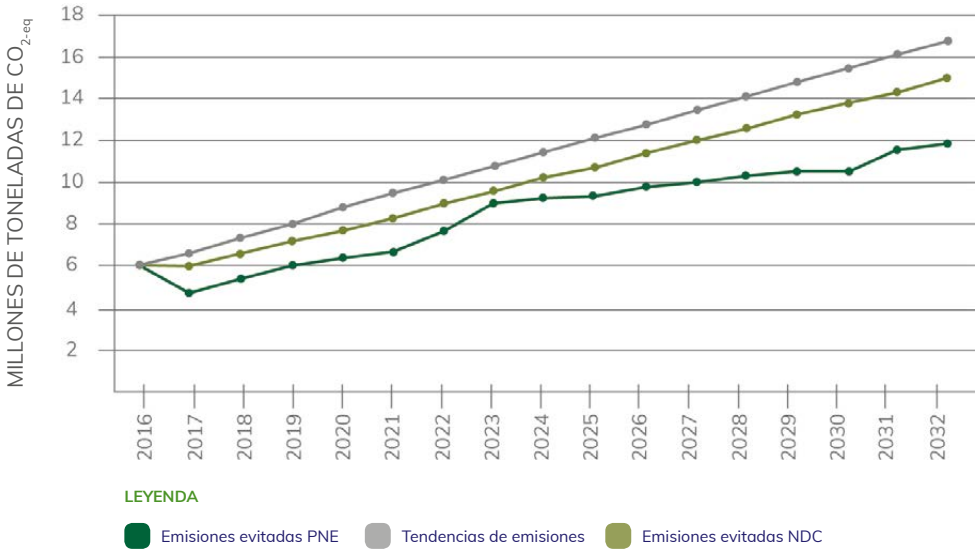


Figura 12-3 Tendencia de emisiones de GEI y reducciones propuestas por el Plan Nacional de Energía (PNE) 2017-2032. Las emisiones se expresan en millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_{2-eq}). Se muestra una reducción de 29 % de las emisiones de GEI (línea verde oscuro) respecto a su escenario tendencial (línea gris), que a la vez superan el compromiso de reducción no condicionada de la NDC (Contribución Determinada a Nivel Nacional, línea verde claro). Adaptado de MEM et al. (2017).

Con la implementación de este plan, se espera una reducción de 29 % de las emisiones de GEI (línea verde oscuro de la Figura 12-3) respecto a su escenario tendencial (línea gris en la Figura 12-3). Estas reducciones equivaldrían a 4.91 millones de toneladas de CO_{2-eq} para el año 2032 (MEM et al., 2017). Con la implementación de este plan, Guatemala estaría dando un paso fundamental para el cumplimiento a la Contribución Determinada a Nivel Nacional, ya que este ahorro de emisiones superaría al compromiso de reducción «no condicionadas» (línea verde claro en la Figura 12-3).

Sin embargo, el Indicador de Desempeño Energético de dicho plan muestra que las emisiones de GEI por cada MWh demandado se incrementará levemente a futuro (Cuadro 12-4), dado que se considera la posible modificación de los patrones de lluvia en el país, lo cual tendrá impactos en la generación hidroeléctrica y, por tanto, alteraciones en la matriz energética a partir del año 2020 (MEM et al., 2017).

Cuadro 12-4 Indicador de desempeño energético 2012-2032

Año	Emisiones de GEI	Demanda de energía	Indicador de desempeño energético
2012	6.07	8.70	0.70
2013	5.96	9.27	0.64
2014	6.56	9.78	0.67
2015	7.16	10.30	0.70
2016	7.76	10.88	0.71
Meta 2020	6.46	11.41	0.57
Meta 2025	9.36	12.75	0.73
Meta 2032	11.91	16.15	0.74

Nota: En la segunda columna se presentan las emisiones de GEI (generación / consumo de energía) en millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente por cada megavatio-hora (MWh) consumido. En la tercera columna la demanda de energía se expresa en millones de megavatios-hora. El Indicador de desempeño energético se expresa en toneladas de dióxido de carbono equivalente por megavatio-hora. GEI = gases de efecto invernadero. Tomado de MEM et al. (2017).

En la propuesta de la aplicación de la Política Energética, y con la finalidad de evaluar cómo este instrumento puede apoyar el cumplimiento de los compromisos adquiridos en su NDC, el MEM generó varios escenarios del impacto de la aplicación de las acciones de la política. Las acciones evaluadas fueron lograr el 80 % de la generación de la matriz energética con energías renovables; mejorar la eficiencia del 25 % en el consumo de la industria; mejorar el 25 % de eficiencia en el sector de transporte, y la incorporación de la propuesta de transporte integrado[8] (MEM et al., 2017) (Cuadro 12-5).

Cuadro 12-5 Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero respecto a los escenarios tendenciales

Año / Escenario	Tendencial	NDC – Sector de la energía		Plan Nacional de Energía	
	Emisiones de GEI	Emisiones de GEI	Reducción	Emisiones de GEI	Reducción
2020	8.72	7.84	11.2	6.46	25.9
2027	13.45	12.09	11.2	10.04	25.3
2032	16.82	15.13	11.2	11.91	29.2

Nota: ELos valores se presentan en millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente. La segunda columna muestra las emisiones bajo un escenario de tendencia actual sin ninguna intervención; las columnas que indican reducción se expresan en porcentajes. GEI = gases de efecto invernadero; NDC = Contribución Determinada a Nivel Nacional. Elaboración propia, basado en MEM et al. (2017).

Otras acciones para la reducción de emisiones de GEI relacionadas con el sector energético fueron identificadas en la Estrategia de Desarrollo con Bajas Emisiones, de las cuales destacan cinco tipos de acciones (Gobierno de Guatemala, 2018a): i) mejora de hornos (con la finalidad de reducir el consumo de combustible para la generación de energía térmica); ii) mejora de calderas y otros equipos (para reducir el consumo de combustibles para energía térmica); iii) mejora de eficiencia energética (que busca reducir el consumo de energía eléctrica en el usuario final); iv) generación con fuentes renovables para autoconsumo (que busca reducir la demanda de energía eléctrica de la red); y v) recuperación de calor (que reduce las pérdidas de energía térmica y se reutiliza en otros proceso productivos). Estas acciones, que son costo-efectivas, están en fase de propuesta.

12.4.1.2 Transporte: uso de etanol como combustible

La propuesta del uso de etanol como mezcla de los combustibles no es nueva en Guatemala, pues se cuenta con antecedentes sobre el uso de este tipo de combustibles, que se realizaron en los años 80. Sin embargo, no fue posible encontrar la documentación de los resultados de esta experiencia. Posteriormente, en el año 1985, se promulgó la Ley de Alcohol Carburante (Decreto 17-85, 1985) y el Reglamento de la Ley de Alcohol Carburante (Acuerdo gubernativo 420-85, 1985), derivadas de las iniciativas que se tenían en ese momento. Sin embargo, diversos factores, como dificultades operacionales, caída de los precios del petróleo y la falta de una adecuada planificación, propiciaron la falta de continuidad de esta iniciativa, que, en términos generales, no llegó a la efectiva comercialización de los combustibles y mantuvo su disponibilidad al consumidor por poco tiempo (MEM, 2018b).

8 Sistema BRT (Bus Rapid Transit), Transmetro (UNFCCC, 2006).

A inicios del 2015, el MEM, con el apoyo de la Organización de Estados Americanos (OEA), el Gobierno Federal de Brasil y el Gobierno de los Estados Unidos de América, lanzó el proyecto piloto para la mezcla y uso de etanol en los combustibles de Guatemala. Este proyecto busca evaluar diferentes mezclas de etanol carburante en las gasolinas de la ciudad de Guatemala, evaluando tres niveles de mezcla: E5, E7 y E10[9] (MEM, 2018b). Una de las principales razones por las cuales se implementó este plan piloto fue la generación de información local sobre los beneficios, impactos, desventajas, vacíos y aspectos técnicos que permitan proponer un proyecto de escala nacional. Se espera que con un proyecto de esta magnitud, se logre un ahorro en la balanza de pagos por importación de gasolinas de hasta USD 104 millones aproximadamente, que podría reducir la dependencia de combustibles importados[10] y lograr una disminución de las emisiones de GEI, debido a la oxigenación de las gasolinas con alcohol carburante (MEM, 2014).

Entre los principales resultados que este plan piloto logró demostrar, se determinó un aumento en el octanaje de la gasolina en al menos 1.5 números con la mezcla E5 y hasta tres números con la mezcla E10[11]. Esto se tradujo en un aumento de la potencia y torque de los motores en un 7 % con la mezcla E5 y un 13 % con la mezcla E10, sin evidenciar variaciones significativas en el rendimiento en km por galón de los vehículos empleados. Asimismo, se produjo una reducción en las emisiones evaluadas (NO, SO_2, CO y HC) y la más relevante fue la del monóxido de carbono (CO), con una reducción promedio del 79 % , que varió de 30 % a 90 % (MEM, 2015).

A pesar de que esta iniciativa ha sido estudiada en varias oportunidades, no ha sido implementada en el país por limitaciones que establece la legislación nacional. Desde el año 2006, existe una propuesta de modificación de la Ley de Alcohol Carburante en el Congreso de la República, que no ha logrado avanzar en su discusión y aprobación. Se espera que el Ministerio de Energía y Minas, como ente rector del tema, continúe con los análisis técnico-jurídicos para implementarla. Este tipo de iniciativas forman parte del segundo eje de la Política Energética, que persigue reducir la dependencia de los combustibles fósiles y la inclusión de combustibles alternativos. Con esto se espera mejorar la calidad del aire y la reducción de emisiones de GEI al limitar el uso de aditivos metálicos y promover el uso de aditivos orgánicos (MEM, 2013).

Se han estado estudiando otras opciones para mejorar el transporte masivo de personas, como los sistemas de transporte por cable (teleféricos), el sistema Metro Riel de superficie o los sistemas de metro subterráneo. Todas estas iniciativas se encuentran en fases iniciales de planificación (ideas o prefactibilidad), por lo que no se pueden considerar como propuestas hechas en firme.

Finalmente, se prevén reducciones de emisiones en este sector cuando los vehículos eléctricos empiecen a popularizarse en el país, como ya está ocurriendo en países desarrollados. Actualmente, se está apenas empezando a promocionar en Guatemala de forma muy limitada este tipo de vehículos, tanto para transporte personal como para transporte colectivo urbano. Este último sector podría ser el primero en experimentar con buses eléctricos, ya que la autonomía de distancia de esos vehículos los hace ideales para rutas urbanas.

9 Corresponde a la relación de la mezcla de etanol con la gasolina: E5 se compone de un 5 % de etanol y un 95 % de gasolina, y así sucesivamente.
10 Guatemala es un gran productor de etanol carburante (65 millones de galones al año), de dicha producción, casi un 90 % es exportado a mercados europeos y otros (ACR, 2015).
11 Octanaje es la escala para evaluar el poder antidetonante de los carburantes, cuando estos son comprimidos en el cilindro que forma parte de un motor.

12.4.1.3 Otros subsectores: uso de leña

Una gran parte de los hogares guatemaltecos (64 % al año 2015) dependen directamente de la leña como fuente de energía para cocinar sus alimentos y para la calefacción; de este porcentaje, 67 % de los hogares se ubican en el área rural y el restante 33 % en el área urbana. Esta situación ha sido influenciada por el crecimiento poblacional, la pobreza, la falta de oportunidades económicas, la tradición, el costo relativamente bajo y libre acceso a la leña, y el costo elevado de posibles sustitutos (INAB, 2015). Más allá de la problemática ambiental derivada de esta actividad, se tiene el problema de la afección a la salud humana causada por las partículas que respiran principalmente las mujeres y los niños cuando se utiliza la leña en fuegos abiertos sin un sistema de chimenea adecuado.

Los balances energéticos de Guatemala muestran que, de la oferta total de las energías primarias del país, la leña aporta el 69 %; este aporte fue de 64 % a 74 % para el periodo 2002-2017 (Figura 12-4). El 97 % de esta oferta energética es consumida a nivel residencial (periodo 2008-2017) y el restante 3 % se consume en el sector de comercio y servicios (MEM, 2017, 2018a).

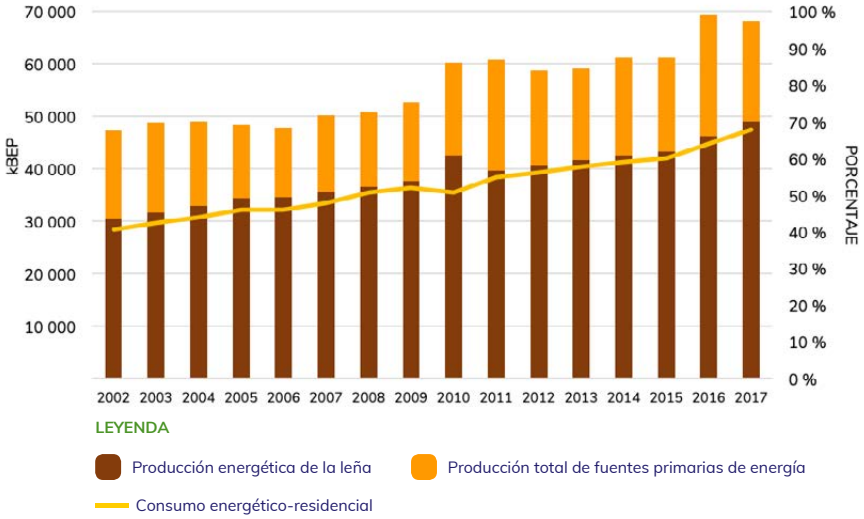


Figura 12-4 Evolución de la producción total de fuentes primarias de energía y la producción energética de la leña para el periodo 2002-2017. La producción de energía (eje y izquierdo) se expresa en miles de barriles equivalentes de petróleo (kBEP). El eje y derecho muestra la proporción (en porcentaje) de consumo energético a nivel residencial, que muestra una relación muy cercana con la producción energética de leña (barras de color café). Elaboración propia, basado en MEM (2017, 2018a).

Otra fuente de información sobre el consumo de leña en Guatemala es el estudio Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala (INAB, Iarna-URL, & FAO/GFP, 2012), el cual determinó que la demanda anual de leña es de 28 millones de metros cúbicos, de los cuales el 85 % es demandada por las residencias rurales, el 13 % por las residencias urbanas y el restante 2 % por la industria. Este mismo estudio concluyó que se extraen 10 millones de metros cúbicos de leña por encima de la capacidad de crecimiento de los bosques naturales, plantaciones forestales y sistemas agroforestales, lo cual hace que esta actividad sea insostenible a largo plazo por la deforestación y degradación de bosques resultante.

Ante esta situación, el Estado de Guatemala ha asumido la responsabilidad de garantizar los medios de vida de la población promoviendo el desarrollo a través de la operativización de políticas como la de desarrollo rural integral (CONIC, UNAMIC, & Gobierno de Guatemala, 2009), la energética (MEM, 2013), la forestal (MAGA, PAFG, INAB, & CONAP, 1999), la de cambio climático (MARN, 2009), la de seguridad alimentaria (Gobierno de Guatemala, 2005) y la agropecuaria (MAGA, 2016). Como resultado, se ha desarrollado la Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso Eficiente de Leña 2013-2024, que considera las líneas estratégicas siguientes: i) plataformas y arreglos institucionales, ii) producción sostenible de leña, iii) sistemas de uso eficiente de leña, iv) educación y v) extensión rural (INAB, 2015).

Con la implementación de la estrategia se espera alcanzar metas como 48 000 hectáreas de plantaciones y sistemas agroforestales con apoyo de los programas de incentivos forestales, que producirán aproximadamente 1.2 millones de metros cúbicos de leña anualmente. Asimismo, se espera promover el uso de tecnologías apropiadas para el uso eficiente de la leña, mediante asistencia técnica y financiera para establecer y supervisar 100 mil estufas mejoradas. Además, se proyecta reducir en un 25 % el déficit de leña a nivel nacional y beneficiar a 231 400 hogares , lo que equivale a 1.1 millones de beneficiarios (13 % de los hogares que actualmente usan fogones abiertos) (INAB, 2015). Sin embargo, a la fecha de este reporte, el INAB no ha publicado un informe oficial de los resultados de la implementación de los diferentes ejes de esta estrategia.

En el 2016, fue aprobada, en fase preparatoria, una NAMA sobre leña, presentada por PRONACOM en coordinación con el MARN, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Ministerio de Desarrollo Social, Secretaría de Asuntos Alimentarios, INAB, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Clúster de Estufas Mejoradas y la Alianza Global de Estufas Mejoradas (PRONACOM, 2016). Actualmente, se encuentra en la etapa de análisis de prefactibilidad para iniciar con la ejecución en 2019.

12.4.2 Sector de procesos industriales y uso de productos

No se logró obtener información específica de acciones para reducir las emisiones en los procesos de la industria nacional, aunque se tiene información indirecta de iniciativas en la industria cementera. Durante el proceso de construcción de la Estrategia de Desarrollo con Bajas Emisiones se instalaron varias mesas de trabajo sectoriales. Los representantes de las diferentes industrias que participaron en la mesa sectorial de industria indicaron que para este sector era preferible enfocarse en mejorar los temas energéticos asociados a las industrias.

Un logro importante relacionado con el sector industrial es la adopción de la ISO 14064 como la Norma Técnica Guatemalteca (NTG) 14064, proceso que realizó la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) en el 2017. Con esta acción, se está dando un respaldo a empresas e industrias que desarrollan inventarios de emisiones de GEI a nivel de empresa. Muchas de estas, ya están calculando sus emisiones y sus huellas de carbono, tanto como ejercicio para mejorar eficiencia como para cumplir con demandas de mercados internacionales (J. Schwarz, comunicación personal, 18 de septiembre de 2018).

12.4.3 Sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra

12.4.3.1 Subsector de agricultura: fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 en la tierra

El proyecto de USAID, Desarrollo con Bajas Emisiones, como parte de la construcción de la Estrategia de Desarrollo con Bajas Emisiones, ha identificado acciones específicas que deben implementarse en cada uno de los sectores emisores para reducir su contribución de GEI. Dentro del sector agricultura, se ha identificado como prioritario el manejo sostenible de los suelos[12]. Cuando estos se gestionan de manera sostenible, pueden jugar un papel importante en la mitigación de las emisiones de GEI a través del almacenamiento de carbono y la reducción de las emisiones de GEI en la atmósfera. Algunas de las medidas orientadas hacia el manejo sostenible de los suelos incluyen la implementación de prácticas agrícolas mejoradas que aumenten el carbono orgánico del suelo, como la agroecología, la agricultura ecológica, la agricultura de conservación y la agrosilvicultura (Gobierno de Guatemala, 2018a). Esas prácticas aportan, además, múltiples beneficios, ya que producen suelos fértiles, que son ricos en materia orgánica (carbono), mantienen las superficies de suelo con vegetación, requieren menos insumos químicos y promueven la rotación de cultivos y la diversidad biológica. Estos suelos también son menos susceptibles a la

12 El manejo sostenible de los suelos aborda las prácticas relacionadas con la gestión, conservación y restauración de los suelos, así como la eliminación de la quema de residuos de cultivos. Toma en consideración la implementación de prácticas que eviten o reduzcan la erosión del suelo y que contribuyan a mantener su fertilidad natural, así como el manejo de la fertilización (CCS & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, 2018).

erosión y la desertificación, y mantendrán servicios ecosistémicos vitales, como los ciclos hidrológicos y de nutrientes, que son esenciales para mantener y aumentar la producción alimentaria (FAO, 2015).

Se ha identificado, además, el establecimiento y mejoramiento de sistemas agroforestales, y el establecimiento de plantaciones con potencial frutícola, principalmente a través de especies que tengan un alto potencial de almacenamiento de carbono como el cacao, aguacate, cítricos y mango, asociados a cultivos anuales (Gobierno de Guatemala, 2018a).

También hay oportunidad de mejora en el uso más eficiente de fertilizantes nitrogenados (Gobierno de Guatemala, 2018a). Esto se puede dar a través del manejo de la cantidad, tipo, momento de aplicación y colocación del fertilizante nitrogenado. Para esto, es importante calcular la dosis óptima a aplicar de acuerdo con el tipo de suelo y cultivo. Asimismo, debe considerarse la aplicación foliar de urea, puesto que esta práctica ha demostrado ser eficiente en el uso del fertilizante. El abono animal puede ser un recurso generado en el campo alternativo para compensar el aumento en los costos del nitrógeno mineral y, por lo tanto, puede ayudar a obtener un valor a partir de los desechos del campo (Verhulst, François, Grahmann, Cox, & Govaerts, 2015).

Dentro del subsector de la agricultura a nivel internacional, se cuenta con la Norma para Agricultura Sostenible para Producción Agrícola y Ganadera de Fincas y Grupos de Productores, elaborada y promovida por Rainforest Alliance (2017). Esta reconoce los retos que representa el cambio climático y busca abordarlos promoviendo de forma activa la «agricultura climáticamente inteligente» **(capítulo 6)** y desarrollando la resiliencia de las fincas y las comunidades agropecuarias. Asimismo, busca reducir las emisiones de GEI causadas por prácticas agrícolas relacionadas con el uso de energía, fertilizantes y plaguicidas, así como las emisiones de metano, y mantener o promover, a la vez, las reservas de carbono en el suelo, bosques y otra vegetación dentro de la finca. En Guatemala, Rainforest Alliance, en conjunto con la Fundación Interamericana de Investigación Tropical (FIIT) y con el apoyo de Efico y la Asociación Nacional del Café (ANACAFE), está promoviendo el uso de estas prácticas para que los productores las adopten voluntariamente a nivel nacional (Rainforest Alliance, 2017).

Asimismo, en Guatemala, las empresas vinculadas al subsector agrícola han empezado a calcular su huella de carbono en los últimos años. La información sobre la huella de carbono ha permitido que se establezcan acciones para disminuir las emisiones por medio de investigación e inversiones en la aplicación eficiente de fertilizantes nitrogenados y manejo de desechos (MARN, 2015).

12.4.3.1.1 Industria azucarera

Esta es una de las más importantes para la economía de Guatemala, no solo por la producción de azúcar, sino también por otros productos y servicios que genera, como la electricidad y el alcohol (MARN, 2015). En este contexto, el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC) ha llevado a cabo estimaciones de la huella de carbono o emisiones de GEI en la industria azucarera (MARN, 2015) y estimó las emisiones para todo el ciclo de las zafras 2010-2011, 2012-2013 y 2013-2014, incluida su industrialización (Mena, 2015).

Entre las acciones de mitigación que pueden ser aplicadas en la industria azucarera están la sustitución de los combustibles fósiles por biocombustibles (biodiésel y bioetanol), contemplando tanto su uso como su producción; la reducción del uso de fertilizantes minerales por un uso más eficiente o su sustitución por biofertilizantes (producidos internamente); la gasificación de residuos de bagazo y caña de azúcar; y una mayor generación de bioelectricidad (cogeneración) (Guerra & Hernández, 2012).

Entre las medidas que ya se están efectuando en la agroindustria azucarera de Guatemala se encuentra la utilización de la vinaza[13] como fertilizante por algunos de los ingenios. A finales de los años 1990,

13 Residuo resultante de la fermentación y destilación de melazas con origen en la caña de azúcar.

el ingenio Santa Ana inició su uso. Posteriormente, en 2005, el ingenio Pantaleón comenzó a establecer áreas para la fertilización con dicho producto y contaba con un programa de 5000 ha aproximadamente para el año 2011. El ingenio Tulula experimenta con dicha técnica desde el 2008, mientras que el ingenio Magdalena empezó en 2010. El empleo de la vinaza no solo responde a una medida de mitigación, sino que también es un importante factor económico debido a los resultados positivos en el aumento de la producción de caña. Su aplicación suple en buena medida los requerimientos nutricionales del cultivo (Guerra & Hernández, 2012).

Además, desde 1994, se han llevado a cabo estudios para determinar opciones de fertilización con diferentes nutrientes, entre ellos el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Los resultados y análisis de estas investigaciones han permitido recomendar las dosis necesarias de nutrientes y, por ende, de fertilizantes para las diferentes fases del cultivo de la caña de azúcar, lo cual ha influido en que disminuyan las cantidades de fertilizantes utilizadas (Guerra & Hernández, 2012).

También, desde 1994, se inició el proyecto de cogeneración empleando el bagazo de caña, mediante la suscripción de un contrato de suministro de energía y potencia que incluía a seis ingenios. Para satisfacer en forma permanente la demanda del sistema nacional interconectado, el bagazo se combina con el uso de combustibles fósiles (*bunker*) para producir energía en forma permanente. Con ello se ha evitado el vertido del bagazo de caña de azúcar en los cauces de ríos o su disposición a cielo abierto, a la vez que ha representado la disminución en el uso de combustibles fósiles. Durante las zafras 2007-2008 y 2008-2009, 97 % de la energía fue producida a través de bagazo. El consumo de *bunker* pasó de casi 18 900 galones en la zafra 1997-1998 a cerca de 3700 galones en la zafra 2008-2009. Para 2009, la cogeneración de los ingenios había aumentado en casi 6 % la producción de energía en el Sistema Eléctrico Nacional, pasando de 15 % en el periodo 2003-2004 a 21 % en el 2008-2009 (Guerra & Hernández, 2012). Para el periodo 2013-2014, el uso del bagazo de la caña en lugar de *bunker* o carbón mineral en la generación de energía eléctrica para la producción de azúcar resultó en emisiones evitadas de entre 0.65 y 0.80 millones de $tCO_{2\text{-}eq}$. Además, se estimó que, al no quemar la caña de azúcar y realizar la cosecha en verde (sin quemas), se evita la emisión de 0.02 millones de $tCO_{2\text{-}eq}$ (Mena, 2015). Para la zafra 2017-2018, se cortó en verde el 13 % de la caña de azúcar (B. Fuentes del Cid, comunicación personal, 14 de noviembre de 2018).

A la fecha, la agroindustria ha contribuido con más de 9800 ha reforestadas con diferentes especies forestales (pinos, teca, eucaliptos, hule, árboles frutales y algunas especies nativas como caoba y cedro), que tienen diversos fines: energético, maderable, producción de látex, reserva natural, protección de cuencas, ensayos para investigación, entre otros. Estas plantaciones forestales también han contribuido al secuestro de carbono (Guerra & Hernández, 2012).

Como resultado de todas las acciones que ya están siendo implementadas, el azúcar de Guatemala se encuentra entre las que tienen una huella de carbono baja en relación con otras, como la de EE. UU., países de la Unión Europea, el Reino Unido, el sur de Brasil y Tailandia oriental (O. González & Guerra, 2015).

12.4.3.1.2 Industria del café

La industria caficultora también ha presentado avances en cuanto a la implementación de acciones de mitigación. Desde el 2008, ANACAFE, con el apoyo de Efico y Rainforest Alliance, inició con las estimaciones del carbono almacenado en el café y las emisiones provenientes de la producción de ese cultivo, específicamente para los sistemas cafetaleros de San Marcos, Santa Rosa y Jalapa. Esta iniciativa tiene como objetivo sensibilizar a los productores sobre los impactos generados por el cambio climático y promover la adopción de buenas prácticas agrícolas, orientadas a la reducción de los GEI y el incremento del carbono almacenado (MARN, 2015).

En 2016, la ANACAFE, con apoyo del proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, lanzó la Política de ambiente y cambio climático para el sector café de Guatemala. Esta tiene por obje-

to «orientar todas las actividades relacionadas con la cadena de producción de café y enfatizar la disminución de la vulnerabilidad ante el cambio climático, la mitigación de gases de efecto invernadero, el cumplimiento legal ambiental, la gestión integral de los recursos hídricos y la conservación y generación de bienes y servicios ecosistémicos» (ANACAFE, 2016).

En este marco, ANACAFE desarrolla esfuerzos para brindar a los productores, las autoridades ambientales y al público en general herramientas e instrumentos específicos para el cumplimiento del marco legal, la certificación, la implementación de buenas prácticas y tecnologías; así como procedimientos que faciliten y optimicen el proceso de gestión ambiental, la productividad, la competitividad, la disminución de la vulnerabilidad y la disminución de las emisiones de GEI, producto de los procesos de eficiencia y aumento de los reservorios de carbono en los sistemas cafetaleros (ANACAFE, 2016).

ANACAFE ya ha avanzado en la implementación de los ejes estratégicos y líneas de acción de esta política. En 2017, realizó la primera estimación sectorial de emisiones de GEI a nivel nacional. Los objetivos de esta evaluación se enfocaron en establecer una línea base de emisiones para la caficultura en Guatemala, identificando las principales actividades que generan emisiones, para proponer acciones de reducción. Durante este proceso, se recolectaron datos en 114 unidades productivas de café distribuidas en las siete regiones de producción de Guatemala. Asimismo, se recopiló información sobre consumo de energía eléctrica y aplicación de enmiendas agrícolas y fertilizantes. Además, se recabó información sobre el manejo del sistema agroforestal de café, producción de café, densidad de siembra y árboles de sombra, a fin de cuantificar sumideros de carbono. Con estos estudios, se encontró que la principal generación de emisiones de GEI se da en los procesos de fertilización, por lo cual ANACAFE se ha comprometido a implementar un sistema de gestión de información para eficientizar los procesos de fertilización. Esta medida reducirá la huella de carbono de la cadena productiva, pero, además, incrementará la productividad y generará mayores beneficios económicos. Asimismo, durante el 2018 se establece un sistema de monitoreo de emisiones de GEI, que permitirá evaluar sistemáticamente las tecnologías y prácticas de producción en la caficultura nacional. Es importante mencionar que, actualmente, la huella de carbono del café en Guatemala es menor que la de otros países como Costa Rica y Kenia (Meléndez, 2018).

En 2018, fue aprobada, además, la Guía Ambiental para el Sector Café de Guatemala, como Acuerdo Ministerial 314-2018, en cumplimiento del Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental (RECSA), con lo cual se convirtió en el primer sector agrícola en presentar el instrumento que servirá a todos los participantes de la cadena productiva (Acuerdo gubernativo 137-2016, 2016).

Actualmente, se está elaborando, además, la nota conceptual para una NAMA de café, la cual se basa en la política mencionada anteriormente. El objetivo del proyecto será establecer un mecanismo de coordinación para fomentar prácticas de gestión ambiental y mitigación del cambio climático a través de acciones y tecnología que lleven a la reducción de emisiones de GEI en la producción de café (MARN, 2018).

12.4.3.1.3 Industria de palma de aceite

En 2018, la Gremial de Palmicultores de Guatemala (GREPALMA) lanzó, con apoyo del ICC y el proyecto de USAID Desarrollo Bajo en Emisiones, la Política Ambiental y de Cambio Climático de GREPALMA y sus socios, la cual constituye el marco orientador que brinda los lineamientos estratégicos para la mejora de la gestión ambiental, la adaptación y la mitigación del cambio climático en toda la cadena de producción del aceite de palma. El eje estratégico dos de la política promueve la determinación y seguimiento de huellas de carbono para la identificación de acciones que permitan incrementar la productividad y la reducción de la intensidad de la huella de carbono. En esta línea, GREPALMA elaborará planes de mitigación para la reducción de la huella de carbono en las empresas que la conforman. Además, este eje contempla la reducción de emisiones de GEI y el incremento en la fijación de carbono en la industria de la palma, bajo el enfoque de desarrollo con bajas emisiones (ICC, 2018).

En el contexto de esta política, ya se ha realizado la estimación de la huella de carbono, para lo cual se estimaron las emisiones en campo (plantaciones) y en plantas de beneficio de aceite crudo de palma. Para el cálculo de estas emisiones, se consideraron las aplicaciones de fertilizantes, el consumo de combustibles fósiles, la demanda de energía de la red eléctrica, el uso de animales para la cosecha y la gestión de los residuos agrícolas. Como resultado del cálculo de la huella de carbono, se identificó que, durante el proceso de producción de fruta (plantación) y beneficiado del aceite crudo de palma, la intensidad de las emisiones es relativamente baja si se compara con la huella de carbono de otros países productores de aceite de palma. La mayor parte de las emisiones en campo se debe a la aplicación de fertilizantes y enmiendas al suelo (51 %), seguido del consumo de combustibles fósiles con un 35 %. Por esta razón, el sector palmicultor ha enfocado sus esfuerzos de mitigación en la reducción de emisiones mediante la generación y consumo de energía eléctrica con combustibles renovables. El 21 % de las diecinueve empresas que formaron parte del estudio de huella de carbono del sector reportaron la generación de energía a partir de biogás, residuos agroindustriales, otra biomasa y paneles solares. Esta práctica representa emisiones evitadas de GEI al minimizar su consumo de la red eléctrica nacional o su generación con combustibles fósiles. Se estimaron emisiones evitadas de entre 328 y 915 $tCO_{2\text{-}eq}$ que hubieran resultado del consumo de la red eléctrica nacional o de un generador diésel con 20 % de eficiencia (GREPALMA, 2018).

12.4.3.1.4 Industria bananera

La industria bananera del país también estimó la huella de carbono de la producción independiente de banano de Guatemala del año 2014, la cual abarca desde la producción en campo hasta el empaque, con la finalidad de identificar estrategias de reducción de emisiones, mantener los sumideros, disminuir costos por la eficiencia en la utilización de insumos y servir como herramienta de acceso a mercados internacionales (O. G. González, Guerra, & Baily, 2016).

Para estimar la huella de carbono, se hizo inicialmente un inventario de emisiones de GEI, considerando las de fertilización nitrogenada, uso de combustibles fósiles y cambio de uso de la tierra. Asimismo, se realizaron análisis con sistemas de información geográfica y se elaboró un formulario para recopilar la información necesaria de las empresas de la Asociación de Productores Independientes de Banano (APIB). Al igual que para los otros cultivos mencionados anteriormente, la huella de carbono de la industria bananera del país es baja, comparada con la de otros países, como Costa Rica, República Dominicana, Norteamérica y algunas regiones de España (O. G. González et al., 2016). El cálculo de la huella de carbono representa el primer paso para la identificación de acciones de mitigación en la industria bananera.

12.4.3.2 Subsector de la ganadería

Con el fin de propiciar espacios de coordinación interinstitucional que promuevan la ganadería bovina sostenible en Guatemala, así como generar incidencia en tomadores de decisión en torno al tema, se conformó el Grupo Promotor de Ganadería Bovina Sostenible en el año 2017. Este grupo está integrado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), el MAGA, el MARN, el INAB, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el Proyecto USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, la Federación de Ganaderos de Guatemala (FEGAGUATE), Cámara de Productores de Leche de Guatemala (CPLG), y la Asociación de Productores de Leche (ASODEL). En algunas ocasiones participan la Cámara del Agro, The Nature Conservancy (TNC) y el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA). Como parte de este grupo de trabajo, se han generado dos productos impulsados por el Proyecto USAID Desarrollo con Bajas Emisiones: la Estrategia Nacional de Ganadería Bovina Sostenible Baja en Emisiones (Gobierno de la República de Guatemala, 2018b) y el proyecto de apoyo a la NAMA sobre ganadería (MARN, 2018).

El proyecto NAMA de Ganadería Sostenible, presentado al NAMA Facility en marzo de 2018 y actualmente en fase de evaluación, busca desarrollar prácticas de producción bajas en emisiones de GEI y tecnologías eco-competitivas en el subsector ganadero de Guatemala, mejorando su rentabilidad. Para poner en marcha este proyecto, enmarcado en la Estrategia Mundial de Ganadería Sostenible Baja en Emisiones de Gases de Efecto Invernadero ante el NAMA, los representantes del subsector ganadero de carne y de leche del país y las autoridades institucionales decidieron por unanimidad apoyar el proceso de formulación e implementación del NAMA Facility por 11 millones de euros en aportes financieros no reembolsables. El proyecto fue diseñado bajo el liderazgo del MARN, en conjunto con un equipo técnico conformado por el MAGA, la Cámara del Agro, el CATIE y el proyecto USAID Desarrollo con Bajas Emisiones (MARN, 2018).

La implementación de la NAMA se basa en la Política Ganadera Bovina Nacional (MAGA, 2014) aprobada en 2013, así como en la Estrategia Nacional de Ganadería Sostenible con Bajas Emisiones elaborada en 2017. En un periodo de quince años, el proyecto promoverá la producción sostenible de ganado bajo en carbono mediante una serie de medidas que contribuirán a aumentar la resiliencia del subsector. Esto implicará una reducción en la huella de carbono de la producción de leche de 6 a 4 kg $CO_{2\text{-eq}}$/kg leche, una reducción de la huella de carbono de la producción de carne de 17 a 11 kg $CO_{2\text{-eq}}$/kg carne, 0.02 millones de $tCO_{2\text{-eq}}$ de emisiones evitadas y 9296 $tCO_{2\text{-eq}}$ removidas. En los primeros cinco años, se iniciará en los departamentos de Izabal, Petén y Alta Verapaz, por ser la región que posee más del 50 % del ganado bovino en el país y donde ha habido más expansión en los últimos diez a quince años. Luego se continuará con el resto del país (UNFCCC, 2018).

En cuanto a la ganadería sostenible, se ha ejecutado el proyecto Sistemas de Producción Climáticamente Inteligentes basados en Sistemas Silvopastoriles, implementado por el CATIE en el marco del proyecto Manejo Sostenible de los Bosques y Múltiples Beneficios Ambientales Globales, apoyado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) con fondos del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés) (PNUD, 2018).

Más específicamente, en cuanto a la reducción de las emisiones provenientes del manejo del estiércol, existen iniciativas en el uso de biodigestores[14]. Este tipo de tecnología tiene un gran potencial para el cuidado del ambiente, ya que disminuye la cantidad de desechos vertidos a los ecosistemas y, además, produce una fuente de energía relativamente limpia. El uso de biodigestores en comunidades rurales permite obtener el doble beneficio de solventar la problemática energética-ambiental y realizar un adecuado manejo de los residuos, tanto humanos como animales.

Recientemente, el MAGA trabajó en la promoción de biodigestores con la finalidad de darle un manejo adecuado a los desechos orgánicos, como el estiércol de los animales de los hogares rurales, y obtener otros beneficios, como la reducción de la demanda de leña y la disminución en la inhalación de humo. Adicionalmente, esto apoyará a la producción agrícola con el empleo de los fertilizantes orgánicos que se obtienen de tales prácticas (MARN, 2015).

Un ejemplo del uso de biodigestores es la planta de biogás Engorde Pollos. Es una planta con volumen de 12 metros cúbicos y capacidad de producción de 4.5 metros cúbicos por día. El valor equivalente de biogás es de GTQ 12.40/día, cantidad de gas con la cual se ahorran tres metros cúbicos de leña al mes, con un valor mensual de GTQ 100. El biodigestor es alimentado con excretas de ganado bovino y porcino y genera el gas necesario para calentar agua. Además, se aprovecha el lombricompost y el biol (abono líquido) en las plantaciones de maíz, frijol, güisquil y chile, y los alimentos se preparan en un 35 % con el gas generado (USAID CNCG et al., 2014).

14 Un biodigestor es un contenedor hermético, dentro del cual se deposita materia orgánica, como el excremento de rumiantes, en determinada dilución con agua. Mediante la fermentación anaerobia por acción de microorganismos, esta solución es degradada y se obtiene como producto el gas metano (biogás) y un subproducto liquido (biol) rico en nitrógeno, fósforo y potasio, el cual puede ser utilizado como fertilizante.

Otro ejemplo es la Granja La Tía Muu, S.A., ubicada en Sumpango, Sacatepéquez, que genera biogás y utiliza estufas. La granja se dedica a la crianza y engorde de marranos y vacas, y produce gas metano a partir del estiércol del ganado desde hace seis años para la generación eléctrica, calefacción, abono foliar y para cocinar (USAID CNCG et al., 2014).

El proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, ha identificado acciones específicas para el subsector ganadero que, aunque no se estén implementando actualmente, se sugiere que se adopten en un futuro cercano para reducir la contribución de GEI del subsector. Muchas de estas acciones están siendo contempladas dentro de la NAMA de ganadería sostenible. Entre las opciones se encuentra el establecimiento de pastos mejorados, que tienen componentes nutricionales más elevados y que disminuyen el metano producido en el proceso digestivo de los rumiantes. Los pastos mejorados tienen, además, una mayor capacidad de fijación de carbono en suelos y aumentan la productividad por animal, lo que a su vez reduce la huella de carbono por producto (Quevedo, 2018).

Se contempla, además, la promoción del establecimiento de sistemas silvopastoriles, preferentemente bancos forrajeros de leguminosas arbustivas, pastoreo en callejones, cercas vivas, cortinas rompe vientos, y árboles dispersos en potreros con fines diversos (sombra, madera, postes o leña). Los árboles en fincas ganaderas incrementan el almacenamiento de carbono, además de que la sombra reduce el estrés del animal, lo cual mejora la productividad y reduce la huella de carbono por producto. Por último, el manejo del estiércol reduce las emisiones de GEI y sirve como fuente de energía para el hogar y para el uso en instalaciones ganaderas. Además, mejora la producción de pasturas y, por tanto, la carga animal por unidad de área, lo que a su vez reduce la huella de carbono (Quevedo, 2018).

12.4.3.3 Subsector del cambio de uso de la tierra y silvicultura (CUTS)

El subsector silvicultura fue uno de los primeros en interesarse en el tema de la mitigación del cambio climático en el país por medio de acciones derivadas de la firma del Protocolo de Kioto (1997), que creó la posibilidad de comercializar bonos de carbono mediante ciertos procedimientos. Primero, a través del proceso conocido como Implementación Conjunta (IC), que más tarde se transformó en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). No obstante, este sector también ha sido uno de los más difíciles para concretar la implementación de proyectos de bonos de carbono para reducir emisiones. De los 20 proyectos MDL registrados para Guatemala a la fecha (han completado el proceso de aprobación y están listos para negociar bonos de carbono), ni uno solo se relaciona con el sector ni uno se relaciona con el sector CUTS (UNFCCC, s/f). Más recientemente, el interés por los bonos de carbono en el sector de cambio de uso de la tierra se retomó por las iniciativas relacionadas con las estrategias del Programa de las Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones causadas por la Deforestación y la Degradación de los Bosques (REDD+), que han despertado amplio interés en el país con iniciativas que serán discutidas más adelante.

A nivel nacional, el principal instrumento de política de fomento de desarrollo forestal en el país ha sido el incentivo fiscal o monetario por reforestación o protección de bosques. El programa de incentivos fiscales (PIF) (Decreto 58-74, 1974), que operó de 1975 a 1996; el programa de incentivos forestales (PINFOR) (Decreto 101-96, 1996), vigente de 1997 a 2016; y el programa de incentivos para poseedores de pequeñas extensiones de tierras de vocación forestal o agroforestal (PINPEP) (Decreto 51-2010, 2010)[14], no fueron diseñados con el objetivo de reducir emisiones de GEI, pero logran ese efecto como un beneficio adicional al proteger y plantar

15 Este programa inició como un proyecto con apoyo internacional en 2007 y posteriormente se estableció como programa nacional en 2010.

bosques (Figura 12-5). El hecho de que estos programas no fueran diseñados como estrategia de reducción de emisiones (el PIF y el PINFOR fueron diseñados antes de que existiera el Protocolo de Kioto, que fue el primero en establecer los bonos de carbono) ha hecho que sea imposible incluirlos en esquemas de bonos de carbono porque no se puede probar la «adicionalidad» en la captura de carbono. En otras palabras, no se puede establecer que un proyecto dado fue realizado con el fin de capturar carbono. El país invirtió considerables esfuerzos administrativos y financieros para proteger los bosques y crear nuevas plantaciones a través de estos programas, pero a nivel internacional no se puede reclamar un crédito financiero por este esfuerzo que efectivamente redujo emisiones de carbono, aunque no fuera ese su propósito inicial.

Por otro lado, PROBOSQUE (Decreto 2-2015, 2015), el programa más reciente, que empezó a operar en 2017, incluye entre sus objetivos la mitigación de emisiones y se espera que ese esquema pueda tener la posibilidad de generar bonos de carbono. Este programa es, a la fecha, el principal instrumento de política forestal para buscar reducir la deforestación del país y su éxito dependerá en buena parte de la continua asignación de fondos adecuados para cumplir con el uno por ciento del Presupuesto Nacional de la República, según lo estipulado por la ley de creación del programa. Sin embargo, la demanda del programa apenas alcanzó GTQ 114 millones en 2017 (INAB, s/f), muy por debajo del techo permitido del uno por ciento del presupuesto nacional, que equivalió en ese año a GTQ 770 millones.

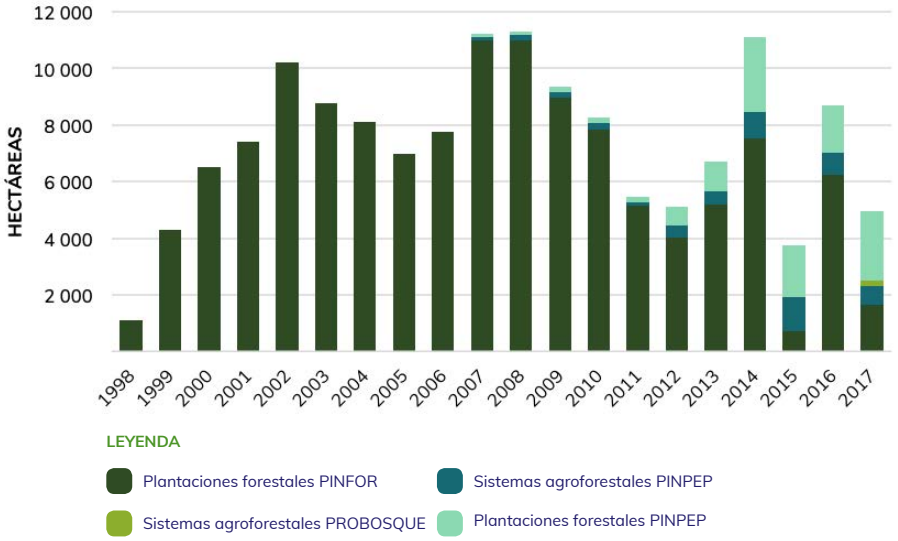


Figura 12-5 Cantidad de hectáreas de bosque plantado bajo los programas de incentivos forestales. Elaboración propia, basado en INAB (2018a, 2018b).

El Fondo Nacional de Cambio Climático (FONCC) fue creado bajo la Ley de Cambio Climático, pero todavía no es operativo, tiene destinado un máximo de 20 % de su ejecución a programas de reducción de emisiones y puede ser un canal efectivo para apoyar iniciativas de protección forestal con fondos nacionales o internacionales, incluidos los exitosos programas de incentivos forestales. Sin embargo, todavía está pendiente de aprobación el reglamento para implementar este fondo. La Ley de Cambio Climático también establece que se debe desarrollar un PANCC, que contiene las estrategias y acciones que se seguirán en el país en materia de adaptación y mitigación del cambio climático. La versión inicial del documento fue aprobada en octubre de 2016 (CNCC, 2016) y continua en proceso de revisión y actualización. El PANCC no establece metas numéricas de reducción de emisiones para este sector. Las acciones propuestas se centran en la estrategia de reducción de la deforestación y la degradación (GCI, 2018), en la Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso Eficiente de la Leña (INAB, 2015), en el establecimiento de plantaciones energéticas y en la estrategia de restauración del paisaje forestal (Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2015). Todas estas iniciativas tienen el reto de ser implementadas con suficiente apoyo político y financiero.

A nivel internacional, los proyectos REDD+ son los que recientemente han buscado financiar reducciones de emisiones en este subsector al reducir la deforestación y degradación de bosques. Estos proyectos no tienen una regulación dentro de la CMNUCC y se están trabajando en la modalidad de mercado voluntario. En este tipo de mercado, Guatemala cuenta con siete proyectos que se encuentran desarrollados y registrados dentro del VCS, tres de ellos bajo el mecanismo REDD+. Estos proyectos son Guatecarbón, impulsado en la Zona de Usos Múltiples de la Reserva de la Biosfera Maya por el CONAP y los concesionarios forestales en dicha zona, el cual cuenta con 1.2 millones de unidades verificadas de carbono (VCUs, por sus siglas en inglés) para el periodo 2012-2015 (VCS, 2017); el Proyecto Bosques para la Vida en el Parque Nacional Sierra del Lacandón, impulsado por la Fundación Defensores de la Naturaleza, el cual cuenta con 370 000 VCUs disponibles para la comercialización y venta en el mercado voluntario (Rainforest Alliance & USAID, 2016; Rainforest Alliance & USAID CNCG, 2017); y el proyecto REDD+ Costa de la Conservación en el Caribe de Guatemala, con un potencial de generar 23 millones de VCUs en 30 años, el cual es de reciente validación y verificación bajo el estándar CCB (Climate, Community and Biodiversity Standards) (FUNDAECO, 2016).

Los primeros proyectos registrados bajo el VCS no fueron de protección forestal. Uno de estos proyectos, presentado por la empresa Pica de Hule Natural, S.A., estuvo orientado a la promoción del desarrollo sostenible a través del establecimiento de 2252 hectáreas de plantaciones de caucho natural en Guatemala en tierras degradadas, que tradicionalmente han sido utilizadas para el pastoreo de ganado. El proyecto inició en 2007 y concluyó en el 2013, y logró una reducción de emisiones de 0.05 millones de toneladas anuales. El segundo proyecto corresponde a una planta geotérmica manejada por la empresa Ortitlan Limitada, ubicada en las faldas del volcán de Pacaya, en el departamento de Escuintla (MARN, 2015). Posteriormente, se incluyó un proyecto más de plantaciones de hule denominado ECO_2 Rubber Forest y un proyecto de restauración forestal y agroforestería en Cerro San Gil, Izabal. Estos últimos tres proyectos todavía están pendientes de aprobación (VCS, s/f).

Adicionalmente, varias organizaciones no gubernamentales también han estado interesadas por muchos años en capitalizar los posibles fondos que ofrecen los bonos de carbono. La Fundación para el Desarrollo Integral del Hombre y su Entorno (CALMECAC) tiene una iniciativa REDD+ que busca desarrollar en el área de las verapaces. La iniciativa de manejo forestal municipal MIBOSQUE, manejada por CARE International, negoció en 1999 con la empresa de generación de energía AES en Estados Unidos un apoyo financiero para el proyecto a cambio de generar 5.2 millones de toneladas de carbono no emitidas (Castellanos & Flores, 2006). Una limitante, más allá de identificar a un comprador adecuado para los bonos de carbono generados, es que el bajo precio de los bonos hace que la cantidad de dinero generado no se vea como suficiente para detener el proceso de deforestación, que en muchos lugares es muy complejo por las situaciones de pobreza y de ilegalidad que se viven en esos parajes. Finalmente, se ha tenido el reto de definir el mecanismo legal para comercializar y distribuir los beneficios generados por reducciones que ocurran en tierras del Estado.

En 2018, Guatemala lanzó su Estrategia Nacional para el Abordaje de la Deforestación y Degradación de los Bosques en Guatemala (ENDDBG) (GCI, 2018), como un documento preliminar para la consulta, que busca la reducción de emisiones en este sector. Este documento presenta 14 líneas estratégicas de acción para atacar la deforestación (fortaleciendo áreas protegidas y el ordenamiento territorial) y la degradación de bosques (con el uso eficiente de leña y fortaleciendo el sistema de prevención de incendios forestales). También busca fomentar la restauración de tierras forestales degradadas con prácticas agrícolas sostenibles y el fomento de sistemas agroforestales. Este proceso ha sido apoyado en su fase preparatoria por el Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF, por sus siglas en inglés) del Banco

Mundial. Adicionalmente, el Gobierno de Guatemala, a través del Ministerio de Finanzas Públicas, firmó una carta de intención con el Banco Mundial para vender la reducción de 10.5 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$ a nivel nacional. Actualmente, el país se encuentra en la fase de diseño y evaluación del Documento de Programa de Reducción de Emisiones (ERPD, por sus siglas en inglés), el cual se espera que sea aprobado en junio de 2019. Las acciones para cumplir con esta estrategia han tenido apoyo financiero proveniente del Fondo de Inversión Forestal (FIP, por sus siglas en inglés).

En 2015, la Mesa de Restauración Forestal lanzó la Estrategia de Restauración del Paisaje Forestal (2015), que fue un resultado de su instauración en 2012, cuando el INAB convocó a actores de gobierno, academia, comunidades, iniciativa privada y organizaciones no gubernamentales. El proceso se desarrolló como parte del Desafío de Bonn, lanzado en 2011 por el Gobierno de Alemania con apoyo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), que sirve como secretaría de esta iniciativa para restaurar, a nivel mundial, 150 millones de hectáreas de tierras degradadas. Guatemala se comprometió en 2014 a participar de la iniciativa 20x20, que es la plataforma regional de apoyo al Desafío de Bonn en Latinoamérica. Esta iniciativa busca restaurar el paisaje forestal de 1.2 millones de hectáreas en zonas altamente vulnerables. Se espera que PROBOSQUE y las otras iniciativas nacionales e internacionales ayuden al país a completar este compromiso.

Finalmente, la Estrategia Nacional de Desarrollo con Bajas Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (Gobierno de Guatemala, 2018a) propone cuatro líneas para alcanzar la muy ambiciosa meta de llegar a «cero deforestación» para el 2030. Las primeras tres son las mismas del PANCC: plantaciones, manejo de bosque natural y restauración de áreas degradadas, lo que alinea la iniciativa de esta estrategia con PROBOSQUE para construir sobre el marco político existente. Solo la cuarta es diferente y se refiere al control y prevención de incendios forestales.

Cualquier estrategia de reducción de emisiones deberá trabajar para atacar las causas subyacentes de la deforestación y degradación de los bosques, los cuales son problemas muy complejos que involucran no solo a las comunidades rurales y pequeños campesinos que practican agricultura anual y dependen de la leña como fuente primaria de energía, sino también a los ganaderos y los agroindustriales, cuya búsqueda principal no es el recurso forestal, sino la tierra donde ese recurso florece. La expansión de la palma de aceite, principalmente en Alta Verapaz y el sur del Petén, donde el área plantada aumentó en 649 % y 192 % respectivamente en el periodo 2006-2010, es un claro ejemplo de esta situación, ya que al menos la cuarta parte de esas plantaciones (más de 24 000 ha) han eliminado cobertura forestal y se encuentran dentro de áreas protegidas (Iarna-URL, 2012). El panorama se torna más complejo cuando se toman en cuenta procesos ilegales, especialmente el narcotráfico, que ha utilizado las áreas ganaderas y de plantaciones agroforestales como medio para lavar el dinero ilegal.

12.5 Impactos y beneficios

Es muy importante reconocer que muchas de las iniciativas de reducción o captura de emisiones también conllevan beneficios adicionales, los cuales van más allá de la mitigación del cambio climático. El ejemplo más evidente es la reforestación o la deforestación evitada, ya que un territorio con mayor cobertura forestal tendrá beneficios adicionales en términos de reducción de la erosión del suelo, incremento en la infiltración, mejora de la regulación del ciclo hidrológico, mayor y mejor hábitat y valor ecológico, y mejora de paisaje y de oportunidades de recreación o turismo.

Estos beneficios adicionales no son usualmente cuantificados al hacer un análisis económico de la viabilidad de estas intervenciones. La curva de costo marginal de abatimiento mostrada en la Figura 12-1 usualmente incluye únicamente los costos de implementación de la actividad, que, por supuesto, incluye

los beneficios económicos de actividades como mejorar la eficiencia energética. Esto implica que ciertas actividades de mitigación, como la reforestación o protección de bosques, pueden ser mucho más atractivas que lo indicado por un análisis económico de costo y beneficio de captura de carbono.

Otro sector donde hay beneficios evidentes en un proceso de mitigación es en el de desechos sólidos. Una de las intervenciones en nuestro país para reducir emisiones va en la línea de mejorar su manejo reduciendo los llamados botaderos clandestinos. Estos botaderos en realidad pueden emitir menos metano que los rellenos sanitarios, ya que la basura está más expuesta al oxígeno de la atmósfera. Sin embargo, colectar estas emisiones para convertirlas a dióxido de carbono sería muy difícil, si no imposible. Al controlar la presencia de botaderos clandestinos y promover los rellenos sanitarios, no solo se estará posibilitando el control de emisiones de metano a través de su colecta y combustión, sino que también se mejorará el ornato de esas áreas y, aún más importante, se reducirá el potencial de problemas de salud mediante la reducción de vectores de enfermedades, como moscas y ratas.

El cambio de energía generada por carbón mineral y petróleo a energía de fuentes renovables no solo traerá una reducción de emisiones de GEI y una mejora en la factura por combustibles del país, sino también una reducción de gases y partículas contaminantes de corta vida, que degradan la calidad ambiental alrededor de la planta de generación de energía. Lo mismo ocurre con las emisiones de un vehículo que se mueve con combustible fósil, especialmente diésel, comparado con un vehículo movido con electricidad. Esta mejora en emisiones de gases y partículas contaminantes por vehículos diésel puede ser de gran beneficio para las áreas urbanas del país, que se encuentran tan deterioradas por la presencia de humo negro derivado especialmente del transporte pesado y colectivo. Un sistema de buses eléctricos o iniciativas como el teleférico o el metro que ha promovido la Municipalidad de Guatemala, mejorarían sustancialmente la calidad de aire en la ciudad de Guatemala.

Finalmente, en el sector de agricultura, el uso de fertilizantes mejorados o la reducción en el uso de fertilizantes reducirá no solo las emisiones de óxido nitroso a la atmósfera y la factura por compra de fertilizantes, sino que también reducirá la liberación de nitrógeno en los ecosistemas naturales. Esto puede ser de gran beneficio, especialmente para lagos y ríos con calidad de agua degradada por la presencia de nutrientes en exceso.

Más allá de los beneficios directos que proveen las actividades de mitigación de emisiones de GEI, como la reducción de la degradación y contaminación ambiental, se deben resaltar los beneficios indirectos que estas medidas producen. Entre estos se encuentran el apoyo a la economía familiar y empresarial, y una mejor competitividad en los mercados internacionales, que tienen una demanda creciente de productos más neutrales en emisiones de carbono. Asimismo, un beneficio no menos importante es una mejor imagen de país, que se logra por un mayor cumplimiento de los requerimientos internacionales.

Por supuesto, también es importante considerar los impactos negativos que podrían tener algunas de las iniciativas de mitigación de gases de efecto invernadero. En el sector forestal, puede darse una situación de competencia por la tierra disponible para reforestar o cultivar, lo cual puede poner mayor presión sobre la producción de alimentos y la seguridad alimentaria. Los proyectos de reforestación o de deforestación evitada podrían atentar contra los derechos de las comunidades locales, especialmente pueblos indígenas, de acceder y usar los territorios que han usado por décadas o siglos. Por esta razón, se desarrolló un esquema de salvaguardas que deben observarse al desarrollar cualquier proyecto de reforestación o deforestación evitada. Estas salvaguardas requieren un consentimiento previo, libre e informado de las comunidades locales involucradas. En Guatemala, se han observado ciertas tensiones alrededor de la iniciativa PROBOSQUE, que busca regular el acceso a los recursos forestales en la Reserva de Biosfera Maya. Parte de las tensiones han sido derivadas de la discusión sobre los beneficios económicos derivados de una eventual venta de bonos de carbono.

En el tema de energías renovables en Guatemala, se ha mantenido una situación de protesta social de ciertas comunidades rurales e indígenas con respecto al desarrollo de proyectos hidroeléctricos. Aunque el proceso es complejo y un análisis profundo va más allá del alcance de este capítulo, es importante mencionar que la oposición a estos proyectos tiene sus raíces en situaciones presentes y pasadas de exclusión y abuso de derechos humanos. Tal es el caso de los abusos cometidos al construir la represa de Chixoy, por los que el Estado de Guatemala todavía está en proceso de resarcir a las comunidades afectadas. Por supuesto, deja una mala memoria en el país el hecho de que la mayor represa fue construida con serios abusos a las comunidades de la región. Por otro lado, existe una situación de desinformación, ya que las condiciones actuales y los controles establecidos por organismos nacionales e internacionales son mucho más estrictos que los existentes 40 años atrás, y estos controles buscan salvaguardar los derechos de las comunidades locales. Otra fuente de descontento en las comunidades aledañas a los desarrollos hidroeléctricos se produce por la posible reducción del caudal de los ríos en horas del día, cuando la comunidad hace uso de ese recurso. Finalmente, algunas comunidades argumentan que los grandes proyectos de generación energética benefician a otros sectores alejados de sus comunidades, las cuales se mantienen sumidas en la pobreza e, incluso, sin acceso a electricidad. En este sentido, cabe resaltar que muchos de los desarrollos hidroeléctricos están en Quiché y las verapaces, que son las regiones del país con menor cobertura de electricidad para las comunidades rurales.

Las industrias y empresas generadoras también pueden argumentar que la implementación de medidas de mitigación de emisiones acarrea un costo adicional, el cual puede encarecer sus productos y afectar eventualmente al consumidor final. Este es uno de los principales argumentos en contra de los esquemas de impuestos a las emisiones, los llamados impuestos de carbono. En Guatemala, por ejemplo, el MARN desarrolló una normativa que exige una compensación de emisiones a los proyectos de generación eléctrica a base de carbón mineral. Esta compensación deberá ser extendida a otros sectores productivos del país cuando el MARN complete el reglamento (actualmente en revisión) para implementar el Artículo 19 de la Ley de Cambio Climático, que requiere una compensación de emisiones al momento de usar combustibles fósiles. Aunque es posible que en el corto plazo estos impuestos sí resulten en un aumento de precios, en el largo plazo, los beneficios ambientales deberían sobrepasar estos costos. Este tipo de impuestos a las emisiones está buscando internalizar los costos ambientales que usualmente han quedado fuera, en un mercado más enfocado en la maximización de beneficios económicos e ingresos.

12.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo gubernativo 137-2016. Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental (2016). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Acuerdo gubernativo 388-2005. Se designa al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales como autoridad nacional designada para el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto (2005). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Acuerdo gubernativo 420-85. Reglamento general de la ley del alcohol carburante (1985). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Acuerdo gubernativo 474-97. Crea en la forma que se indica, la Comisión Nacional de Implementación Conjunta (1997). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Asociación Nacional del Café (ANACAFE). (2016). *Política de ambiente y cambio climático para el sector café de Guatemala*. Guatemala.
- Asociación Promotora de Combustibles Renovables (ACR). (2015). Materias primas para producir etanol. Recuperado el 8 de octubre de 2018, de http://acrguatemala.com/etanol/
- Castellanos, E., & Flores, C. (2006). *Estimación del contenido de carbono en bosques del Altiplano Occidental*. Guatemala.
- Center for Climate Strategies (CCS), & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones. (2018). *Final Report: Guatemala Low Emissions Development Strategies (GLEDS) plan*. Guatemala.
- Clean Development Mechanism (CDM). (2018). Project Search. Recuperado el 9 de octubre de 2018, de https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE). (2018). *Plan integral de eficiencia energética*.
- Consejo Nacional de Cambio Climático (CNCC). (2016). *Plan de acción nacional de cambio climático*. Guatemala. Recuperado de http://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2016/10/Plan-de-Acción-Nacional-de-Cambio-Climático-ver-oct-2016-aprobado-1.pdf
- Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural (CONADUR). (2014). *Plan nacional de desarrollo K'atun: nuestra Guatemala 2032*. Guatemala.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). (s/f). Clean development mechanism: Project activities. Recuperado el 9 de junio de 2018, de http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). (2006). *Clean development mechanism project design document form (CDM-PDD)*. Guatemala.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). (2007). *Unidos por el Clima. Guía de la Convención sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kioto*.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). (2011). *Report of the Conference of the Parties on its sixteenth session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010. Cancún, México*. Recuperado de http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf#page=1
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). (2018). *NS-297 - Sustainable and Low Carbon Bovine Livestock Development*.
- Coordinadora Nacional Indígena y Campesina (CONIC), Mesa Indígena Campesina (UNAC-MIC), & Gobierno de Guatemala. (2009). *Política nacional de desarrollo rural integral (PNDRI)*. Guatemala.

- Decreto 101-96. Ley forestal (1996). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Decreto 17-85. Ley del alcohol carburante (1985). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Decreto 2-2015. Ley de fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y proyección de bosques en Guatemala (PROBOSQUE) (2015). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Decreto 48-2016. Aprueba el Acuerdo de París, hecho en París el 12 de diciembre de 2015 (2016). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Decreto 51-2010. Ley de incentivos forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal (PINPEP) (2010). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Decreto 52-2003. Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable (2003). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Decreto 58-74. Programa de incentivos fiscales (1974). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Decreto 7-2013. Ley marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero (2013). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Decreto 93-96. Ley general de electricidad (1996). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación (FUNDAECO). (2016). Resumen Proyecto REDD+ del Caribe de Guatemala. Recuperado el 9 de febrero de 2018, de http://www.fundaeco.org.gt/documentos/Resumen-Proyecto-REDD-Guatemala.html
- Gobierno de Guatemala. (2005). *Política nacional de seguridad alimentaria y nutricional*. Guatemala.
- Gobierno de Guatemala. (2015). *Contribución prevista y determinada a nivel nacional*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Gobierno de Guatemala. (2018a). *Estrategia nacional de desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero*. Guatemala: USAID Desarrollo con Bajas Emisiones.
- Gobierno de la República de Guatemala *(2018b)*. *Estrategia nacional de ganadería bovina sostenible con bajas emisiones*. Guatemala.
- González, O. G., Guerra, A., & Baily, A. (2016). Huella de carbono de la producción independiente de banano de Guatemala, 2014. En *II Congreso Nacional de Cambio Climático de Guatemala*. Quetzaltenango, Guatemala. Recuperado de https://issuu.com/congresodelcambioclimaticogt/docs/huella_de_carbono_en_produccion_de_
- González, O., & Guerra, A. (2015). *Huella de carbono del azúcar de Guatemala, Zafra 2013 -2014*. Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala.
- Gremial de Palmicultores de Guatemala (GREPALMA). (2018). *Estimación de emisiones de GEI en la producción de aceite de palma de Guatemala*. Guatemala: USAID.
- Grupo de Coordinación Interinstitucional (GCI). (2018). *Estrategia nacional para el abordaje de la deforestación y degradación de los bosques en Guatemala*. Guatemala.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. (H. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, Eds.). IGES, Japón.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014a). *Cambio climático 2014: impactos, adaptación y vulnerabilidad - Resumen para responsables de políticas. Contribución del grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático.* Ginebra: Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014b). *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.

- Guerra, A., & Hernández, A. (2012). El cambio climático y el cultivo de la caña de azúcar. En *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala* (pp. 479–512). Guatemala.

- International Research Triangle (RTI), & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones. (2017). *Consideraciones de género en las opciones de mitigación de la estrategia de desarrollo con bajas emisiones de Guatemala.* Guatemala: USAID.

- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2012). *Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012: vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo.* Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar.

- Instituto Nacional de Bosques (INAB). (s/f). PROBOSQUE. Recuperado el 1 de septiembre de 2018, de http://www.inab.gob.gt/

- Instituto Nacional de Bosques (INAB). (2015). *Estrategia nacional de producción sostenible y uso eficiente de la leña 2013-2024.* Serie Institucional ES-002 (2015). Guatemala: Instituto Nacional de Bosques.

- Instituto Nacional de Bosques (INAB). (2018a). Base de datos Pinfor-probosque 1998-2017.

- Instituto Nacional de Bosques (INAB). (2018b). Base de datos PINPEP 2007-2017.

- Instituto Nacional de Bosques (INAB), Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL), & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO/GFP). (2012). *Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala, «Woodfuel integrated supply/demand overview mapping».* Guatemala: FAO/GFF/Facility.

- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). (2018). *Política ambiental de cambio climático de GREPALMA y sus socios.* Guatemala: Gremial de Palmicultores de Guatemala.

- Meléndez, M. (2018). Rumbo a una caficultura baja en emisiones GEI. *El Cafetal*, 5–7.

- Mena, K. (2015). *Compendio de experiencias en la mitigación de Gas de Efecto Invernadero (GEI) para la agricultura y ganadería. San José, Costa Rica.* Recuperado de http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/3044/1/BVE17068956e.pdf

- Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala. (2015). *Estrategia de restauración del paisaje forestal: mecanismo para el desarrollo rural sostenible de Guatemala.* Guatemala.

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2014). *Política ganadera bovina nacional. Guatemala:* Consejo Nacional de Desarrollo Agropecuario.

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2016). *Política agropecuaria 2016-2020. Guatemala:* Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), Plan de Acción Forestal para Guatemala (PAFG), Instituto Nacional de Bosques (INAB), & Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). (1999). *Política forestal de Guatemala*. Guatemala.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). *Creación de la Oficina nacional de desarrollo limpio y emitir el Reglamento del procedimiento de solicitud, análisis, valoración y aprobación nacional de las propuestas de los proyectos que apliquen al mecanismo para un desarrollo limpio. Acuerdo ministerial (2005)*. Guatemala, Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). *Política nacional de cambio climático. Acuerdo Gubernativo 329-2009 (2009)*. Guatemala.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2015). *Segunda comunicación nacional sobre cambio climático Guatemala*. Guatemala.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2016). *Posición sobre cambio climático del Gobierno de Guatemala, enmarcada en la 20a reunión de la Conferencia de las Partes y la 10a reunión de las Partes del protocolo de Kyoto de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre cambio climático (COP 20/MOP 10)*. Guatemala.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2018). Viceministro Coronado participa en la presentación del «Proyecto de Acciones Nacionales -NAMA- de Ganadería Sostenible». Recuperado el 9 de febrero de 2018, de http://www.marn.gob.gt/noticias/noticia/Viceministro_Coronado_participa_en_la__presentacin_del_Proyecto_de_Acciones_Nacionales_NAMA_de_Ganadera_Sostenible
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2013). *Política energética 2013-2027*. Guatemala.
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2014). MEM probará etanol en automotores. Recuperado el 9 de octubre de 2018, de http://www.mem.gob.gt/2014/08/mem-probara-etanol-en-automotores/
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2015). Conclusiones Plan Piloto para la mezcla y uso de etanol en la gasolina en Guatemala. Recuperado el 11 de septiembre de 2018, de http://www.mem.gob.gt/2015/12/presentan-resultados-del-plan-piloto-del-uso-de-etanol-en-%0Agasolina/
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2016). *Planes indicativos de generación y transmisión*. Guatemala. https://doi.org/10.1109/TDEI.2009.5211872
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2017). *Informe: balance energético 2016*. Guatemala. Recuperado de http://www.minetad.gob.es/energia/balances/Balances/LibrosEnergia/Energia_2015.pdf%0Ahttp://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2018a). *Balance energético nacional 2017*. Guatemala. Recuperado de https://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/balance2017/BEN2017.pdf
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2018b). *Biocombustibles Guatemala*.
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2018c). Consumo de productos derivados de petróleo - detalle mensual años 2000 a 2016. Recuperado el 8 de abril de 2018, de http://www.mem.gob.gt/estadisticas/direccion-general-de-hidrocarburos/
- Ministerio de Energía y Minas (MEM), Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), & Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN). (2017). *Plan nacional de energía 2017-2032*. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). Los suelos ayudan a combatir y adaptarse al cambio climático. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils-2015/docs/Fact_sheets/Es_IYS_ClCng_Print.pdf
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2018a). Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2017. *Tiempo - Clima - Agua* (Vol. 1212). Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2018b). *WMO Greenhouse Gas Bulletin: The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2017*. Organización Meteorológica Mundial y Global Atmosphere Watch.
- Programa Nacional de Competitividad (PRONACOM). (2016). NAMA: Uso sostenible y eficiente de leña. Recuperado el 9 de febrero de 2018, de https://www.pronacom.gt/proyectos/nama
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2018). Contribuyen a la gestión de servicios ecosistémicos en Guatemala a través de la ganadería sostenible. Recuperado el 1 de junio de 2018, de http://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/press-center/articles/2018/01/29/contribuyen-a-la-gesti-n-de-servicios-ecosist-micos-en-guatemala-a-trav-s-de-la-ganader-a-sostenible.html
- Proyecto de USAID Clima, Naturaleza y Comunidades en Guatemala (CNCG), Rainforest Alliance, Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), The Nature Conservancy (TNC), Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Defensores de la Naturaleza, & Asociación Guatemalteca de Exportadores (AGEXPORT). (2014). *Resumen de casos de mitigación identificados en Guatemala*. Guatemala.
- Quevedo, J. (2018). *Innovaciones tecnológicas para una ganadería sostenible y su vínculo con los objetivos de desarrollo*. Guatemala: Proyecto de USAID Desarrollo con bajas emisiones.
- Rainforest Alliance. (2017). *Norma para agricultura sostenible para producción agrícola y ganadera de fincas y grupos de productores*. Recuperado de www.rainforest-alliance.org
- Rainforest Alliance, & USAID. (2016). *Informe anual 2016 Programa Clima, Naturaleza y Comunidades en Guatemala*. Guatemala.
- Rainforest Alliance, & Proyecto de USAID Clima, Naturaleza y Comunidades en Guatemala (CNCG). (2017). *Tercer informe trimestral programa clima, naturaleza y comunidades en Guatemala 2017*. Guatemala.
- Tetra Tech, & Programa de «Forest Carbon, Markets and Communities» (FCMC) de USAID. (2013). *Evaluación institucional y análisis sectorial para la Estrategia de Desarrollo con Bajas Emisiones de Guatemala*. Arlington. Recuperado de http://www.fcmcglobal.org/documents/Guatemala_LEDS_Spanish.pdf
- Verhulst, N., François, I., Grahmann, K., Cox, R., & Govaerts, B. (2015). *Eficiencia del uso de nitrógeno y optimización de la fertilización nitrogenada en la agricultura de conservación*. México D.F.: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Recuperado de http://conservacion.cimmyt.org/es/component/docman/doc_view/1502-eficiencia-del-uso-de-nitrogeno
- Verified Carbon Standard (VCS). (s/f). Verified carbon standard project database. Recuperado el 9 de junio de 2018, de http://www.vcsprojectdatabase.org/#/vcs

Verified Carbon Standard (VCS). (2017). Reduced emissions from avoided deforestation in the multiple use zone of the Maya Biosphere in Guatemala (Guatecarbon). Recuperado el 2 de septiembre de 2018, de http://www.vcsprojectdatabase.org/#/project_details/1384

Villagrán, O. (2017a). *Gasto nacional en cambio climático 2014-2017: integración del gasto público y del gasto privado en cambio climático*. Guatemala: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Villagrán, O. (2017b). *Gasto público en cambio climático*. Guatemala: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Villagrán, O. (2018). *Descripción del proceso y costeo del plan de acción nacional de cambio climático y estimación de la brecha financiera*. Guatemala: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

SECCIÓN 4

CONOCIMIENTO INDÍGENA

13

CONOCIMIENTO INDÍGENA
Y CAMBIO CLIMÁTICO

Autor: Ramiro Batzín[1]
Autores contribuyentes: Félix Sarazúa[2], Marvin Chirix[1], Yeshing Upún[1], Amarilis Gómez[3], Tomás Barrientos Q.[4], Juan Cusanero[1], Ramiro López Ramírez[5], Silvel Elías[6], Ernesto Arredondo Leiva[7]

[1] Maya kaqchikel, Asociación Sotz'il, batzinr@gmail.com

[2] Maya kaqchikel, Ajq'ij, Consejo de Guías Espirituales Belejeb' Noj
[3] Asociación Sotz'il
[4] Universidad del Valle de Guatemala
[5] Xinka, Consejo del Pueblo Xinka de Guatemala
[6] Universidad de San Carlos de Guatemala
[7] Universidad del Valle de Guatemala

Forma de citar este capítulo:
Batzín, R. (2019). Conocimiento indígena y cambio climático.
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. 300–329). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Mensajes clave:

- El cambio climático es un fenómeno que afecta la vida, identidad y cultura de los pueblos indígenas.
- El cambio climático plantea necesidades de adaptación más aceleradas, que conllevan ajustes en los sistemas de señales propios de los pueblos indígenas para determinar el comportamiento de los determinantes del clima, así como las prácticas relacionadas con la agricultura.
- Los procesos de adaptación y mitigación indígenas se fundamentan en su conocimiento tradicional, como los calendarios Chol Q'ij, Chol Ab' y Choltun. Los sistemas de uso, manejo y conservación de bosques, así como las prácticas agrícolas indígenas son bajas en emisiones de gases de efecto invernadero por lo que cobran relevancia en las medidas de mitigación de estos gases.

RESUMEN

El cambio climático es un fenómeno que afecta a los pueblos indígenas, quienes desde su pensamiento cosmogónico han desarrollado procesos de adaptación y mitigación. Este pensamiento está fundamentado en el principio de que todo tiene vida y de que la convivencia armónica y el equilibrio entre el ser humano, la madre naturaleza y el universo son la base del Ütz K'aslemal o buen vivir.

Los procesos de adaptación y mitigación indígenas están fundamentados en los calendarios Cholq'ij, Chol Ab' y Choltun, así como en los sistemas solares, lunares y luni-solares que registran el tiempo, los acontecimientos y fenómenos cíclicos. Los calendarios sistematizan el movimiento de los astros como el sol, la luna, las estrellas y constelaciones; asimismo rigen las actividades económicas, políticas, económicas y culturales de las sociedades antiguas (prehispánicas) y contemporáneas.

Las necesidades de adaptación al cambio climático han sido procesos más acelerados en los últimos años. Estos procesos de adaptación se han apoyado fundamentalmente en la selección e intercambio de semillas; implementación de prácticas ancestrales de labranza; ajustes en los calendarios, particularmente en el agrícola; recuperación de conocimientos indígenas basados en las señales de la naturaleza, tales como el comportamiento de la lluvia, temperatura, vientos, *argeño*, entre otros.

En ese sentido, las prácticas de mitigación, particularmente las agrícolas de pequeña escala, que durante largo tiempo vienen practicando los pueblos indígenas adquieren relevancia por sus bajas emisiones y por su capacidad adaptativa y de resiliencia frente a los impactos del cambio climático. En los territorios indígenas se sostienen numerosas prácticas agrícolas tradicionales de bajas emisiones, principalmente en los sistemas agroforestales. Entre las prácticas agrícolas tradicionales están los huertos de traspatio y los sistemas agroecológicos, como la utilización del sauco (*Sambucus sp.*) en el sistema milpa y la producción de *maxán* (*Calathea sp.*) en sistemas agroforestales.

Los conocimientos, prácticas y tecnologías indígenas son una alternativa para enfrentar los impactos del cambio climático en Guatemala. A propósito, la creación de sistemas interculturales en los que se interrelacione la tecnología moderna y el conocimiento tradicional son fundamentales en el contexto de una Guatemala multicultural.

CONTENIDO

13.1 Justificación....304

13.2 Marco de referencia....304
- 13.2.1 Contexto de los pueblos indígenas....304
- 13.2.2 Participación de los pueblos indígenas en iniciativas de ley relacionadas con cambio climático....306
- 13.2.3 Enfoque de los pueblos indígenas sobre la madre naturaleza....306
- 13.2.4 Cambio climático en tiempos prehispánicos....307

13.3 Impactos del cambio climático en las comunidades indígenas de Guatemalaa....310

13.4 Descripción de los sistemas de calendarios: calendario maya y clima....310
- 13.4.1 Cholq'ij o calendario sagrado....311
- 13.4.2 Chol Ab' o calendario solar....311
- 13.4.3 Choltun la cuenta de los Katun y B'aktun....312

13.5 Conocimiento tradicional sobre el clima y el tiempo....313
- 13.5.1 Señales en las nubes....313
- 13.5.2 Señales y prácticas asociadas a la luna....314
- 13.5.3 Señales y prácticas con relación al sol....314
- 13.5.4 Señales en plantas y animales....315

13.6 Sistemas indígenas de adaptación agrícola....316
- 13.6.1 Asocio de cultivos....318
- 13.6.2 Preparación del suelo y labranza....319
- 13.6.3 Selección y manejo de semillas....320
- 13.6.4 Ajuste a los calendarios....320
- 13.6.5 Observación de señales....321

13.7 Experiencias de mitigación en prácticas indígenas....321
- 13.7.1 Sistemas agroforestales tradicionales de bajas emisiones....321
  - 13.7.1.1 La utilización del sauco en sistemas agroforestales....321
  - 13.7.1.2 El cultivo de *maxán* en sistemas agroforestales....322
- 13.7.2 Criterios comunitarios en el uso, manejo y conservación de bosques....323

13.8 Conclusiones....326

13.9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS....327

13.1 Justificación

El cambio climático constituye una amenaza y un peligro para la supervivencia de la humanidad. En la medida en que los efectos del cambio climático se vuelven más severos, los pueblos indígenas son los que sufren directamente las consecuencias a causa de las condiciones sociales, económicas y políticas históricas que han prevalecido en Guatemala, las cuales los ponen en una situación de mayor vulnerabilidad. Las prácticas productivas, sociales, culturales, espirituales y económicas de los pueblos indígenas tienen una estrecha relación con el ambiente y la madre tierra; por lo tanto, los efectos del cambio climático perjudican directamente todo su sistema de vida, así como su identidad, lo que repercute en su idioma, espiritualidad, indumentaria, medicina, alimentación, vivienda, educación, prácticas, saberes y conocimientos tradicionales, entre otros.

A lo largo de los siglos, los conocimientos tradicionales de los pueblos indígenas se han ido adaptando al cambio climático, tomando como base la observación de los elementos de la madre tierra y el padre cosmos, conforme a su cosmovisión holística que les permite mantener una relación de respeto con cada uno de esos elementos. Los pueblos indígenas han logrado manejar condiciones ambientales complejas, lo que les ha permitido su existencia hasta la actualidad. De hecho, han tenido que adaptarse a las condiciones ambientales cambiantes y desarrollar técnicas destinadas a la conservación de los recursos y, por ende, de sus medios de subsistencia. Esto justifica la necesidad de recopilar y promover los conocimientos existentes sobre la situación del cambio climático y la forma en que afecta directamente a los pueblos indígenas en Guatemala. Finalmente, es importante valorizar, a través de este reporte, los aportes de los conocimientos tradicionales ante el desafío que representa enfrentar los efectos del cambio climático; asimismo, que esta sea una oportunidad para presentar, con pertinencia, la información a los tomadores de decisiones.

13.2 Marco de referencia

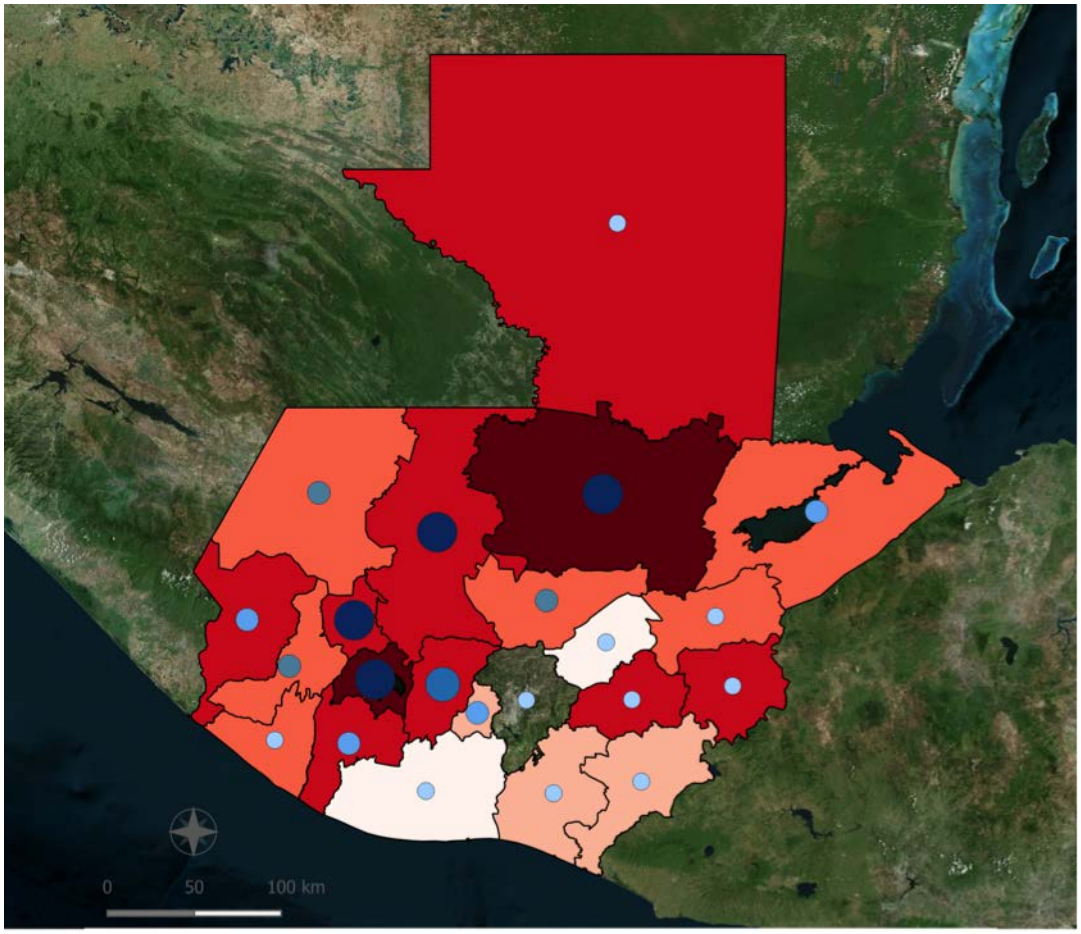
13.2.1 Contexto de los pueblos indígenas

De acuerdo con las proyecciones poblacionales del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2015), Guatemala estaría conformada por 16 838 489 habitantes en el año 2018, pertenecientes a cuatro pueblos: maya, garífuna, xinka y ladino o mestizo. Se estima que la población del pueblo maya en Guatemala representa entre el 60 % y 62 % de la población del país; sin embargo, según la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI) del año 2014, para dicho año, el 39 % de la población se autoidentificaba como indígena (INE, 2016).

El pueblo maya está conformado por 22 comunidades lingüísticas: Achi', Akateko, Awakateko, Chalchiteko, Ch'orti', Chuj, Ixil, Itza', Kaqchikel, K'iche', Mam, Mopan, Poqomam, Poqomchi', Popti', Q'anjob'al, Q'eqchi', Sakapulteko, Sipakapense, Tektiteko, Tz'utujil y Uspanteko. Las comunidades lingüísticas mayas mayoritarias son la K'iche' representada con el 11 % del total de la población guatemalteca, Q'eqchi' con 9 %, Kaqchikel con 7 % y Mam con 6 %. Estas comunidades mayoritarias, representan más del 80 % de la población maya y el 34 % de la población guatemalteca. Los departamentos de Sololá (97 %), Totonicapán (94 %) y Alta Verapaz (94 %) son los que poseen mayor población indígena (90 % de la población indígena total). En el 2014, el 50 % de la población guatemalteca vivía en áreas urbanas, de ese total, el 37 % corresponde a población indígena (INE, 2016). Es importante destacar que el mapa lingüístico de Guatemala coincide en gran medida con el mapa de pobreza, mortalidad materna, desnutrición infantil, vulnerabilidad, entre otros problemas.

Según la ENCOVI 2014 (INE, 2016), el 59 % de la población guatemalteca vive en pobreza y el 23 % en pobreza extrema, de la cual predomina la población indígena, tal como lo refleja el último mapa oficial.

Por lo tanto, el 79 % de la población indígena vive en situación de pobreza, esto quiere decir que cuatro de cada cinco personas indígenas son pobres. Asimismo, la pobreza en la población indígena es 1.7 veces mayor que en la población no indígena (INE, 2016). Según el mapa oficial, la pobreza rural se centra mayoritariamente en los departamentos de Alta Verapaz (90 %), Sololá (85 %) y Totonicapán (81 %) (INE, 2013); además, estos departamentos presentan altos niveles de pobreza total y tienen población eminentemente indígena (93 a 97 %) (INE, 2016) (Figura 13-1).



LEYENDA

POBLACIÓN INDÍGENA

- 0.1 - 19.4 %
- 19.4 - 38.8 %
- 38.8 - 58.1 %
- 58.1 - 77.5 %
- 77.5 - 96.8 %

POBREZA RURAL TOTAL

- 44.3 - 47.4 %
- 47.4 - 62.6 %
- 62.6 - 72.5 %
- 72.5 - 80.6 %
- 80.6 - 89.6 %

MAPA BASE: BING SATÉLITE

Figura 13-1 Mapa de población indígena y pobreza rural total a nivel departamental. El porcentaje de pobreza rural por departamento se muestra en tonalidades de rojo (los tonos más oscuros simbolizan valores más altos). Los círculos muestran el porcentaje de población indígena, mientras mayor el círculo, mayor la proporción de población indígena en dicho departamento. En este mapa se visualiza que los departamentos con mayor pobreza rural representan a los que tienen mayor población indígena. Elaboración propia, basado en INE (2013, 2016).

13.2.2 Participación de los pueblos indígenas en iniciativas de ley relacionadas con cambio climático

En las últimas dos décadas, diversas organizaciones indígenas han desarrollado procesos participativos para la construcción de propuestas ante los efectos del cambio climático. Conforme a esta dinámica, en 2009 se construyó la propuesta de ley[1] para la Categoría de Manejo de Áreas de Gestión Colectiva Indígena o Comunitaria, que está «orientada al reconocimiento legal de los sistemas indígenas o tradicionales de gestión territorial y de recursos naturales, así como de las áreas administradas tradicionalmente por pueblos indígenas o comunidades locales, que han realizado un manejo sostenible de los recursos naturales del territorio donde habitan, conservan especies, ecosistemas en peligro y prestan servicios ambientales a la población en general» (Elías, García, Cigarroa, & Reyna, 2009). Posteriormente, en el año 2011, se coordinó con el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), a través del Departamento de Coordinación con Pueblos Indígenas y Sociedad Civil, para que asumiera dicha propuesta y la presentara como anteproyecto de ley ante el Congreso de la República.

En el año 2010, la Mesa Indígena de Cambio Climático en Guatemala (MICCG), en coordinación con la Mesa Nacional de Cambio Climático (MNCC), construyeron una propuesta para que fuera incluida la Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación Obligatoria ante los Efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (Decreto 7-2013, 2013; Mesa Indígena sobre Cambio Climático de Guatemala & Mesa Nacional de Cambio Climático, 2010).

De la misma manera, las organizaciones indígenas, a través de la MICCG, elaboraron propuestas para que se incluyeran en la Política Nacional de Cambio Climático (MARN, 2009) y en el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (CNCC, 2016). Estos esfuerzos desarrollados por las organizaciones indígenas han sido muestras de su voluntad y de que los conocimientos ancestrales, así como las prácticas tradicionales, se constituyen en contribuciones de los pueblos indígenas de Guatemala para los procesos de adaptación y mitigación ante los efectos negativos del cambio climático.

13.2.3 Enfoque de los pueblos indígenas sobre la madre naturaleza

El pueblo maya ha tratado el tema de los desequilibrios ambientales y ecológicos[2] desde tiempos inmemoriales y ha tenido una particular visión sobre la manera de utilizar y cuidar todo lo creado, tal y como lo plasmaron y describieron en sus escritos. Esto se evidencia en el Popol Wuj[3] desde la misma creación, cuando dialogaron y «se pusieron de acuerdo bajo la luz [...] Kukulja Jun Raqan, el primero, el segundo es Ch'ipi Kuqulja' y el tercero Raxa Kaqulja'» (creadores y formadores), «[...] Porque debe surgir la Tierra, su superficie debe verse. Luego que venga la siembra que nazcan Cielo y Tierra [...] solo por su poder se consiguió la concepción de las montañas y valles; que de inmediato rebosaron de cipreses y pinos». Luego fueron creados «los animales del monte y cuidadores de los cerros, venados, pájaros, pumas, jaguares, serpientes cascabel y barbamarilla guardianas de los bejucos» (Sam Colop, 2008).

El cambio climático es un fenómeno que afecta a los pueblos indígenas, quienes desde su pensamiento cosmogónico han generado y planteado propuestas que podrían coadyuvar a la búsqueda de soluciones, basadas en sus conocimientos ancestrales y prácticas tradicionales; partiendo del principio de que todo tiene vida y que, en la convivencia en armonía y equilibrio entre el ser humano, madre naturaleza y universo, se encuentra el bienestar, la riqueza espiritual y material (Batzín, 2002).

1 Esta propuesta se encuentra pendiente de ser presentada al Congreso de la República.

2 El desequilibrio es el desorden que ocurre en los elementos de la madre naturaleza, en condiciones naturales; suelen ser pequeños y son neutralizadas por la propia naturaleza. Pero cuando son producto de las actividades humanas, alteran el medio ambiente, provocando cambios drásticos de forma negativa a la existencia de las diferentes formas de vida.

3 El libro que contiene la mitología y la historia del pueblo *K'iche'* hasta la llegada de los españoles en el siglo XVI, cuando se cuenta la ejecución de los Señores principales *Oxib kej* y *Belejeb Tz'i'*. Este libro fue transcrito en símbolos latinos, conforme a Recinos, entre los años 1554-58 (Sam Colop, 2008).

En el pensamiento cosmogónico indígena, cada elemento ocupa un espacio y tiene una función en el desarrollo de la vida, dicha situación afirma que hay interdependencia entre todo lo creado y que la convivencia armónica es fundamental para el desarrollo de la vida en sus diferentes manifestaciones. No hay un elemento más importante sobre otro, sino que todo es complementario, por ejemplo, el día y la noche representan la convivencia armónica. En este sentido, «la claridad es el movimiento, la acción, el trabajo, la producción, cultivo de vitalidad. La oscuridad es el reposo, el descanso, el reencuentro, la recuperación. Ambos estados se ceden el paso el uno al otro, se esperan, se unifican para la realización de la vida» (Cochoy et al., 2006). Esta complementariedad se concretiza en aspectos trascendentes y en hechos de la vida cotidiana, sobre todo en las relaciones de género (femenino y masculino), vista como una relación de importancia para garantizar la vida de los seres humanos y la vida del cosmos, la reproducción de la especie humana y el mantenimiento del ambiente natural del que tanto hombres como mujeres se constituyen en sustentadores, alimentadores y reconocedores. Por ende, cualquier situación que atente contra esos principios provoca consecuencias graves en el entramado de la vida.

Esta es una de las razones por las que fueron corregidos Wuqu' Qak'ix y sus hijos Zipakna', el primero, y Kabraqan, el segundo. Ellos creyeron y presumían ser iguales o más grandes que el sol y la luna, se vanagloriaban y creían que eran amos, dueños y superiores ante los demás elementos de la creación. Dicha situación provocó que los creadores y formadores solicitaran a Jun Ajpu' y Xbalamke que Wuqu' Qak'ix y sus hijos fueran disciplinados. De la misma manera fueron destruidas las generaciones de los «hombres» hechos de tierra con lodo, debido a que no cumplieron con su función y mandato de cuidar lo creado y de reconocer que solo eran parte de la creación; por tanto, hicieron el cuerpo de los «hombres» de madera, esculpida por el creador y formador (Sam Colop, 2008).

Estos pasajes escritos en el Popol Wuj son una evidencia de que en la creación no hay criatura más grande ni más pequeña, todos tienen una razón de ser. El pensamiento indígena valora cada elemento de la creación como lo aseguró el jefe Seattle del pueblo Suwamish en la carta al presidente de los Estados Unidos, Franklin Pierce. En esa carta indica que cada pedazo de esta tierra era sagrado para su pueblo, describiéndolo de la siguiente manera: «cada rama brillante de un pino, cada puñado de arena de las playas, la penumbra de la densa selva, cada rayo de luz y el zumbar de los insectos son sagrados en la memoria y vida de mi pueblo [...] el hombre no tejió el tejido de la vida; él es simplemente uno de sus hilos. Todo lo que hiciere al tejido, lo hará a sí mismo» (Seattle, 1855). Esta forma de pensar y de vivir deja claramente expresada que cualquier acción que el ser humano emprenda, que no sea para la sobrevivencia, es soberbia como la de Wuqu' Qak'ix y sus hijos.

Los pueblos indígenas de Guatemala deben ser considerados actores fundamentales en los procesos de mitigación y adaptación al cambio climático, tomando en cuenta que sus conocimientos y prácticas indígenas, en la conservación de los recursos naturales, han sido importantes. Prueba de ello es la conservación de más de 1.5 millones de hectáreas bajo la modalidad de manejo comunitario, según el Diagnóstico de la Conservación y Manejo de Recursos Naturales en Tierras Comunales, donde se expresa que «[...] se identificó un total de 1307 casos de tierras comunales con una extensión total de 1 577 124 hectáreas en todo el país (equivalente a 15 771 Km^2), equivalente al 12 % de la superficie del país» (Elías et al., 2009).

13.2.4 Cambio climático en tiempos prehispánicos

La combinación de disciplinas como la Arqueología, Historia y Paleoclimatología han logrado identificar el impacto de cambios climáticos no antropogénicos en sociedades del pasado alrededor del mundo. Se han identificado grandes sequías, como la que duró 300 años en el Medio Oriente (2230-1950 a. C.) y que acabó con el imperio acadio (Harrassowitz Verlag, 2012; Killebrew, Steiner, & Weiss, 2013) o la que afectó a los pueblos del Mediterráneo entre 1200 a 1800 a. C. (Kaniewski et al., 2013); así como otros eventos de menor magnitud que no produjeron grandes desastres, como la sequía que afectó al imperio azteca entre 1447 y 1454 d. C., durante el reinado de Moctezuma I. Por el contrario, también han quedado registrados periodos de gran humedad, como los

producidos por el fenómeno de El Niño en Perú[4] y sus consecuentes impactos en la sociedad moche, entre los años 550 a 690 d. C. (Mauricio, 2014). Más aún, otros fenómenos con consecuencias ambientales como erupciones volcánicas, terremotos y tsunamis han sido registrados en relación con las poblaciones *anazasi* (Lekson, 2008; Ort, Elson, Anderson, Duffield, & Samples, 2008), la civilización *minoica* del Mediterráneo (Friedrich, 2015) y la cultura *harappan* en el valle del Indo (Wright, 2010). En el caso del territorio guatemalteco, hay datos que indican un patrón de variabilidad climática durante la época prehispánica, lo cual se puede correlacionar con los datos arqueológicos, para así medir el grado de adaptabilidad de las sociedades con respecto a los cambios en el medio ambiente. Ha sido de interés particular el caso de las sociedades que se asentaron en el departamento de Petén, como parte de la región conocida como las Tierras Bajas Mayas.

Desde la década de 1970 varios científicos han recopilado datos que han identificado diversos eventos de cambio climático no antropogénico. Uno de ellos sucedió al final del periodo preclásico (200 d. C.), el cual produjo el abandono de algunas ciudades, pero al mismo tiempo impulsó el desarrollo de sistemas más eficientes de agricultura y captación de agua, lo que permitió el esplendor político, científico y artístico del periodo clásico. Todas estas actividades permitieron que se desarrollara una gran población de varios millones de personas (Canuto et al., 2018), lo que dejó huella por todo el territorio de Petén, a tal grado que se cambió considerablemente el paisaje. A este fenómeno se le ha llamado el Mayaceno (Beach et al., 2015), en referencia al concepto de Antropoceno, el cual propone una nueva unidad de tiempo geológico, relacionado con los cambios en el medio ambiente y la geología del planeta producidos por el ser humano (Zalasiewicz, Williams, Haywood, & Ellis, 2011). Todos estos rasgos se han identificado recientemente por medio de la tecnología LiDAR que ha permitido detectarlos bajo la cubierta forestal (Canuto et al., 2018).

Este momento de esplendor terminó con un abandono casi total del territorio petenero, en una época que coincide con una serie de sequías y que ha sido llamado el «colapso maya». Los estudios más recientes han podido reconstruir con gran detalle estos fenómenos climáticos, identificando un periodo de clima seco que se extendió por más de cien años (Beach et al., 2015) (Cuadro 13-1). Es importante recalcar que la notable baja poblacional de la región de Petén no fue causada solamente por un fenómeno de cambio climático, sino que fue el resultado de varios factores. Los datos arqueológicos han demostrado que antes del periodo de sequía, las sociedades que habitaron las Tierras Bajas se encontraban en un escenario de conflictividad sociopolítica y de sobreexplotación de recursos. Por lo tanto, estas poblaciones no pudieron responder ni adaptarse a las condiciones de sequía y tuvieron que abandonar el territorio, migrando mayoritariamente hacia el norte. No obstante, este colapso y abandono no significó el fin de la civilización maya. El desarrollo del periodo postclásico es muestra de un proceso de transformación de los grupos mayas, los cuales continuaron con su desarrollo en la región de la península de Yucatán y del altiplano guatemalteco hasta la llegada de los invasores europeos. Sin embargo, el impacto más evidente del cambio climático fue el hecho de que las poblaciones de Petén nunca alcanzaron los niveles de población, ni de complejidad social de los periodos previos, y que no verían una nueva alza en ocupación sino hasta mediados del siglo XX.

4 El fenómeno de El Niño se manifiesta de forma inversa en el ecuador, en comparación con la región centroamericana, es decir que en Perú se manifiesta con fuertes lluvias, a diferencia de Guatemala donde estas disminuyen **(capítulos 1 y 2)**.

Cuadro 13-1 Resumen de datos arqueológicos y paleoclimatológicos para las Tierras Bajas Mayas

	Fecha aproximada	Evidencia climática	Evidencia arqueológica
Periodo Preclásico	1150 – 950 a.C.	Sequía fuerte.	Inicios del poblamiento de las Tierras Bajas Mayas.
	500 a.C. – 100 d.C.	Condiciones climáticas favorables. El registro indica los mayores niveles de precipitación pluvial en la historia de la región.	Surgimiento de los primeros estados en las Tierras Bajas.
	100 – 600 d.C.	Cambio a un clima más seco, con algunos intervalos de sequías, especialmente alrededor de los años 250 d.C. y 500 d.C.	Abandono de algunas ciudades preclásicas. ▶ Desarrollo de sistemas intensivos de agricultura y sistemas de captación de agua más eficientes.
Periodo Clásico	600 – 750 d.C.	Condiciones climáticas favorables.	Apogeo de la civilización Maya clásica en la región de las Tierras Bajas.
	750 – 810 d.C.	Inicio del cambio a un clima más seco, pero sin un efecto considerable.	Evidencia de conflicto en las ciudades de las Tierras Bajas Mayas y abandono de ciudades en la región de los ríos La Pasión y Usumacinta.
	800 – 950 d.C.	Ocho intervalos de sequía, siendo el más severo alrededor de 830 d.C. ▶ La lluvia se redujo entre un 36 % a 52 % en Petén. ▶ Hasta el momento no se ha podido determinar la causa de estas sequías.	Abandono paulatino del resto de ciudades en las Tierras Bajas Mayas y migraciones masivas, principalmente al norte, en la Península de Yucatán.
Periodo Postclásico	1000 – 1100 d.C.	Segundo episodio de sequías, con mayor impacto en la Península de Yucatán.	Colapso y abandono de las grandes ciudades en la Península de Yucatán.
	1100 – 1524 d.C.	Retorno a condiciones climáticas favorables.	Escasa población en El Petén. ▶ Apogeo de ciudades en las costas de Yucatán y en el altiplano guatemalteco.

Nota: La primera columna indica al periodo de tiempo en el que cada evento ocurrió. La segunda columna menciona los años en los que ocurrieron los eventos. La tercera columna indica el evento climático ocurrido. La cuarta y última columna muestra la evidencia arqueológica que comprueba la existencia del evento climático. a.C. = antes de Cristo; d.C. = después de Cristo. Elaboración propia, basado en Douglas et al. (2015).

13.3 Impactos del cambio climático en las comunidades indígenas de Guatemala

En Guatemala, los departamentos más vulnerables a riesgos múltiples, tales como peligro de deslizamiento, inundación, socavamiento, entre otros, son Alta Verapaz, Totonicapán y Petén. Los eventos considerados más recurrentes son los vinculados con las precipitaciones y los sismos. Guatemala ocupa el quinto lugar entre los diez países con más muertos reportados a causa de desastres por eventos extremos (Ginebra/EFE, 2016).

Actualmente, el número de días de lluvia está disminuyendo, mientras que la intensidad de esta ha aumentado, puesto que son más comunes las lluvias extremas. De estas, el 24 % se debe a ciclones tropicales y el 76 % a otro tipo de eventos. La canícula se ha visto afectada por el cambio climático, ya que actualmente dura de 30 a 50 días, no 10 o 15 días que usualmente duraba. Esto provoca una disminución de lluvia en julio y agosto, y graves problemas en la agricultura, principalmente para los pequeños productores. Dicha situación se agrava cuando se manifiesta el fenómeno de El Niño (como en los años 1982, 1986, 1997, 2001, 2002, 2006, 2009, 2012 y 2014) (INSIVUMEH, 2018). Los departamentos mayormente afectados por la canícula son Baja Verapaz, Sacatepéquez, Totonicapán, Chimaltenango, Guatemala, El Progreso, Zacapa, Jutiapa, Chiquimula, el sur de Quiché y el sur de Huehuetenango. Los pueblos indígenas son los más afectados, por depender en gran medida de los recursos naturales y de la agricultura de subsistencia. Esta problemática provoca que disminuyan las tierras cultivables, así como la disminución del rendimiento de producción, principalmente de granos básicos, afectando la seguridad alimentaria **(capítulo 6)**.

El cambio climático también tiene consecuencias en el acceso al agua para consumo humano, sobre todo en el área rural, en donde el 25 % de los hogares no poseían servicio de agua potable en el año 2011. Es importante hacer notar que el 39 % de las tierras forestales de mayor importancia hidrológica poseían bosques en el país en el año 2010, en las cuales más de 20 000 millones de metros cúbicos de agua fueron utilizados anualmente entre 2007 a 2010, a través de tareas extractivas. La cobertura del servicio de agua potable, en el año 2011, corresponde al 75 % de las familias a nivel nacional, de las cuales el 91 % fueron familias del área urbana y 58 % del área rural (INE, 2011).

El fenómeno de El Niño ha afectado al corredor seco del país desde 2013, acrecentándose hasta la fecha. Según Felipe (2016), los daños a los cultivos de granos básicos en el país, provocados por el déficit de lluvias, afectaron 37 309 hectáreas en 99 municipios, afectando a 123 201 familias, principalmente en los departamentos de Chiquimula, Jalapa, El Progreso y Zacapa. Mientras que, en cuanto a la extensión de cultivos con daños, los departamentos más afectados fueron Jalapa, El Progreso y Jutiapa. La producción de maíz y frijol, especialmente la correspondiente a los agricultores de subsistencia, ha sido afectada a partir de 2012 y hasta 2016, debido a la reducción de lluvias por la canícula prolongada y a las irregularidades en la precipitación. De esa cuenta, las familias que se dedicaban a la agricultura no solo vieron sus ingresos disminuidos de manera drástica, sino que también vieron limitada su alimentación; ya que entre los pequeños y medianos agricultores, los cultivos se destinan mayormente al autoconsumo, y de haber excedente, este se destina a la venta.

13.4 Descripción de los sistemas de calendarios: calendario maya y clima

Desde la cosmovisión maya, en el cielo transitan el abuelo sol, la abuela luna y nuestras hermanas las estrellas generadoras de luz, y el orden de la temporalidad del universo; esta dinámica lo convierte en un cosmos vivo. Del cielo vienen las energías primordiales para la vida que permiten la existencia en la madre tierra. El Ru Kux Kaj, Corazón del Cielo, es el responsable de la existencia del universo, el orden, la eternidad y sincronicidad de los ritmos cósmicos; así como también del equilibrio de las relaciones humanas. Ru Kux Kaj es el Creador y Formador del universo y de los sagrados elementos agua y calor solar (fuego) que se reciben del cielo, esenciales para la vida del ser humano, los cuales son su responsabilidad. Materializado, Ru Kux Ulew es el Corazón de la Madre Tierra. Humanizado, Ru Kux Kaj y Ru Kux Ulew son el arquetipo cultural que transmite a los seres humanos sus conocimientos y dicta sus normas, las mismas que corresponden a un orden natural.

Según Espinoza (2014), en relación con el pensamiento maya, «no hay nada más simple en el universo como comprender que aquello que parece complicado es solamente una pequeña muestra de sencillez». El pensamiento maya es una «sistematización de conocimientos y abstracciones hechas en relación con el universo y la tierra, con la naturaleza y el ser humano, a través de miles de años en constante observación y creación. Formas y maneras de vida, prácticas cotidianas llenas de paciencia, de lo contrario cómo explicaríamos tanta exactitud en sus observaciones y aportaciones» (Espinoza, 2014).

En esta dinámica surgieron y se crearon los calendarios mayas que constituyen sistemas de registro del tiempo, de acontecimientos y de fenómenos cíclicos. Los calendarios sistematizan el movimiento de los astros como el sol, la luna, las estrellas y constelaciones; estos rigieron las actividades económicas, sociales, políticas y culturales de las sociedades antiguas (prehispánicas) y de las contemporáneas. Por tal motivo coexisten varias cuentas del tiempo que siguen vigentes y que aún rigen el actuar de los pueblos indígenas, las cuales se describen a continuación.

13.4.1 Cholq'ij o calendario sagrado

El calendario Cholq'ij es el más conocido, también se le conoce como calendario lunar y se le consulta para saber cuál es la influencia del día en la vida cotidiana de las personas (Guoron, 2010). Este periodo de tiempo consta de 260 *q'ij* (días) que constituyen un ciclo de 20 días/energías, combinado con 13 energías (numerales). Está relacionado con el periodo de gestación del ser humano, los días en que «Venus dura como la estrella del amanecer y atardecer» (Ochoa, 2012) y la correlación de su Q'ij Alaxik[5], que establece «cómo es su espíritu y nos hace conocer cómo es cada quien en su corazón, en su conciencia, en su presente y en su Ch'umilal» o futuro de cada persona (Paz, 2014). También influía en las actividades de la comunidad, en la agricultura; así es que, según Grube (2006), «el día 3 *chuwen*, por ejemplo, era nefasto para sembrar, en tanto que el 8 *kib* prometía un buen año».

5 En idioma Kaqchikel significa: día del nacimiento.

La naturaleza de este calendario es llevar la correlación de las energías del universo, por esta razón es una herramienta utilizada por los Ajq'ij[6] para hacer la interpretación e identificar el comportamiento de la naturaleza y del clima en periodos definidos: invierno normal o con tormentas, sequías y catástrofes. Este calendario también «era usado para celebrar ceremonias religiosas, pronosticar la llegada y duración del periodo de lluvias, además de periodos de cacería y pesca, y también para pronosticar el destino de las personas» (Biblioteca Pláyedes, s/f).

El calendario Cholq'ij ha sido base para identificar los impactos del cambio climático en la región maya, los Ajq'ij reciben las señales e indicadores para el periodo que arranca en el Waqxaqi' B'atz'. Dichas señales se reciben a través del viento, agua, fuego (elementos de la naturaleza); señales en la ceremonia; o señales corporales de los *ajq'ij*.

13.4.2 Chol Ab' o calendario solar

También llamado calendario agrícola de 365 *q'ij* (días). Está constituido por 18 meses de 20 días cada uno, sumando 360 días, más un periodo de 5 *q'ij*, denominado Wayeb', que es un periodo de evaluación, preparación y planificación del siguiente año. Este calendario, junto con las fases de la luna, sigue vigente porque las comunidades indígenas lo utilizan para organizar las diferentes actividades comunitarias, como el cambio de autoridades, el cambio de cargador del año o año nuevo maya; y las diferentes actividades agrícolas relacionadas con la recolección de semillas, preparación de la tierra para el cultivo, la siembra, los diferentes trabajos de cuidado de la siembra, la cosecha y su almacenamiento (TNC, 2015).

En la antigua cosmología maya, los ciclos de sequía y abundancia estaban muy ligados al cargador del año, situación que hacía creer que «ciertos tipos de clima se presentarían si determinada deidad era la

6 Son mujeres y hombres que ejercitan la virtud de observar, interpretar y contar el tiempo y las energías de los días, su principal función es orientar a la población. «Su palabra, sentimiento, intuición, conocimiento, experiencia y sabiduría ha sido cultivada en la tradición oral con sencillez humana, su autoridad es moral y descansa en el reconocimiento y aceptación de la sociedad».

que lleva el peso del año» (Ivic, Azurdia, Fundación Solar, & Consejo Nacional de Ancianos Principales y Guías Espirituales Mayas Xincas y Garífunas, 2008). En el pasado, los ciclos del clima eran más estables que en la actualidad: la época lluviosa se establecía en los últimos días de marzo o al inicio de abril. Así que, la época propicia para sembrar es mayo. Por tanto, «los abuelos decían que si caía buena lluvia en junio, entonces la milpa cargaría buena mazorca, es decir que habría buena cosecha; si no, la milpa crecería sin mucha mazorca, porque no hubo lluvia que la criara» (Ivic et al., 2008).

El año nuevo, o el día en que se recibe el nuevo cargador del año, era la mayor fiesta del año y la celebraban a nivel comunitario. Sin embargo, en cada mes maya se celebraban diversas actividades; por ejemplo, «los cazadores y los pescadores celebraban su fiesta en la demanda de una buena caza y de una buena pesca respectivamente en el *sip*, que en la época de la conquista española coincidía con los meses de agosto y septiembre, en tanto que los propietarios de colmenas la celebraban en solicitud de una gran cosecha de miel en el mes *tzek* (octubre) [...] en el mes *sak* (febrero) los cazadores celebraban una fiesta para dar gracias por el resultado feliz de su campaña. En el mes *mak* (marzo y abril) se pedía agua suficiente para cultivar los campos [...] los cultivadores de cacao celebraban su fiesta de rogativa en el mes *muwan* (abril y mayo) (Grube, 2006).

De esta cuenta, también las fases de la luna son consideradas para el desarrollo de las diferentes actividades agrícolas; por ejemplo, de luna nueva a luna cuarto creciente se pueden observar señales que indican el inicio o final de las lluvias. De luna cuarto creciente a luna llena se puede observar si las corrientes de aire traen frío. La luna cuarto menguante está más relacionada con las lluvias, porque regularmente llueve más en esta fase lunar (TNC, 2015).

13.4.3 Chol Ab' o calendario solar

También se le conoce como calendario de la cuenta larga. Utilizado para llevar el registro de eventos significativos en la vida de los pueblos en periodos *k'atun* (periodo de 20 años *tun*) y *b'aktun* (periodos de 400 años *tun*). Para efecto de esta cuenta, el año *tun* es de 360 días (Cuadro 13-2). A eso se debe que la fecha *oxlajuj b'aktun* (13 ciclos de 400 años *tun*), que coincidió con el 21 de diciembre de 2012, haya sido muy significativa en la historia de la civilización maya, ya que se cumplió un gran ciclo de 5200 años *tun* (equivalente aproximadamente a 5129 años de 365 días) (Biblioteca Pláyedes, s/f).

Cuadro 13-2 Unidades de tiempo representadas en el calendario Choltun

Unidades	Nombre maya	Equivalencias
1	Q'ij	1 día
20	Winaq	20 días
360	Tun	18 *winaq*
7 200	K'atun	360 *winaq* o 20 *tun*
144 000	B'aktun	7,200 *winaq*, 400 *tun* o 20 *k'atun*

Nota: Cada periodo se presenta con sus unidades en días, nombre maya, y sus equivalencias respecto al resto de periodos. Adaptado de Biblioteca Pláyedes (s/f).

13.5 Conocimiento tradicional sobre el clima y el tiempo

Los pueblos indígenas son portadores de un refinado sistema de conocimientos relacionados, pero tan variados como la astronomía, botánica, agricultura, espiritualidad, cosmogonía, historia, etnografía, ciencia, sociedad, economía, símbolos, cultura material, entre otras, que permiten obtener un acercamiento diferente durante el proceso de adquisición y construcción de conocimientos, en comparación con el que normalmente se hace en las sociedades occidentales.

En cuanto al clima y el tiempo existe un sistema de alerta temprana de prevención ante cambios extremos en el clima. La naturaleza emite señales previas a eventos naturales (cambios en el clima o cambios en los ciclos-tiempo, temblores, huracanes, etc.). El conocimiento para la detección de estas señales está concentrado en su mayoría por ancianos indígenas. Estas señales son las que se presentan en el cielo, la posición de las estrellas, constelaciones y demás cuerpos celestes. Todos ellos son diseños en el cielo que marcan acontecimientos naturales en la tierra; por ejemplo, el inicio del invierno ocurre cuando las pléyades (*motza'*) aparecen en el occidente a las 6 p. m. en combinación con la luna en cuarto menguante y con venus en el cenit.

13.5.1 Señales en las nubes

Las lluvias con vientos fuertes (tormentas y huracanes) pueden pronosticarse observando las nubes. En el área del lago Atitlán, en tiempo de invierno, la formación de nubes de color gris oscuro que cubren la mayor parte del volcán (estratocúmulos) es señal de mucha lluvia (Figura 13-2a), mientras que la formación de nubes que cubren el cono (altoestratos) es señal de vientos fuertes en las próximas horas (Figura 13-2b). Estas imágenes de los volcanes Tolimán y Atitlán (Figura 13-2) fueron capturadas a distintas horas el 21 de octubre del 2013. Ese mismo día, el huracán Raymond alcanzó la categoría 3 en el Pacífico (NOAA, s/f), en territorio mexicano. En palabras de los cofrades «esas señales indican que el invierno aún sigue y con vientos fuertes», y así fue. Desde ese día, las lluvias continuas cesaron hasta el 30 de octubre en la meseta central y costa sur del país.

Cuando las nubes están en forma de surcos indica que la tierra temblará (Figura 13-3). Tres días antes del terremoto en el departamento de San Marcos, desde el valle de la Ermita, con vista en dirección hacia el poniente, se vieron ese tipo de nubes (Figura 13-3a), tres surcos de color rosado. De igual manera, ocho días antes del temblor de 4.7 grados en la escala de Richter, registrado el 12 de junio de 2013, se vieron en el cielo nubes en forma de surcos desde el valle del B'oko', Chimaltenango (Figura 13-3b).

A) B)

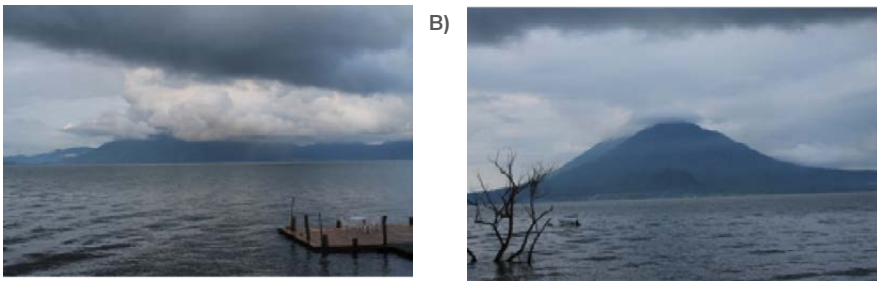


Figura 13-2 Señales en las nubes de los volcanes Atitlán y Tolimán. a) Una formación de nubes cubriendo la mayor parte de los volcanes es señal de mucha lluvia b) Formación de nubes sobre los volcanes es señal de vientos fuertes en las próximas horas.
Fotografías: Félix Sarazúa.

A) B)

Figura 13-3 Nubes en forma de surco, indicando próximos temblores. a) Esta fotografía se tomó tres días antes del terremoto en el departamento de San Marcos (7 de noviembre del 2012), desde el Valle de la Ermita con vista en dirección hacia el poniente. b) Nubes con forma de surcos desde el valle del B'oko', Chimaltenango.
Fotografías: Félix Sarazúa.

13.5.2 Señales y prácticas asociadas a la luna

La luna también es fuente de información. Cuando aparece la luna «de sangre» (para los meteorólogos), en otras palabras cuando la luna se torna de color rojizo, indica que el siguiente día habrá mucho calor.

Cuando «se sienta» la luna Taq nitz'uye' ri Ati't Ik' es cuando ocurre la luna cuarto creciente (Figura 13-4a); los ancianos dicen «ya se sentó la luna» cuando la parte brillante queda hacia abajo, lo cual es señal de que el invierno se va. Esta fase de la luna es especial porque está en un periodo ascendente, entonces los eventos que anuncian estarán proyectados hacia futuro, esto permite a las personas tomar las precauciones pertinentes.

La luna que trae agua Ri Ati't Ik' ru k'amomb'e ya' ocurre cuando la luna cuarto creciente se encuentra como una letra c invertida (Figura 13-4b). Cuando se ve orientada hacia el sur (desde la meseta central del país, cuando está orientada hacia los volcanes) indica que la estación de invierno iniciará en ese ciclo lunar o en el siguiente.

En luna llena (Figura 13-4c) se pueden cortar los árboles para que la madera sea resistente y no se pique rápido, o si es para leña, para que abunde y de buena braza. La tapisca (cosecha de maíz) debe hacerse en luna llena para que el maíz no se pique rápido. El injerto de plantas debe hacerse en esta fase lunar para que no «sangre» mucho la planta y que el injerto se adhiera rápido y no se enferme.

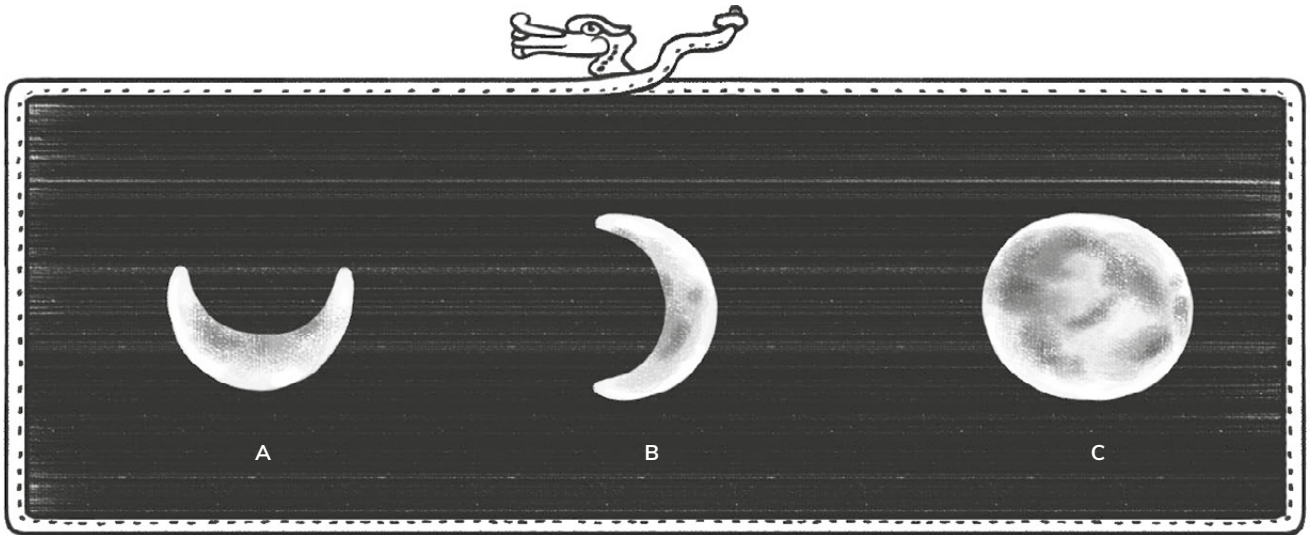


Figura 13-4 Fases de la luna y su relación con cambios en el estado del tiempo. a) Cuarto creciente (cuando la luna se sienta), lo cual es señal de que el invierno se va b) Luna cuarto creciente, letra c invertida, es señal que la estación de invierno iniciará en ese ciclo lunar o en el siguiente c) Luna llena es señal de que se pueden cortar los árboles, la cosecha de maíz y el injerto de plantas. Elaboración propia.

13.5.3 Señales y prácticas con relación al sol

Otro de los fenómenos que siguen siendo observados son los movimientos del sol y su relación con los ciclos del tiempo, lo que en la actualidad se conoce como equinoccios y solsticios. De acuerdo con esto, los pueblos indígenas han observado que el árbol tiene un ciclo «femenino» y un ciclo «masculino» que se alternan de acuerdo con el movimiento del sol. El ciclo femenino del árbol es un tiempo de descanso para el árbol y para el bosque que ocurre del equinoccio de marzo al solsticio de junio (21 de marzo al 21 de junio), y es cuando la semilla está esparcida en el suelo (siembra natural) para el inicio de germinación natural de plántulas en el bosque. Durante este ciclo se recomienda evitar actividades productivas o de aprovechamiento (Camey, 2019).

Del solsticio de junio al equinoccio de septiembre (21 de junio al 21 de septiembre) se abona o se nutre la siembra de forma natural, se da el crecimiento de plántulas de forma natural en el bosque. El ciclo masculino del árbol, que es la complementariedad del ciclo femenino, ocurre del equinoccio de septiem-

bre al solsticio de diciembre (21 de septiembre al 21 de diciembre) y es la época en la que maduran los frutos. Durante ese ciclo se realiza la mayor cantidad de actividad forestal, por lo tanto, el árbol maduro puede ser aprovechado para leña o madera, según la fase lunar. Del solsticio de diciembre al equinoccio de marzo (21 de diciembre al 21 de marzo) la semilla está dispuesta para ser recolectada (Camey, 2019).

Otra señal que indica el sol es cuando se forma un círculo de colores a su alrededor (Figura 13-5), esto significa que en las siguientes horas habrá lluvias.

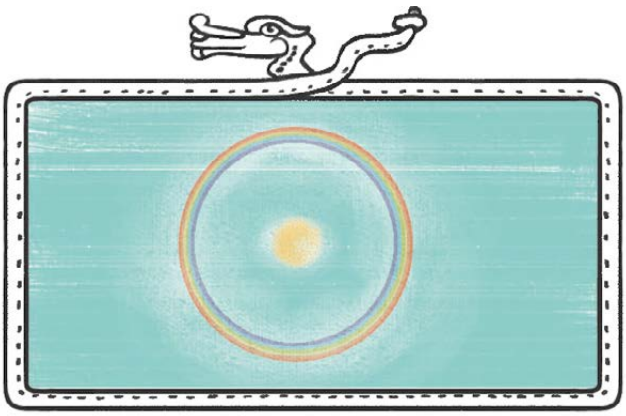


Figura 13-5 Señales de lluvia en el sol. Elaboración propia.

13.5.4 Señales y prácticas asociadas a la luna

Las plantas, como todo ser vivo, perciben vibraciones del universo y las transmiten a los demás seres de diferentes formas. Si nacen raíces más arriba de lo normal en el tallo del maíz (Figura 13-6a), anuncia que en los siguientes meses de invierno habrá vientos muy fuertes (huracanes y/o tormentas).

Cuando el árbol llamado *raxche'* (encino) da muchos frutos (Figura 13-6b) es señal de que habrá buena cosecha de maíz y es símbolo de abundancia (K'iyal). Es decir que en el siguiente año habrá abundancia para las familias.

Los animales también indican cambios en el estado del tiempo. Si al anochecer el canto de la cigarra Ri Xi'l ni b'ixan se alarga por mucho tiempo es señal de que tardará en llover (Figura 13-6c). Entonces, los comunitarios esperan más tiempo para iniciar la siembra, de esa manera no perjudican sus cultivos por la falta de lluvia.

Otra fuente de información del comportamiento del clima son las aves. La chorcha (*Oriolus oriolus*), que es un ave color amarillo y con la parte superior de las alas de color negro, fabrica su nido en forma de bolsa (Figura 13-6d). Cuando fabrica su nido más largo de lo normal es señal de que el inicio del invierno se atrasará como mínimo dos semanas, previniendo a los agricultores para que tomen medidas pertinentes.

Cuando los azacuanes (Figura 13-6e) pasan sobre la cadena volcánica central kaqchikel o altiplano central del país (área maya-kaqchikel) en el mes de mayo, anuncian la llegada del invierno. En este mes pasan normalmente en dirección sureste–noroeste, volando en grandes cantidades y formando largas filas; así también se les ve volando en forma circular formando remolinos. Cuando pasan a menos de 1 km de altura anuncian que la lluvia iniciará en el transcurso de la siguiente semana; si vuelan a más de 1 km de altura indican que en dos o tres semanas más iniciará la temporada de lluvias. Cuando se arremolinan en la dirección de las agujas del reloj durante su vuelo, o en forma desordenada, es señal de que el invierno será muy fuerte, al extremo de causar destrozos y desastres. Esta es una señal de alerta temprana para la prevención de desastres. Los Ancianos dicen que «son las aves que anuncian las lluvias».

El coyote (*utiw*, en idioma kaqchikel) es altamente significativo en la vida de las comunidades indígenas y en la cosmogonía maya (Figura 13-6g). La prueba de ello la encontramos en el ciclo calendárico Cholq'ij, en el Popol Wuj y en la tradición oral comunitaria.

El coyote es un animal mitológico que está relacionado con Alom y K'ajolom, la pareja creadora en lectura antropomórfica (Sam Colop, 2008), que es una forma de nombrar a Jun Ajpu Wuch', (Cazador Tacuazín, deidad de la madrugada) y a Jun Ajpu Utiw (Cazador Coyote, deidad de la noche), esto debido a sus hábitos nocturnos, porque en la noche es cuando más se escucha el Ru wuyinïk ri Utiw. Las señales del coyote anuncian terremotos.

Figura 13-6 Señales de plantas y animales. a) Raíces expuestas del maíz como señal de lluvia. b) Árbol de encino que anticipa buena cosecha de maíz si se llena de frutos. c) Canto de la cigarra anunciando retraso en lluvias. d) Chorcha (*Oriolus oriolus*) y su nido como indicadores del tipo de época de lluvia que se espera. e) Azacuanes que anuncian lluvias. f) Coyotes que anuncian terremotos. Elaboración propia.

13.6 Sistemas indígenas de adaptación agrícola

El sistema de valores, conocimientos y prácticas indígenas ha estado sujeto a cambios y adaptaciones constantes debido a las alteraciones de los patrones climáticos causadas por factores naturales y, en menor medida, por factores antropogénicos, que han tenido una mayor incidencia en el fenómeno del cambio climático.

De acuerdo con el testimonio del líder indígena Ceferino Xajpot de Patzún, Chimaltenango, las necesidades de adaptación al cambio climático han sido un desafío más fuerte en los últimos años para las comunidades indígenas. Sin embargo, lo contrarrestan con la aplicación de sus conocimientos tradicionales en procesos como la selección e intercambio de semillas; el ajuste en las prácticas de labranza y aplicación del calendario agrícola; y la recuperación de conocimientos ancestrales basados en las señales de la naturaleza sobre el comportamiento de la lluvia, temperatura, vientos, *argeño*, entre otros (Xajpot, Ceferino, comunicación personal, 15 de junio de 2018). Durante siglos, los pueblos indígenas y comunidades locales han desarrollado, utilizado y transmitido sus conocimientos tradicionales en función de su propia cultura. Dichos conocimientos han evolucionado en la medida de sus necesidades y gran parte de ellos lo han hecho paralelamente a la domesticación de plantas y animales. Este proceso ha contribuido a la agrobiodiversidad, que es fundamental en los patrones de alimentación a nivel mundial (TNC, 2015).

Una mayor exposición de los recursos naturales al cambio climático pone en riesgo las actividades agrícolas, económicas, sociales y culturales de los pueblos indígenas, las cuales dependen de ellos. Además, la mayoría de estos pueblos habitan en tierras

comunales, de las cuales se han identificado 1307 casos que abarcan 1 577 124 ha en todo el país. La superficie que cubren equivale al 12 % (15 771 km^2) del territorio guatemalteco (Elías et al., 2009).

La agricultura es un medio de vida importante para los pueblos indígenas, especialmente para el pueblo maya, que por miles de años ha aplicado conocimientos y prácticas para adaptar y mejorar la agrobiodiversidad. Según Guorón (2010) «la ciencia de la agricultura en la región maya se inició desde que nuestros abuelos y abuelas empezaron a observar el comportamiento y propiedades de la naturaleza, tales como los ciclos de la lluvia, los tipos de suelos y la diversidad de las plantas con posibilidad de domesticación».

En las diferentes regiones del país existen varias experiencias de comunidades indígenas sobre la adaptación al cambio climático, basadas en sus recursos, conocimientos y prácticas tradicionales. A continuación, se describen algunas de las que han sido sistematizadas:

- Recuperación del cultivo de coco por el pueblo garífuna en Livingston, Izabal, que incluyó la siembra de 1000 plantas de tres variedades de coco (*Cocos nucífera*) en un área de cinco manzanas. La fertilización se realizó con abono orgánico y en el proceso se aplicaron conocimientos indígenas propios. Este cultivo es básico para la seguridad alimentaria, pero es sensible al ataque de plagas por el aumento de temperatura. Sin embargo, es un elemento de importancia para reducir la presión de los fuertes vientos provenientes de las tormentas estacionales y una planta base de la cultura garífuna, utilizada en sus alimentos, espiritualidad y medicina.

- Fortalecimiento del cultivo de arrayán (*Luma apiculata*), conocido como *wahuut* en idioma maya q'eqchi', para la producción de candelas, las cuales son utilizadas en eventos ceremoniales en la región central y occidental del país, principalmente en comunidades q'eqchi'. El arrayán es una especie arbórea y las velas fabricadas con la materia prima de este árbol emiten menos humo que las de parafina.

- Fortalecimiento de huertos familiares con especies nativas en Las Conchas, Alta Verapaz, que contribuye con la seguridad alimentaria de las familias.

- Gestión del lugar sagrado maya Chajchuqub' en Alta Verapaz, con el objetivo de promover su sostenibilidad y protección del bosque.

- Almacenamiento de agua para uso comunitario y abastecimiento en temporadas de escasez mediante la aplicación de prácticas indígenas en la comunidad Cuyquel, Tactic, Alta Verapaz.

- Fortalecimiento del cultivo y uso del *mbüay* o chuchito (*Renealmia aromatica*), el cual es una planta endémica, seleccionada en la comunidad mopán de San Luis Petén por el uso de sus frutos maduros como ingrediente natural para caldos. Esta utilidad contribuye a la protección de dicha planta y las asociadas a ella, lo cual reduce la deforestación y protege la seguridad alimentaria.

- Apoyo al fortalecimiento de un jardín botánico de plantas medicinales, basado en conocimientos indígenas de la cultura itzá, el cual promueve una reserva de plantas medicinales como una alternativa de adaptación ante los piquetes de insectos que son vectores de enfermedades.

La descripción anterior forma parte de algunas de las estrategias de adaptación al cambio climático que las comunidades y pueblos indígenas están desarrollando a partir de prácticas ancestrales. Actualmente, estos sistemas están siendo amenazados por múltiples factores como la aculturación, pobreza, discriminación y globalización. Sin embargo, se encuentran en una etapa en que es posible revertir esa tendencia de manera positiva a nivel local.

Cuadro 13-3 Prácticas agrícolas tradicionales indígenas

Pueblo indígena	Comunidad lingüística	Prácticas agrícolas tradicionales
■		Selección e intercambio de semillas
■ ■ ■		Ajustes de calendario agrícola
■	Kaqchikel, K'iche', Tz'utujil, Mam.	Asocio de cultivos y agroforestales
■	Kaqchikel, K'iche', Tz'utujil, Mam.	Diversificación de uso de especies
■ ■		Intercambio de conocimientos
■	Kaqchikel, K'iche', Tz'utujil, Mam.	Prácticas de labranza: forma y tamaño de camellones
■	Kaqchikel	Control de la resistencia del viento en el cultivo de maíz
■		Cultivo de coco
■		Control del estado del tiempo para la diversificación agrícola

Nota: La primera columna se refiere al pueblo indígena que utiliza cada práctica agrícola tradicional (el color verde hace referencia a pueblos mayas ■, el turquesa al pueblo garífuna ■ y el mostaza corresponde al pueblo xinka ■). La segunda columna indica la comunidad lingüística que lo realiza, y la tercera columna detalla cada una de las prácticas agrícolas tradicionales. Elaboración propia, basado en TNC (2015).

13.6.1 Asocio de cultivos

Frente a los embates del cambio climático, las comunidades indígenas están empleando mecanismos de adaptación que aseguren la conservación de sus formas de vida tradicional. Entre estos están el asocio de cultivos, que es la base de la producción familiar para la seguridad alimentaria desde tiempos ancestrales, pese a que ha habido varias propuestas técnicas que recomiendan implementar cultivos sustitutos, pues cuestionan la baja rentabilidad del maíz y frijol.

El sistema de asocio de maíz (*Zea mays*), llamado *ixim* en idioma maya kaqchikel, frijol (*Phaseolus vulgaris*), *kinäq'* en maya kaqchikel, y *cucurbitas* (*Cucurbita sp*) como el ayote, chilacayote y güicoy, destaca la armonía de las características y necesidades de nutrientes de las especies, además de su aporte nutricional a las personas. Este sistema incluye asocios que aprovechan el espacio de manera diferenciada y genera beneficios mutuos dentro de una relación simbiótica, imitando la estructura de la naturaleza. El maíz es de crecimiento vertical y aprovecha el espacio aéreo del campo de cultivo; el frijol aprovecha el espacio medio y a menudo se apoya en el tallo del maíz, que le sirve de soporte para acceder al aire y a la luz, pues es una enredadera. Por su lado, las *cucurbitas* son especies con características de semi-enredaderas y se extienden de manera horizontal, cubriendo la superficie del suelo. Esto contribuye a reducir el golpe de las gotas de lluvia como factor de erosión y ayuda a conservar la humedad del suelo. Este sistema coincide con las prácticas ancestrales, ya que para los mayas «el ciclo agrícola era lo más importante, estaba basado en el maíz, planta sagrada, el frijol, el amaranto, chile y diferentes frutas y hierbas. Este ciclo tenía una duración básica de 260 días» (Barrios, 2004).

El sistema de milpa ha cautivado el interés de investigadores por su importante relación con la conservación de la agrobiodiversidad nativa, las prácticas indígenas y su aporte en el abatimiento de los impactos del cambio climático. En este sentido se puede referir el muestreo realizado por Cifuentes et al. (2014), en el departamento de Sololá, en tres rangos altitudinales estratificados de 1580 a 2600 msnm. En torno a este estudio (Cifuentes et al., 2014), se analizaron las especies empleadas, la fertilización del suelo, las plagas y enfermedades, entro otras variables.

Este trabajo destaca que «los resultados de este estudio pueden ser de utilidad para identificar puntos de intervención en investigación aplicada, capacitación y transferencia de tecnología a fin de mejorar la productividad del sistema de milpa y preservar

los recursos nativos de la región por el fenómeno del cambio climático y resguardo de la seguridad alimentaria nutricional» (Cifuentes et al., 2014). Por tal razón, «el uso de este sistema debe ser promovido como estrategia de adaptación al fenómeno del cambio climático» (Cifuentes et al., 2014).

En intercambios de conocimientos con comunidades indígenas, promovidos por el Consejo Indígena de Centro América (CICA), se ha establecido que en toda la región mesoamericana el sistema de milpa se utiliza como medio de seguridad alimentaria familiar y comunitaria, con las variantes producidas por las diferentes condiciones geográficas y culturales. A este asocio se suele adicionar el miltomate (*Physalis philadelphica*), chiltepe (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*), quilete (*Solanum americanum*), yuca (*Manihot esculenta*), chipilín (*Crotalaria longirostrata*), y amaranto (*Amaranthus sp.*); en regiones más altas se asocia con el haba (*Vicia faba*) y la papa (*Solanum tuberosum*), y así varía en cada región. Este sistema constituye la base de las dietas tradicionales, que se fundamenta en las formas propias de vida, los espacios culturales y la aplicación de conocimientos y prácticas indígenas que se perpetúan a través del tiempo mediante la transferencia intergeneracional.

13.6.2 Preparación del suelo y labranza

La naturaleza de los conocimientos y prácticas indígenas se ilustra en la forma en que construyeron sus templos: «[para] la orientación que tendrían los templos se basó en una observación minuciosa y sistemática de estos fenómenos cósmicos. Las construcciones de éstos tenían la función de señalar los días claves para la siembra, doblez y corte de las cosechas, principalmente del *ixim* (maíz), planta sagrada» (Barrios, 2004).

Con base en este enfoque cosmogónico tradicional y de adaptación, se aplican conocimientos y prácticas tradicionales desde la preparación de la tierra, los cuales varían según la región. Por ejemplo, en la región de la meseta volcánica se prepara el suelo desde el mes de febrero de cada año y se siembra el maíz y el frijol en febrero y marzo; mientras que, en la parte media de la cuenca del Motagua, que coincide en buena medida con el corredor seco, se siembran hasta que caigan las lluvias de mayo. Históricamente se sembraba a inicios de mayo, sin embargo, actualmente los tiempos de siembra varían por la distorsión de los patrones de humedad.

Dentro de las prácticas y técnicas agrícolas tradicionales en las labores de labranza, se aplica el *b'olo'j*, que consiste en la formación de surcos grandes para favorecer la cobertura de la masa vegetal o rastrojo y su transformación en materia orgánica. Esto mejora la textura y estructura del suelo y genera el sustrato necesario para la siembra y la absorción de la escorrentía que se produce con las fuertes lluvias.

El destroncamiento previo a la siembra consiste en levantar el tronco viejo de las matas del año anterior. Se aconseja no sacudir la tierra pegada a las raíces para evitar que los microorganismos dañinos vuelvan al suelo; por el contrario, se recomienda dejar que la acción del frío en las noches y la luz del sol en el día destruya esta microbiota para favorecer el saneamiento del suelo. Las siguientes etapas corresponden al *chenoj* y al *kamul*, que se prefiere trabajar en luna llena. Son limpias necesarias para los cultivos de maíz y frijol, las cuales cumplen una función importante en el control de plagas y enfermedades y, por ende, en los procesos de adaptación al cambio climático.

Las medidas de adaptación en la agricultura tradicional se conforman de pequeños ajustes combinados. Un ejemplo de ello es la dirección de los surcos de cultivo, que es clave en terrenos ubicados en partes altas. Aunque deben respetarse las curvas de nivel, es necesario efectuar estas adaptaciones con el fin de facilitar el paso del viento para reducir su resistencia y, por lo tanto, la caída de las plántulas. Es necesario también considerar la aireación de las plantas, que se realiza quitándole las hojas en las partes bajas para reducir su resistencia al viento y el riesgo de ser destruidas.

«Las matas de maíz que empiezan a jilotear[7] primero indican que son buenas para obtener semillas y para su siembra. Entonces, se debe utilizar azadón ancho

7 Estado de formación de la mazorca, cuando aún está tierna y los granos lechosos.

para que los granos de maíz en las matas queden separados, se garantice su buen desarrollo, se evite la competencia interna por nutrientes y energía solar, y, por lo tanto, sean más productivas y resistente a los vientos» (Cusanero, 2012).

13.6.3 Selección y manejo de semillas

«La semilla es un elemento vital para la cultura maya; es la fuente de vida, del sustento y de la perpetuidad; y es un elemento vital en los procesos de adaptación al cambio climático. De acuerdo con las declaraciones de nana Juana Chuy, kaqchikel de San José Poaquil, Chimaltenango, la semilla tiene memoria, que trae una larga secuencia de información genética desde tiempos ancestrales. Esta semilla ha sobrevivido en tiempos normales y extremos de lluvia, en largas sequías y en altas o bajas temperaturas. Además, diferentes generaciones le han aplicado sus energías, conocimientos y técnicas; a diferencia de la semilla transgénica, que cuenta con información genética alterada» (J. Chuy, comunicación personal, 26 de abril 2013).

Conservar las semillas criollas (*ija'tz*), desde los conocimientos indígenas, asegura el alimento saludable de las futuras generaciones y la conservación de los suelos (Cuadro 13-3). Según Juana Chuy Poaquil, «la semilla tiene memoria por eso aguanta, si hay mucha agua o poca, hay cosecha» (J. Chuy, comunicación personal, 26 de abril de 2013). La semilla tiene memoria en su secuencia genética y favorece su adaptación al cambio climático, lo que asegura una fuente de producción en beneficio de la seguridad alimentaria de las familias.

La selección de semillas es un conocimiento tradicional de relevancia para la producción de alimentos. Las mazorcas de veinte filas de granos son mejores y se seleccionan los granos de la parte media de la mazorca. Asimismo, se observan los granos bien formados, que tenga el olote delgado, de tal manera que pueda favorecer una mayor productividad. Con esto se garantizan mejores características fenotípicas de la planta, que constituye un símbolo profundo de la cultura y base para la alimentación.

Actualmente, los pueblos indígenas se organizan de tal manera que puedan facilitar los mecanismos comunitarios de producción y adaptación al cambio climático. Tal es el caso de los socios de la Cooperativa Joya Hermosa, de la aldea Climentoro, Aguacatán, Huehuetenango, en los Cuchumatanes. Por ejemplo, ellos se han involucrado, junto con organizaciones de desarrollo, como la Asociación de Organizaciones de los Cuchumatanes (ASOCUCH), en la creación de jardines clonales (36 variedades de papa y 150 de maíz criollo) en áreas especiales de cultivo, lo cual permite el mantenimiento de las características genéticas de cada material. Por su parte, los productores de Concepción Chiquirichapa, en Quetzaltenango, se han basado en sus conocimientos indígenas para convertirse en verdaderos especialistas en la producción de semilla de papa de diferentes variedades, que luego distribuyen entre los productores de la región. El mantenimiento de la riqueza genética de las semillas locales es fundamental en las estrategias de adaptación al cambio climático, ya que pueden responder de mejor manera a la variación climática (TNC, 2015).

Aunque la seguridad alimentaria de las comunidades y pueblos indígenas se basa en la trilogía del sistema milpa, existe una gran diversidad de especies que ofrecen múltiples fuentes de nutrición, tal como el izote (*Yucca gigantea*), el amaranto, la pacaya (*Chamaedorea tepejilote*), el sauco (*Sambucus sp.*), el *k'ixtan* (*Solanum wendlandii*), entre otras. El campo de experimentación establecido a orillas del lago de Atitlán es un caso emblemático, pues su trabajo dio como resultado las 19 variedades de aguacate que existen el mundo (Barrios, 2004).

Los casos de adaptación al cambio climático son diversos, tal es el caso del pueblo xinka, quienes mezclan semillas para hacer tortilla en el momento en que se pierde la milpa por sequedad: una libra de maíz y dos de maicillo, una libra de maíz y dos libras de ujuxte, una libra de maíz y dos libras de semilla de paterna, y una libra de maíz y dos de mazapán (R. Montes de Oca, comunicación personal, 21 de julio 2018).

13.6.4 Ajuste a los calendarios

En un contexto en el que se tienen patrones climáticos distorsionados, es importante considerar los ajustes del calendario agrícola. Cuando la lluvia se

atrasa se debe evitar la siembra en suelos arcillosos, pues son menos permeables, hasta estar seguros de que se haya establecido la lluvia; no así en los suelos francos, que conservan más humedad y más nutrientes.

Los periodos de sequedad en el tiempo agrícola se repiten cada cuarenta años; en este tiempo, los xinkas siembran, más que todo, yuca, malanga, camote y maicillo, para compensar la pérdida de maíz (T. López, comunicación personal, 7 de junio 2018).

13.6.5 Observación de señales

Tradicionalmente, el periodo de siembra y cosecha lleva un proceso íntimamente relacionado con las señales de la naturaleza. «Primero calculamos el tiempo de la siembra y, después de hacer el Toj para pedir permiso a la madre naturaleza, empezamos a trabajar la tierra, removiéndola. Luego observamos a Ik', la abuelita luna en el cielo, para ver si trae agua o no. Si cuando está creciendo parece un cantarito que riega agua y tiene un círculo blanco alrededor, significa que va a empezar la lluvia. Esperamos a que haya luna llena y empezamos a sembrar, agregando una palanganada de abono orgánico por mata, para que nuestra milpa crezca fuerte y sana. Algo muy importante en el cultivo de maíz es combinar la siembra con frijol y chilacayote, porque, cuando estas plantas están juntas, se ayudan mutuamente. La milpa sostiene el bejuco del frijol, el frijol alimenta a la milpa y el ayote ayuda a mantener la humedad, a la vez que contribuye con la sombra de sus hojas para que la maleza no se desarrolle demasiado» (Guoron, 2010).

13.7 Experiencias de mitigación en prácticas indígenas

13.7.1 Sistemas agroforestales tradicionales de bajas emisiones

Los modelos agrícolas extensivos y convencionales que convierten áreas boscosas en agrícolas, hacen un excesivo laboreo del suelo, aplican grandes cantidades de fertilizantes y hacen uso indiscriminado del agua; en conjunto, estas prácticas aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente del dióxido de carbono a través de la conversión de bosques y de óxido nitroso por fertilización. Para revertir esta situación, los convenios internacionales sobre el clima han planteado la necesidad de transformar radicalmente los procesos productivos agrícolas para hacerlos más inteligentes en su interacción con el clima, lo cual significa reducir sus impactos sobre los ecosistemas naturales que funcionan como sumideros de carbono.

Dichos convenios llaman a identificar y fortalecer prácticas agrícolas que son más amigables con el medio ambiente, más resilientes a los impactos de los cambios climáticos y más sostenibles ante las demandas de seguridad alimentaria. En ese sentido, las prácticas agrícolas, indígenas y ancestrales del país adquieren relevancia por sus bajas emisiones y por la capacidad adaptativa y de resiliencia frente a los impactos del cambio climático.

En Guatemala, existen numerosas prácticas agrícolas tradicionales de bajas emisiones, principalmente en los sistemas de uso, manejo y conservación de recursos naturales, sistemas agroforestales, huertos de traspatio y sistemas agroecológicos. Dos ejemplos de estas prácticas, que se explican a continuación, consisten en la utilización del sauco (*Sambucus sp.*) en el sistema milpa y la producción de *maxán* (*Calathea sp.*) en sistemas agroforestales.

13.7.1.1 La utilización del sauco en sistemas agroforestales

El sauco, un arbusto de la familia de las caprifoliáceas, originario de Europa, norte de África y este de Asia, ha tenido una buena acogida y adaptación en el Altiplano de Guatemala, en donde se acostumbra a tenerlo en los linderos de los terrenos o dispersos dentro de las milpas. Este arbusto es muy apreciado por las familias indígenas por los múltiples beneficios que aporta, especialmente en medicina natural, frutos para mermeladas, alimento para aves, abono orgánico, y postes para agricultura y para marcar linderos. Actualmente, se le asocia como un guardián de las tierras y territorios junto a otras plantas como el *izote* (*Yucca guatemalensis*), conocido como *parkïy* en idioma kaqchikel.

En El Sitio, una comunidad kaqchikel de Patzún, Chimaltenango, las familias acostumbran a tener

arbustos de sauco negro, (*Sambucus nigra*) o *tunay che* (en kaqchikel), en cercos vivos en los linderos de los terrenos; aunque también hay quienes lo tienen como pequeñas plantaciones dentro de sus tierras. Los saucos son arbustos perennes que raramente son removidos, tienen una alta capacidad de rebrote y se reproducen fácilmente por medio de estacas. No se utilizan para leña, así que sus usos conocidos son de bajas emisiones.

Localmente se reconoce que con las flores se puede preparar un colirio para aliviar la irritación de los ojos, posiblemente ocasionada por la conjuntivitis. También con las flores, se puede preparar un jarabe, combinado con otros ingredientes locales, como miel, panela y resina, el cual se utiliza para aliviar la tos. Asimismo, reconocen que los frutos tienen un efecto laxante y que ayudan a la desinflamación del estómago.

Quizás el uso más afamado del sauco es la producción de jalea a partir de los frutos maduros, la cual tiene una buena aceptación por los consumidores. Otro uso local es la elaboración de abono orgánico, que tiene un buen efecto en los rendimientos del cultivo de arveja, uno de los principales productos agrícolas en esta comunidad. Además, los troncos se utilizan como postes o tutores en el cultivo de la arveja. Por otro lado, los frutos del sauco son muy apetecidos por las aves silvestres, con lo cual aportan también al equilibrio ecológico. En sus troncos también crece una especie de hongo comestible localmente llamado *ocox tunay*.

El cultivo del sauco forma parte de los esfuerzos de los procesos productivos de bajas emisiones, que brinda numerosos beneficios para las familias y para la vida silvestre.

13.7.1.2 El cultivo de *maxán* en sistemas agroforestales

El *maxán* (*Calathea luthea*), conocido en otros lugares como *bijau*, pertenece a la familia de las marantáceas y es una planta perenne originaria de los trópicos americanos. Es ampliamente utilizado de varias maneras, principalmente en la cocina y como envoltorio natural de alimentos. Es preciso indicar que en el país existen por lo menos seis especies distintas de *Calathea* sp., pero todas se utilizan para los mismos propósitos.

Este cultivo se viene sembrando desde tiempos remotos, ya que sus hojas se utilizan para envolver tamales y otras comidas preparadas, como el patín (comida a base de pequeños pescados del lago de Atitlán). Además, antes de que aparecieran las bolsas plásticas, era el envoltorio natural que se usaba cuando se compraba carne, sal, chile y otros productos comestibles. También se utiliza como aislante en las ollas o para preparar comidas al vapor. Durante mucho tiempo, también se utilizó para techar casas y su inflorescencia tierna es comestible y se prepara como una receta de cocina tradicional que se conoce como *chufle*.

En Pasac, una comunidad k'iche' de la bocacosta de Nahualá, en el departamento de Sololá, existe uno de los paisajes agroforestales con *maxán* más extensos del país. Ahí, el *maxán* se siembra bajo sombra en altitudes que van desde los 500 hasta los 1200 msnm, con árboles que van cambiando en función de los pisos altitudinales. El cultivo en esta región *maxanera* se realiza con fines comerciales, lo cual lo convierte en una de las principales fuentes de ingresos para las comunidades y, por lo tanto, en una garantía para la seguridad alimentaria. El producto se distribuye en diversos lugares del país, especialmente en los mercados de la ciudad capital y Quetzaltenango.

La producción de hojas de *maxán* se obtiene durante todo el año, aunque los productores locales tienen conocimientos tradicionales que les permiten manejar la producción en las temporadas de alta demanda, especialmente durante la época navideña. Los cultivos se desarrollan en extensiones pequeñas, de una a dos cuerdas (0.3 hectáreas). Existen algunas plantaciones al sol, pero localmente se maneja más el cultivo bajo sombra.

Durante algún tiempo, el *maxán* estuvo incluido en la Lista de Especies Amenazadas (LEA), que elabora el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), pero las autoridades ancestrales indígenas de la parte baja de Nahualá y Santa Catarina Ixtahuacán lograron que se sacara de la lista, luego de demostrar que el *maxán* no es una especie

amenazada, sino, por el contrario, su cultivo por parte de las comunidades indígenas asegura su conservación.

El sistema agroforestal de *maxán* es un claro ejemplo de producción agrícola de bajas emisiones, ya que las plantaciones son permanentes y se mantienen bajo sombra. Es un modelo productivo que no utiliza agroquímicos, ya que aprovecha la hojarasca de los árboles como fuente de nutrientes para el suelo. Además, no utiliza quemas ni hay remoción de la cubierta vegetal. Un ecosistema de esta naturaleza también contribuye a la diversidad biológica y evita la erosión de los suelos.

13.7.2 Criterios comunitarios en el uso, manejo y conservación de bosques

Los pueblos indígenas han contado, desde tiempos ancestrales, con indicadores para el uso, manejo y conservación de los bosques. Prácticamente sin haber utilizado ese término, las organizaciones comunitarias verifican constantemente la situación de sus recursos naturales. La observación y el contacto permanente con el territorio comunitario permiten la obtención de evidencias sobre los aspectos que favorecen o amenazan la situación de los bosques. Mediante el contacto cotidiano, que se expresa en la presencia constante de los pobladores locales para cosechar productos forestales o para realizar actividades ceremoniales, les otorga la posibilidad de verificar las señales del bosque, tales como su extensión, las actividades de mejora, las actividades de aprovechamiento, la presencia de extraños y los perjuicios cometidos contra el bosque.

A cada uno de los criterios corresponden varios indicadores, es decir, señales o signos sobre el uso, manejo y conservación de los bosques, que las comunidades observan periódicamente y que les permiten saber si su bosque está bien manejado o si presenta problemas que ameritan intervenciones para su mejoramiento (Cuadro 13-4).

En el Cuadro 13-4 se explica lo que las comunidades entienden por cada uno de los indicadores, según se desprende de los aportes generados durante los talleres participativos.

Cuadro 13-4 Definición de los indicadores de conservación de bosques por los pueblos indígenas

	Criterio e indicadores	Definición o explicación
1	Velar porque el bosque se mantenga: el bosque debe conservarse, cuidar que no disminuya su superficie, que tenga las plantas y los animales. Que no tenga plagas ni incendios y que no haya deforestación.	
	Aumento o disminución de la superficie del bosque.	Se revisa si el bosque mantiene su misma extensión, aumenta o disminuye.
	Abundancia de plantas y animales en el bosque.	Se observa si el bosque tiene muchas plantas y animales.
	Problemas de deforestación y/o tala no autorizada.	Se vigila que no haya talas o deforestación no autorizada por la comunidad.
	Existencia de las especies que la comunidad más valora.	El bosque tiene las plantas que más le interesan a la comunidad y a los vecinos.
	Presencia de plagas y enfermedades.	Se observa si hay presencia de plagas (por ejemplo, gorgojo del pino).
2	Asegurar la producción de agua: las fuentes de agua dentro del bosque deben permanecer siempre. El agua no debe disminuir mucho en verano ni debe estar contaminada.	
	Situación de la cantidad y calidad de las fuentes de agua.	Se revisa si las fuentes de agua están produciendo el agua que se espera.
	Medidas de protección de las fuentes de agua.	Se observa si las fuentes de agua están protegidas.
	Aprovechamiento de las fuentes de agua.	Se lleva un control sobre a qué comité le corresponde la fuente de agua.

3	Conservar y respetar los sitios sagrados: los bosques son parte de la madre naturaleza. Los sitios sagrados deben respetarse y se deben hacer las ceremonias de agradecimiento para mantener el equilibrio y entre la comunidad.	
	Protección de los sitios sagrados.	Se observa si los sitios sagrados se protegen y respetan.
	Realización de ceremonias mayas.	Se permite la realización de ceremonias mayas.
4	Manejar adecuadamente el bosque: el bosque debe aprovecharse con medida, no más de la cuenta ni de lo que la gente necesita. No hay que desperdiciar ni abusar de lo que está permitido aprovechar.	
	Áreas reforestadas.	Se hacen jornadas de reforestación.
	Manejo de la regeneración natural.	Se maneja la reforestación natural en el bosque.
	Prácticas de limpieza, podas y raleos.	Se realizan faenas para limpiar, podar y ralear donde se necesita.
	Volumen de aprovechamiento.	Se lleva un registro de cuánto se debe aprovechar del bosque.
	Zonificación / estratificación del bosque.	Se decide lo que se puede hacer en cada parte del bosque.
5	Proteger el bosque: la comunidad deber proteger el bosque, con sus guardabosques o guarda recursos. Evitar los incendios, cuidar los límites y evitar que personas extrañas provoquen perjuicio.	
	Prevención y control de incendios forestales.	Se protege el bosque contra los incendios forestales.
	Mantenimiento de linderos.	Se limpian y revisan los linderos del bosque.
	Vigilancia y monitoreo del bosque.	Se mantiene el servicio de los guardabosques o guardarecursos.
	Eliminación de focos de contaminación.	Se elimina la contaminación por basureros dentro del bosque.
6	Ordenar el uso del bosque: la comunidad debe decidir quiénes, dónde, cuándo y cuánto se puede aprovechar. Hay áreas de aprovechamiento y otras de conservación. A la orilla de las fuentes de agua se deben dejar los árboles.	
	Identificación y control de usuarios.	Se lleva un registro y control de los que tienen derecho de ingresar y usar el bosque.
	Especies aprovechables.	Se indican cuáles son las clases de árboles que se pueden aprovechar.
	Épocas y técnicas de aprovechamiento.	Se planifica cuándo y con qué herramientas se pueden cosechar los productos del bosque.
	Volúmenes de aprovechamiento.	Se decide cuánto puede aprovechar una persona.
	Cuotas o pagos por derechos de aprovecha-miento.	Se cobra una cuota o contribución por cada usuario.
7	Mantener la organización comunitaria y la administración del bosque: las comunidades deben mantener sus propias organizaciones y sus propias normativas y sanciones para el uso del bosque. Con una organización fuerte se asegura que el bosque estará bien cuidado.	
	Fortaleza de las autoridades comunitarias.	Las autoridades comunitarias están bien organizadas y trabajan bien.
	Mejoramiento de las normativas.	Hay normativas o reglas para el manejo del bosque.
	Aplicación de sanciones.	Se aplican sanciones a los que no cumplen las normas comunitarias.
	Eliminación de actividades ilícitas.	Se evita que la gente haga uso del bosque sin permiso.

8	Participar para tener beneficios: todos los miembros de la comunidad deben participar en el cuidado del bosque. Se debe velar porque todos se beneficien del bosque. Se debe asegurar que las mujeres participen y se beneficien del bosque.	
	Participación comunitaria en el cuidado de la montaña.	Los miembros de la comunidad participan en el cuidado de la montaña, por ejemplo, las faenas.
	Participación de las mujeres.	Las mujeres participan en las tomas de decisiones sobre el bosque y se benefician del mismo.
	Participación en reuniones comunales o asambleas.	Hay buena participación de los miembros de la comunidad en las reuniones para tomar decisiones.
	Pago de cuotas o contribuciones.	Los miembros de la comunidad pagan sus cuotas.
9	Tener apoyo para el manejo del bosque: las comunidades deben buscar el apoyo del gobierno y de las municipalidades para cuidar el bosque. Se debe lograr el apoyo como el PINFOR y el PINPEP para que lleguen a todas las comunidades.	
	Acuerdos con autoridades municipales y nacionales.	Hay buen entendimiento con la municipalidad.
	Formulación de proyectos / planes de manejo y protección.	Se hacen proyectos para manejar y proteger el bosque.
	Recursos por PINFOR/PINPEP, otros.	Se obtienen apoyo de parte del PINFOR y PINPEP.
	Otros apoyos que se obtengan.	Se obtiene apoyo de otras instituciones para la montaña.
	Proyectos de turismo.	Se tienen proyectos de turismo comunitario y se lleva registro de visitantes e ingresos.
	Proyectos de manejo forestal.	Se tienen proyectos de manejo forestal o de productos no maderables.
10	Defender el territorio y el bosque: las comunidades deben luchar siempre para garantizar sus derechos sobre los bosques. Tener y cuidar los títulos o documentos de las tierras, evitar que entren minas y otros grandes negocios en la montaña. Las comunidades que tengan bosques comunales deben evitar que se dividan.	
	Mecanismos de resolución de conflictos.	Los conflictos se resuelven pacíficamente dentro de la comunidad a través de sus autoridades.
	Inversiones extractivas que amenazan el bosque.	Se evita que se instalen minas y represas en el territorio comunitario.
	Esfuerzos en defensa del territorio / bosque.	Se hacen acciones para defender el bosque y el territorio comunitario.
11	Mantener los conocimientos indígenas: el idioma, los valores y los saberes de las comunidades son importantes para cuidar las montañas.	
	Prácticas o actividades que realizan las comunidades.	El bosque se maneja de acuerdo con los conocimientos tradicionales de la comunidad.
	Productos elaborados con bienes del bosque.	Se aprovecha el bosque para hacer diversos productos para la economía de la comunidad.

Nota: En las filas numeradas se mencionan los criterios de manejo y conservación de bosques para los pueblos indígenas. En la primera columna se presentan los indicadores para cada criterio. En la segunda columna se presenta la definición o explicación de cada indicador. Elaboración propia, basado en Elías (2014).

13.8 Conclusiones

Los pueblos indígenas de Guatemala tienen una visión propia del universo, de la madre tierra y de la naturaleza, así como de sus manifestaciones, adaptaciones y transformaciones. Además, poseen conocimientos ancestrales que en la actualidad pueden significar una oportunidad de vida para la humanidad y la naturaleza. Por tal razón, el futuro de la madre tierra y del ser humano no puede darse por separado porque dependen el uno del otro. Esta visión cosmogónica del universo se basa en la armonía, el respeto y el equilibrio, factores que se constituyen en los tres elementos fundamentales que hacen posible el principio de la unidad en la diversidad.

Los conocimientos tradicionales y ancestrales sobre la lectura e interpretación de los calendarios mayas que poseen los pueblos indígenas les han servido para estudiar el comportamiento del clima, la precipitación y las posibles sequías. Esto les ayuda a tomar decisiones y acciones necesarias de adaptación y mitigación para evitar efectos negativos del cambio climático en los cultivos (inundaciones, sequías y enfermedades), que podrían poner en riesgo la seguridad alimentaria. Seguir leyendo e interpretando las señales de la naturaleza en las nubes, las aves, las hormigas, los coyotes, el sagrado fuego y la sagrada agua, así como en innumerables elementos de la naturaleza, como lo hicieron los primeros padres y madres, abuelas y abuelos, será fundamental para contrarrestar los impactos negativos del cambio climático en la actualidad.

El legado de una forma de vida propia, fundamentada en una particular visión cosmogónica de la realidad, les ha facilitado a los pueblos indígenas la creación de esquemas, valores, normas, prácticas y conocimientos que les permiten administrar su vida cotidiana y, principalmente, los sistemas de producción agrícola con resiliencia. A lo largo de la historia, estos sistemas de producción propios, como base de su soberanía alimentaria, les han permitido sobrevivir y adaptarse a los impactos de la variabilidad y cambio climático. Finalmente, en un país pluricultural como Guatemala, estas formas de vida constituyen, en la actualidad, aportes importantes para las estrategias de adaptación al cambio climático.

El aporte de los pueblos indígenas de Guatemala, orientado a los esfuerzos de mitigación del cambio climático, está en proceso de visibilización, mediante procesos de sistematización de conocimientos y prácticas tradicionales y ancestrales, y de abordajes en espacios de participación a nivel local y nacional. Sin embargo, aún no se dimensiona adecuadamente su trascendencia estratégica en el esfuerzo y proceso del país frente a los compromisos nacionales de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

13.9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (EE. UU.) (NOAA). (s/f). Hurricane Raymond. Recuperado el 10 de septiembre de 2018, de https://www.nhc.noaa.gov/archive/2013/ep17/ep172013.public.006.shtml
- Barrios, C. (2004). *El libro del destino*. Guatemala: Editorial Cholsamaj.
- Batzín, C. (2002). *Guía del proceso metodológico de consulta*. Guatemala: Consejo Indígena de Centro América.
- Beach, T., Luzzadder-Beach, S., Cook, D., Dunning, N., Kennett, D. J., Krause, S., ... Valdez, F. (2015). Ancient Maya impacts on the Earth's surface: An Early Anthropocene analog? *Quaternary Science Reviews*, 124, 1–30. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.05.028
- Biblioteca Pláyedes. (s/f). El calendario maya. Recuperado el 18 de noviembre de 2018, de https://www.biblioteca-pleyades.net/tzolkinmaya/esp_tzolkinmaya19.htm
- Camey, L. (2019). *Calendario forestal desde los conocimientos ancestrales y prácticas tradicionales de los pueblos indígenas*. Guatemala: Instituto Nacional de Bosques.
- Canuto, M. A., Estrada-Belli, F., Garrison, T. G., Houston, S. D., Acuña, M. J., Kováč, M., ... Shrestha, R. (2018). Ancient lowland Maya complexity as revealed by airborne laser scanning of northern Guatemala. *Science*, 361(6409). https://doi.org/10.1126/science.aau0137
- Cifuentes, R., Sierra, C., Arévalo, L. A., Beteta, C., Herrera, E., & Alvarez, M. R. (2014). El sistema milpa del departamento de Sololá visto desde la experiencia y vivencia de los productores de maíz de la región. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, (27), 11–30.
- Cochoy, M., Yac, P., Yaxón, I., Tzapinel, S., Camey, M., López, D., ... Tamup, C. (2006). Raxalaj Mayab' K'aslemalil. *Cosmovisión Maya, plenitud de la vida*. Guatemala: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. https://doi.org/10.1007/s12032-011-0066-y
- Consejo Nacional de Cambio Climático (CNCC). (2016). *Plan de acción nacional de cambio climático*. Guatemala. Recuperado de http://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2016/10/Plan-de-Acción-Nacional-de-Cambio-Climático-ver-oct-2016-aprobado-1.pdf
- Cusanero, J. (2012). *Gestión de territorios conservados por comunidades indígenas y la aplicación del conocimiento tradicional en comunidades Kaqchikeles de El Rejón y Nejapa*. Guatemala.
- Decreto 7-2013. Ley marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero (2013). Guatemala: Diario de Centroamérica.
- Elías, S. (2014). *Sistematización de los indicadores de conservación de bosques implementado por los pueblos indígenas*. Guatemala.
- Elías, S., García, B., Cigarroa, C., & Reyna, V. (2009). *Diagnóstico de la conservación y manejo de recursos naturales en tierras comunales*. Informe final. Guatemala: Grupo Promotor de Tierras Comunales.
- Espinoza, E. (2014). *Rejqalem Ri Wa'ix dimensión cero filosofía maya, etnomedicina y física moderna* (Segunda ed). Guatemala: Dirección General de Desarrollo Cultura y Fortalecimiento de las Culturas. Ministerio de Cultura y Deportes.
- Felipe, O. (2016, octubre 2). Sequía agrava el hambre en el Corredor Seco. Prensa Libre. Recuperado de https://www.prensalibre.com/ciudades/baja-verapaz/sequia-agrava-el-hambre/
- Friedrich, W. L. (2015). The Santorini Volcano: Volcanic hazards through time. En F. Riede (Ed.), *Past Vulnerability: Volcanic eruptions and human vulnerability in traditional societies past and present, Aarhus* (pp. 169–178).

- Ginebra/EFE. (2016, febrero 11). Guatemala quinto lugar con más muertos por desastres naturales. Prensa Libre. Recuperado de https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/guatemala-quinto-lugar-con-mas-muertos-por-desastres-naturales/
- Grube, N. (2006). *Los mayas: una civilización milenaria*. Italia: Könemann.
- Guoron, P. (2010). *Ciencia y tecnología maya*. Guatemala: ESEDIR-PRODESSA.
- Harrassowitz Verlag. (2012). *Seven generations since the fall of Akkad*. (H. Weiss, Ed.). Berlin. https://doi.org/10.1360/zd-2013-43-6-1064
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2011). *Encuesta nacional de condiciones de vida 2011*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2013). *Mapas de pobreza rural en Guatemala 2011*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística. Recuperado de http://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/01/10/ifRRpEnf0cjUfRZGhyXD7RQjf7EQH2Er.pdf
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2015). República de Guatemala: *estadísticas demográficas y vitales 2014*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística. Recuperado de https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/01/13/FijigScCmvJuAdaPIozybqKmr01Xtkjy.pdf
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2016). *Encuesta de condiciones de vida 2014. Tomo I*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2018). *Variabilidad y cambio climático en Guatemala*. Guatemala.
- Ivic, M., Azurdia, I., Fundación Solar, & Consejo Nacional de Ancianos Principales y Guías Espirituales Mayas Xincas y Garífunas. (2008). *Ciencia y técnica maya*. Guatemala: Fundación Solar.
- Kaniewski, D., Van Campo, E., Guiot, J., Le Burel, S., Otto, T., & Baeteman, C. (2013). Environmental roots of the late bronze age crisis. *PLoS ONE*, 8(8), e71004. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071004
- Killebrew, A. E., Steiner, M., & Weiss, H. (2013). The northern levant during the intermediate bronze age. En A. E. Killebrew & M. Steiner (Eds.), *The Oxford Handbook of the Archaeology of the Levant*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199212972.013.025
- Lekson, S. (2008). *A history of the ancient southwest: Urbanism, economy and society*. Santa Fe: School of Advanced Research Press.
- Mauricio, A. C. (2014). Ecodinámicas humanas en Huaca 20: reevaluando el impacto de El Niño a finales del periodo intermedio temprano. *Boletín de Arqueología PUCP*, (18), 159–190.
- Mesa Indígena sobre Cambio Climático de Guatemala, & Mesa Nacional de Cambio Climático. (2010). *Propuesta que debe ser incluida en iniciativa No. 4139 «Ley marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero»*. Guatemala.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). *Política nacional de cambio climático*. Acuerdo Gubernativo 329-2009 (2009). Guatemala.
- Ochoa, F. (2012). *Oxlajuj B'aqtun: calendario maya*. Guatemala: Ixim Ulew.

Ort, M. H., Elson, M. D., Anderson, K. C., Duffield, W. A., & Samples, T. L. (2008). Variable effects of cinder-cone eruptions on prehistoric agrarian human populations in the American southwest. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176(3), 363–376. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.01.031

Paz, G. (2014). *Kaji' Imox: el camino del pueblo Kaqchikel*. Guatemala: Cholsamaj.

Sam Colop, L. (2008). *Popol Wuj*. Traducción al español y notas (Primera ed). Guatemala: Cholsamaj.

Seattle. (1855). Carta del jefe Seattle al presidente de los Estados Unidos. Recuperado el 10 de septiembre de 2018, de https://ciudadseva.com/texto/carta-del-jefe-seattle-al-presidente-de-los-estados-unidos/

The Nature Conservancy (TNC). (2015). *Conocimientos tradicionales para la adaptación al cambio climático en el Altiplano Occidental de Guatemala*. Guatemala.

Wright, R. P. (2010). *The ancient Indus: Urbanism, economy and society*. Nueva York: Cambridge University Press.

Zalasiewicz, J., Williams, M., Haywood, A., & Ellis, M. (2011). The Anthropocene: a new epoch of geological time? Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, *Physical and Engineering Sciences*, 369(1938), 835–841. https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0339

ANEXOS

1 GLOSARIO

Editores: Alejandro Santizo, Mónica Rosales Alconero y Andrea Paiz Estévez

Forma de citar este glosario:
SGCCC. (2019). Anexo 1: Glosario.
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. 332–351). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Absorciones:	gases de efecto invernadero captados a través de bosques y otras reservas de biomasa leñosa, tierras abandonadas y suelos (MARN, 2001).
Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropiadas (NAMA):	medidas de mitigación apropiadas a cada país en el contexto del desarrollo sostenible, apoyadas y facilitadas por tecnologías, financiación y actividades de fomento de la capacidad, de manera mensurable, reportable y verificable (CNCCMDL, 2018).
Acidificación:	progresivo incremento en la acidez del océano sobre un largo periodo de tiempo, típicamente décadas o más, el cual es causado básicamente por la captura de dióxido de carbono de la atmósfera. También puede ser causado o incrementado por la adición y remoción de otros compuestos y elementos químicos del océano (Ocean Carbon and Biogeochemistry Project-Ocean Acidification, Ocean Acidification International Coordination Centre, UK Ocean Acidification Research Programme, NOAA Ocean Acidification Program, & Washington Sea Grant, 2014).

Adaptación:	proceso mediante el cual un organismo modifica su modo de vida acorde a los cambios que sufre su hábitat (UGR, s/f).
Afluente:	arroyo o río secundario que desemboca en un río principal (RAE, 2019).
Agrobiodiversidad:	conjunto de componentes de la diversidad biológica relevante para la alimentación y la agricultura. La agrobiodiversidad comprende la variedad y variabilidad de animales, plantas y microorganismos a nivel genético, de especies y de ecosistemas, necesarios para mantener la producción agrícola (ONU, 1992).
Agroecología:	ciencia que persigue la armonía entre los objetivos de la actividad agraria y la sostenibilidad de los recursos del suelo, agua y vegetación, en relación ecología-desarrollo (FAO, s/f-b).
Aguas residuales:	aquellas aguas contaminadas por la dispersión de desechos humanos, procedentes de los usos domésticos, comerciales o industriales. Llevan disueltas materias coloidales y sólidas en suspensión. De acuerdo con su origen, se clasifican en: domésticas, blancas, industriales, y agrícolas (Espigares & Pérez, s/f).
Amenaza:	proceso, fenómeno o actividad humana que puede ocasionar muertes, lesiones u otros efectos en la salud, daños a los bienes, disrupciones sociales y económicas o daños ambientales (CIIFEN, s/f-b).
Arbovirus:	virus que circulan o se transmiten a través de artrópodos.
Áreas protegidas:	Espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado, mediante medios legales u otros tipos de medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza y de sus servicios ecosistémicos y sus valores culturales asociados (Dudley, 2008).
Biodegradable:	sustancia que se descompone o desintegra con relativa rapidez en compuestos simples por algunas formas de vida como bacterias, hongos, gusanos e insectos.
Biodigestor:	es un contenedor hermético, dentro del cual se deposita materia orgánica, como el excremento de rumiantes, en determinada dilución con agua. Mediante la fermentación anaerobia por acción de microorganismos, esta solución es degradada y se obtiene como producto el gas metano (biogás) y un subproducto líquido (biol) rico en nitrógeno, fósforo y potasio, el cual puede ser utilizado como fertilizante.
Bioelectricidad:	fuente de energía del interior de las células (UNS, s/f).
Biotecnología:	empleo de células vivas para la obtención y mejora de productos útiles, como los alimentos y los medicamentos.

Cadena trófica:	sucesión de relaciones entre los organismos vivos que se nutren unos de otros en un orden determinado.
Calentamiento global:	grado de calentamiento de la superficie global con respecto al clima registrado en el pasado (García, 2011).
Cambio climático:	importante variación estadística en el estado medio del clima, debido a la alteración de la composición atmosférica global, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, adicional a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (mínimo 30 años) (IPCC, 2007a).
Cambio climático natural:	la temperatura promedio de la tierra es determinada por la energía solar y por las propiedades de la tierra y de la atmósfera, como la reflexión, absorción y emisión de energía. Otros elementos que contribuyen al cambio climático natural son: la actividad volcánica, variaciones en la órbita y la inclinación de la Tierra, la posición relativa de sus ejes, los cambios en la actividad solar, cambios en la distribución de aerosoles atmosféricos que se producen naturalmente, el efecto de Coriolis, viento, efecto invernadero, entre otros (Gómez, 2014; IPCC, 2007b).
Cambio climático antropogénico:	cambios observados en el aumento de la temperatura de la superficie de la tierra y del océano, aumento en la frecuencia de eventos extremos, y disminución de los glaciares, a partir de la era preindustrial. Se atribuye este calentamiento por causas antropogénicas ya que el mismo no puede ser explicado utilizando solamente el forzamiento radiativo externo ni las causas naturales conocidas. La evidencia indica que los gases de efecto invernadero han dominado el calentamiento global observado en los últimos 50 años (IPCC, 2007a).
Canícula:	periodo de disminución de la lluvia durante la estación lluviosa. Ocurre en los lugares que tienen un modelo bimodal en su distribución de lluvias (estaciones secas y lluviosas). El periodo canicular para la Meseta Central de Guatemala se manifiesta principalmente en los meses de julio y agosto (INSIVUMEH, 2018).
Chikunguña:	enfermedad que se presenta como fiebre, dolor de cabeza, dolor de ojos, músculos, y huesos. Causa importante dolor en articulaciones. Se puede confundir con dengue. Se transmite comúnmente por mosquitos.
Clima:	estado medio de la atmósfera que representa las condiciones predominantes en un lugar o región de la Tierra, durante un periodo determinado, bajo un mínimo de 30 años. El clima de la Tierra se caracteriza por una amplia gama de parámetros meteorológicos; los más comunes son temperatura, precipitación, presión atmosférica, duración de la insolación y viento. Otros elementos pueden comprender humedad, nubosidad, condiciones meteorológicas extremas como tormentas, e incluso el tipo de suelo (CIIFEN, 2017).

Clínker:	producto intermediario obtenido durante la fabricación del cemento, creado en hornos de altas temperaturas. En estos hornos, se calcina el carbonato de calcio para obtener cal u óxido de calcio (CaO) y dióxido de carbono. El CaO reacciona luego con el dióxido de silicio y otros óxidos para formar minerales hidráulicamente reactivos, principalmente silicatos de calcio, dentro de nódulos semi-vitrificados llamados clínker, o escoria de cemento (IPCC, 2006).
Cocolitofórido:	organismos microscópicos unicelulares que forman parte del fitoplancton marino, los cuales presentan un exoesqueleto compuesto por placas o discos calcáreos llamados cocolitos (Pinet, 2009).
Combustibles fósiles:	aquellos provenientes del carbón, petróleo, gas, esquistos bituminosos, turba, lignito y antracita (OEA, s/f).
Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano:	compuestos formados por hidrocarburos a los que les unen alcoholes, aldehídos, alcanos, aromáticos, cetonas y derivados halógenos. Se consideran precursores del ozono debido que al mezclarse con otros contaminantes atmosféricos y reaccionar con la luz solar, son capaces de crear ozono al nivel del suelo, el cual es nocivo para el ser humano (PRTR, s/f).
Conocimiento ancestral:	son aquellos saberes, habilidades y filosofías que han sido desarrolladas por sociedades de larga historia de interacción con su medio ambiente (UNESCO, s/f).
Conectivo o convección:	movimiento vertical producido por fuerzas ascendentes causadas por inestabilidad estática, causado por un calentamiento cerca de la superficie o un enfriamiento por radiación en la cima de las nubes, y a un enfriamiento cerca de la superficie del océano o un aumento de la salinidad del mismo (IPCC, 2013b).
Contribución Determinada a Nivel Nacional:	plan de cada país para contribuir a los esfuerzos internacionales para asegurar el futuro sostenible a nivel mundial, en el marco del Acuerdo de París. Esta incluye las políticas climáticas de los países y sus acciones para reducir las emisiones y adaptarse al cambio climático en diversos sectores (UNFCCC, 2016).
Control biológico:	enemigo natural, antagonista o competidor u otro organismo, utilizado para el control de plagas (FAO, 2012).
Cooperativa:	sociedad que se constituye entre productores, vendedores o consumidores, para la utilidad común de los socios.
Cuenca hidrográfica:	porción de territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, delimitado por un parte aguas o divisoria de aguas. Incluye el área, los ecosistemas y sus habitantes, así como las interacciones entre ellos.

Decadal:	periodo de diez días consecutivos utilizados algunas veces para el estudio de uno o varios elementos meteorológicos. En variabilidad climática es utilizado para periodos de diez años.
Deforestación:	desaparición o disminución de las superficies boscosas, debido al uso indiscriminado del ser humano, ante la necesidad de producir madera, pasta de papel, y el empleo como combustible, así como en labores de cultivos y pastoreo excesivo.
Degradabilidad:	capacidad de una sustancia u objeto de transformarse en una sustancia de estructura más sencilla.
Dengue:	enfermedad que se presenta como fiebre, dolor de cabeza, dolor de ojos, músculos, y huesos, transmitido comúnmente por mosquitos.
Desastre:	interrupción grave del funcionamiento de una comunidad o sociedad en cualquier escala y debido a la ocurrencia de fenómenos peligrosos que interaccionan con las condiciones de exposición, vulnerabilidad y capacidad, ocasionando impactos y pérdidas de vida, salud, materiales, económicas y ambientales.
Descomposición aeróbica:	proceso de descomposición de los residuos orgánicos para el cual se requiere la cantidad adecuada de oxígeno y nutrientes, de manera que los microorganismos oxiden la materia orgánica y liberen energía. Se utiliza para realizar compost (Tapia, 2010).
Descomposición anaeróbica:	proceso por el cual los residuos orgánicos se fermentan y descomponen progresivamente por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno. En esta se genera biogás (Tapia, 2010).
Desechos sólidos:	todo material generado como producto de una actividad y que ha sido descartado porque no se va a utilizar (Bustos, 2009).
Desertificación:	degradación de los suelos de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, entre ellos las variaciones climáticas y las actividades humanas (ONU, s/f-b).
Desnutrición:	estado patológico resultante de una dieta deficiente en uno o varios nutrientes esenciales o de una mala asimilación de los alimentos. Entre los síntomas se encuentran la emaciación, retraso del crecimiento, insuficiencia ponderal, capacidad de aprendizaje reducida, salud delicada y baja productividad (FAO, 2011).
Dióxido de carbono biogénico:	carbono derivado de fuentes biogénicas (vegetales o animales), a excepción del carbono fósil (IPCC, 2006). Está relacionado con el tiempo que tarda en ser reemplazado por una nueva fuente de carbono.

Dióxido de carbono equivalente:	medida universal que indica el potencial de calentamiento global de cada gas de efecto invernadero. Se usa para evaluar las emisiones de los diferentes gases que producen el efecto invernadero; el dióxido de carbono (CO_2) es definido con un potencial uno de calentamiento; el metano posee un potencial de calentamiento de 21 (21 veces la capacidad de calentamiento del CO_2); y el óxido nitroso tiene un potencial de calentamiento global de 310 (IPCC, 2007b).
Disponibilidad hídrica:	cantidad de agua disponible para aprovechamiento y uso humano en un área determinada.
Diversidad biológica:	amplia variedad de seres vivos sobre la Tierra y los patrones naturales que la conforman. Incluye también las diferencias genéticas dentro de cada especie y los ecosistemas (ONU, s/f-a).
Ecosistema:	conjunto de factores abióticos y bióticos de una determinada zona (espacio) y la interacción que se establece entre ellos en un tiempo determinado (ONU, s/f-a).
El Niño, Oscilación del Sur (ENOS):	interacción de un fenómeno océano-atmosférico, que ocurre en la región del océano Pacífico tropical. La declaración del fenómeno de El Niño se da cuando el Océano Pacífico Ecuatorial muestra un calentamiento por arriba de +0.5°C y el de La Niña cuando se da un enfriamiento por debajo de -0.5°C con respecto al promedio, durante cinco meses consecutivos. Cuando la temperatura superficial del mar se encuentra entre el rango de 0.5°C y -0.5°C se dice que son condiciones neutras (INSIVUMEH, 2018).
Emisiones:	gases de efecto invernadero generados por actividades humanas. En el caso de Guatemala, se toman en cuenta las actividades energéticas, los procesos industriales, las actividades agrícolas y pecuarias, el cambio de uso de la tierra y silvicultura, y la disposición de los desechos sólidos (MARN, 2001).
Enfermedades vectoriales:	enfermedades transmitidas por vectores (organismos que transmiten patógenos de un organismo infectado a otro).
Energías renovables:	energía que utiliza los recursos que se regeneran más rápidamente en la naturaleza. Entre las energías renovables se incluyen: plantas hidroeléctricas, geotérmicas, biomasa (bagazo de caña), plantas de generación fotovoltaica y eólicas.
Energía no renovable:	aquella generada por fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza en una cantidad limitada y una vez consumidas en su totalidad, no pueden sustituirse, ya que no existen sistemas de producción o extracción viables. Entre las energías no renovables se incluyen: carbón mineral, *bunker*, *diesel oil* y orimulsión.

Eólica:	energía producida por el viento, a través de aerogeneradores (MEM, s/f-a).
Erosión:	remoción y transporte de las partículas superficiales del suelo por acción del viento y el agua. Esta causa una degradación en la fertilidad de los suelos (Duque & Escobar, 2016).
Escenario climático:	representación coherente, y en ocasiones simplificada, del clima futuro basado en un conjunto de relaciones climatológicas, definido explícitamente para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropogénico, utilizando las proyecciones climáticas como punto de partida (IPCC, 2013c). No es un pronóstico, cada escenario es una imagen alternativa de cómo el futuro puede revelarse (Oviedo & León, 2010).
Escenario de emisiones:	representación coherente de la posible 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 (IPCC, 2001).
Escenario de trayectorias de concentración representativas (RCP):	escenarios que abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de gases de efecto invernadero y aerosoles, así como el uso del suelo. Generalmente, hacen referencia a la trayectoria de concentración hasta el año 2100, para los que los modelos han producido los correspondientes escenarios de emisiones (IPCC, 2013c).
Especies demersales:	son las que viven asociadas con el fondo del mar, cerca de este o temporalmente en contacto con él, y llegan hasta profundidades de aproximadamente 500 metros (López, Morales, Soberanis, & Ramírez, 2016).
Especie invasora:	especie de origen remoto, cuando alcanza un nuevo territorio y se propaga por él a gran velocidad, alterando la estructura y funcionamiento del ecosistema receptor y causando daños ecológicos y socioeconómicos (Castro-Díez, Valladares, & Alonso, 2004).
Estacional:	variabilidad asociada al movimiento de traslación y la inclinación con la que la Tierra se desplaza sobre el plano de la eclíptica, produce las estaciones del año; las estaciones del año son la forma más conocida de variabilidad climática.
Estuario:	cuerpo de agua costero semi-cerrado donde el río se encuentra con el mar; en su interior sucede una mezcla de agua dulce y salada. El buen funcionamiento del estuario depende del aporte de agua de un río y de las mareas (FAO, s/f-c).

Evento meteorológico extremo:	episodio o suceso que es raro, o infrecuente, según su distribución estadística para un lugar determinado (IPCC, 2007a). Desde el punto estadístico, los eventos extremos meteorológicos o climáticos son aquellos eventos en los que la magnitud supera el percentil 90 o se encuentra por debajo del percentil 10 de un grupo de datos de la variable de interés u observada, ya que puede ser un evento extremo máximo o mínimo.
Exposición:	condición de desventaja debido a la ubicación, posición o localización de un sujeto, objeto o sistema expuesto al riesgo (CIIFEN, s/f-a).
Fatiga de vigilancia epidemiológica:	fenómeno epidemiológico expresado por una aparente disminución en el número de casos durante una epidemia que simplemente representa una disminución en el conteo de casos y no la situación real de la epidemia.
Factores de emisión:	valor representativo que intenta relacionar la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con una actividad asociada a la emisión del mismo. Estos son usualmente expresados como la masa del contaminante dividido por una unidad de peso, volumen, duración o distancia (EPA, s/f).
Fecundidad (peces):	número de huevos producido como media por una hembra de una determinada talla y edad. La información sobre fecundidad se aplica con frecuencia para calcular el potencial de desove (Restrepo, s/f).
Fermentación entérica:	fermentación ocurrida durante el proceso digestivo del ganado, la cual tiene como subproducto metano (FAO, s/f-c).
Foraminífero:	protozoos planctónicos o bentónicos marinos que presentan estructuras externas formadas por carbonato de calcio (Pinet, 2009).
Forzamiento radiativo:	variación del flujo radiativo en la tropopausa debida a una variación del causante externo del cambio climático (como la radiación o la concentración de dióxido de carbono) (IPCC, 2013c).
Fotovoltaica:	energía del sol que produce calor e iluminación a través de la radiación. Se puede captar a través de paneles solares que absorben la energía del sol con una superficie oscura, y se utiliza para calentar agua que se convierte en vapor, la cual pasa por un proceso para convertirse en electricidad a través de células fotovoltaicas (MEM, s/f-d).
Frente frío:	franja de «mal tiempo» que ocurre cuando una masa de aire frío se acerca a una masa de aire caliente. El aire frío, siendo más denso, genera una «cuña» y se mete por debajo del aire cálido y menos denso. Los frentes fríos se mueven rápidamente, son fuertes y pueden causar perturbaciones atmosféricas tales como tormentas de truenos, chubascos y vientos fuertes.

Gases de efecto invernadero: componente gaseoso de la atmósfera que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación emitida por la superficie de la tierra, las nubes y la atmósfera; causando el efecto invernadero. Los gases de efecto invernadero primarios son el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3) (IPCC, 2013a).

Gestión del cambio climático: tiene por objeto coordinar las acciones del Estado, los sectores productivos y la sociedad civil en el territorio mediante acciones de mitigación, que busquen reducir su contribución al cambio climático; y de adaptación, que le permitan enfrentar los retos actuales y futuros asociados a la mayor variabilidad climática, reducir la vulnerabilidad de la población y la economía ante esta, promover un mayor conocimiento sobre los impactos del cambio climático e incorporarlo en la planificación del desarrollo.

Geotérmica: energía que se encuentra en el interior de la tierra en forma de calor, la cual se manifiesta por medio de procesos geológicos como volcanes, géiser y aguas termales. La conversión de esta a electricidad consiste en el uso del vapor y agua caliente que pasa a través de una turbina conectada a un generador (MEM, s/f-b).

Gobernabilidad: perfeccionamiento del sistema democrático en busca de un espacio para las interrelaciones sociales mediante la elección de la eficacia decisional y el mejoramiento del aparato estatal frente a la sociedad civil.

Gobernanza: proceso formal e informal de interacción entre actores para la conducción de una sociedad (Cárdenas 2009).

Helada meteorológica: ocurrencia de temperatura igual o menor a cero grados centígrados a un nivel de 1.5 a 2 metros sobre el suelo (INSIVUMEH, s/f).

Hidroeléctrica: energía obtenida del agua en movimiento, la cual se transforma en energía mecánica al moverse las aspas de una turbina en una central hidroeléctrica (MEM, s/f-c).

Hidrofluorocarbonos: compuesto orgánico parcialmente halogenado cuyo potencial de calentamiento global es elevado. Estos son producidos por el ser humano y utilizados para sustituir las sustancias que agotan el ozono (IPCC, 2013c; UNFCCC, 2015).

Infiltración: proceso por el cual el agua precipitada o almacenada inicia un movimiento descendente hacia el subsuelo, pudiendo alcanzar profundidades distintas en función de las características del suelo (UCM, s/f).

Inorgánico: compuestos formados por distintos elementos, pero que su componente principal no es el carbono. El agua es el más abundante.

Intraestacional:	dentro de la estación astronómica o dentro de una estación de clima tropical estacional.
Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero:	cuantifican las emisiones de gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera como resultado de las actividades humanas, y la cantidad de absorciones que ocurren en el país. Guatemala se comprometió a desarrollarlos, actualizarlos periódicamente, publicarlos y ponerlos a disposición de la Conferencia de las Partes (COP) con la firma y ratificación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (IPCC, 2006).
La Niña:	ver El Niño, Oscilación del Sur (ENOS).
Leishmaniasis:	enfermedad transmitida por jejenes hembra pertenecientes las especies de los Géneros Phlebotomus, Lutzomyia, y Psychodopygus. La enfermedad puede manifestarse como lesiones viscerales o cutáneas.
Malaria:	es una enfermedad causada por un parásito transmitido por mosquitos. Personas infectadas muestran fiebre, escalofríos, y malestar similar a la gripe. Si no es tratado, puede causar complicaciones y muerte.
Mancomunidad:	corporación o entidad legalmente constituida por agrupación de municipios o provincias.
Manejo de cuencas hidrográficas:	utilización, aprovechamiento beneficioso, regulación y control tecnológico de los recursos naturales de una cuenca hidrográfica para garantizar su desarrollo y uso sustentable.
Manejo integrado de desechos sólidos:	enfoque técnico, comprehensivo, integrado y racional, con miras a procurar el uso, reúso, reclamo o reaprovechamiento de cualquier desecho originado por las actividades humanas, para mantener limpio el ambiente, o con un nivel aceptable de calidad.
Manejo integrado de plagas:	conjunto de prácticas que se pueden realizar de manera combinada, para prevenir el desarrollo de microorganismos dañinos que ataquen a un cultivo, combinando diversas técnicas de control, incluyendo el uso de plaguicidas únicamente cuando es necesario (FAO, ONG italiana COOPI, & ACH, 2011).
Manejo sostenible de los suelos:	aborda las prácticas relacionadas con la gestión, conservación y restauración de los suelos, así como la eliminación de la quema de residuos de cultivos. Toma en consideración la implementación de prácticas que eviten o reduzcan la erosión del suelo y que contribuyan a mantener su fertilidad natural, así como el manejo de la fertilización (CCS & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones, 2018).

Materia particulada:	cualquier sustancia presente en la atmósfera en estado sólido o líquido por causas naturales o antropogénicas. Incluye tanto las partículas en suspensión como partículas sedimentables (diámetro mayor a 20 mm) (Fundación Crana, s/f).
Matriz energética:	matriz que aborda los tipos de energía utilizados para el sistema eléctrico de un país, la cual se conforma a través de sus fuentes de generación (renovables y no renovables) (Cortés & Londoño, 2017).
Medios de vida:	composición de las capacidades, activos (tanto recursos materiales como sociales) y actividades necesarias para vivir.
Mitigación:	intervención humana encaminada a reducir las fuentes o potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero (IPCC, 2014a).
Modelo climático:	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 gases de efecto invernadero (Oviedo & León, 2010).
Ola de calor:	calentamiento importante del aire o invasión de aire muy cálido que se extiende sobre un amplio territorio.
Ola de frío:	fuerte enfriamiento del aire o invasión de aire muy frío que se extiende sobre un amplio territorio.
Oncocercosis:	enfermedad parasitaria causada por la filaria llamada *Onchocerca volvulus*. Es transmitida a los humanos por las moscas denominadas jejenes. La enfermedad puede causar ceguera.
Ordenamiento ecológico:	constituye uno de los instrumentos más importantes para la definición de políticas y de criterios ambientales que dan sustento técnico y de gestión a la toma de decisiones en torno a la densidad y formas de usos del suelo, que sean acordes con la planeación para el desarrollo regional (Green et al., 2017).
Ordenamiento pesquero:	es el proceso integrado de recolección de información, análisis, planificación, consulta, adopción de decisiones, asignación de recursos y formulación y ejecución, así como imposición cuando sea necesario, de reglamentos o normas que rijan las actividades pesqueras para asegurar la productividad de los recursos y la consecución de otros objetivos (FAO, 2005).

Ordenamiento territorial:	planificación oficial, científica, ecológica de una región o zona (terrestre o marina), realizada para lograr una distribución óptima de los sectores comerciales, turísticos, industriales, urbanos, agrícolas y naturales, que tiende a un desarrollo adecuado y eficiente del sitio seleccionado.
Orgánico:	sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos de la finca, dándole énfasis a la fertilidad del suelo y la actividad biológica y al mismo tiempo, a minimizar el uso de los recursos no renovables y no utilizar fertilizantes y plaguicidas sintéticos para proteger el medio ambiente y la salud humana (FAO, 2012).
Orimulsión:	combustible fósil compuesto por una emulsión de 70 % de bitumen procedente de la región de Cerro Negro, 30 % de agua y una pequeña cantidad de surfactante (menos de un 1 %) (Campo Marquina, 2005).
Peces anádromos:	son peces que viven en agua salada pero prefieren realizar el apareamiento en corrientes de agua dulce (Gálvez, Pacheco, & Ramírez, 2017).
Peces catádromos:	son peces que viven en sistema fluviales de agua dulce, pero prefieren realizar el apareamiento en corrientes de agua salada (Gálvez et al., 2017).
Pentada:	periodo de cinco días consecutivos utilizados algunas veces para el estudio de uno o varios elementos meteorológicos. En variabilidad climática es utilizado para periodos de cinco años.
Perfluorocarbonos:	compuesto orgánico parcialmente halogenado cuyo potencial de calentamiento global es elevado.
Periodo intraestival:	periodo de mitad del verano boreal, para el caso de Guatemala comprende los meses de julio y agosto.
Plaga:	cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales (FAO, 2012).
Pobreza:	privación de bienestar de manera pronunciada, es decir, la falta de acceso a capacidades básicas para funcionar en la sociedad y de un ingreso adecuado para enfrentar necesidades de educación, salud, seguridad, empoderamiento y derechos básicos (Galindo & Ríos, 2015).
Reclutamiento:	se entiende por reclutamiento al número de reclutas (organismos que son susceptibles a ser capturados por las artes de pesca) durante un periodo de tiempo determinado (Sparre & Venema, 1997).
Red trófica:	está comprendida por una serie de cadenas alimenticias interconectadas entre sí, que crean un mosaico de vías para que se dé la transferencia de energía a través de una comunidad biológica (Pinet, 2009).

Resiliencia:	capacidad que tiene un sistema, una comunidad o una sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse, transformarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficiente, en particular mediante la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas por conducto de la gestión de riesgos (UNISDR, 2015).
Restauración:	es la acción de llevar un ecosistema degradado a su estado original (Ramírez, Giró, & Mojica, 2016). Cuando se refiere a la restauración biológica en arrecifes implica la reparación de las funciones del arrecife a través de la recuperación del esqueleto vivo, los corales. Al hablar de restauración física se refiere a la reparación de la estructura del arrecife o diseño de una estructura artificial (Ramírez et al., 2016).
Riesgo climático:	el riesgo climático significa un riesgo resultante del cambio climático y que afecta a los sistemas humanos y regiones naturales.
Roza:	técnica de cultivo que consiste en quemar el bosque y el sotobosque para enriquecer la tierra.
Seguridad alimentaria:	es un estado en el cual todas las personas gozan, en forma oportuna y permanente, de acceso físico, económico y social a los alimentos que necesitan, en cantidad y calidad, para su adecuado consumo y utilización biológica, garantizándoles un estado de bienestar general que coadyuve al logro de su desarrollo (FAO, 2012).
Seguridad hídrica:	capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas y de calidad aceptable de agua para sostener la subsistencia, bienestar humano y desarrollo socioeconómico, para asegurar la protección en contra de contaminación hídrica y desastres relacionados con el agua, y para la preservación de ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política.
Sensores remotos:	instrumento capaz de percibir datos, utilizados para obtener información de un objeto o un proceso, por análisis de datos obtenidos mediante un instrumento que no está en contacto físico con los objetos.
Servicios ecosistémicos:	son las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que los conforman, sostienen y nutren a la vida humana (Balvanera & Cotler, 2007).
Silvicultura:	arte, ciencia y práctica consistente en crear, ocuparse y reproducir rodales forestales de las características deseadas. Se basa en el conocimiento de las características de las especies y los requisitos medioambientales (FAO, 2012).
Sistema agroforestal:	sistema que incorpora un conjunto de tecnologías de manejo de suelo, agua, nutrientes y cultivos agrícolas y forestales (FAO, 2012).

Sistema ciclónico:	sistema de tormentas caracterizado por una circulación cerrada alrededor de un centro de baja presión y que produce fuertes vientos y abundante lluvia. Dependiendo de su fuerza y localización, un ciclón tropical puede llamarse depresión tropical, tormenta tropical o huracán.
Sistema de alerta temprana:	conjunto de procedimientos e instrumentos, a través de los cuales se monitorea una amenaza o evento adverso (natural o antrópico) de carácter previsible, se recolectan y procesan datos e información, ofreciendo pronósticos o predicciones temporales sobre su acción y posibles efectos (UNESCO, 2011).
Sistema milpa:	sistema tradicional de policultivo que consiste en la asociación simultánea de maíz (*Zea mays L.*), calabaza (*Cucurbita argyrosperma Huber, C. ficifolia Bouché, C. moschata Duchesne ex Poir* o *C. pepo L.*) y diversas leguminosas (*Phaseolus vulgaris L., P. lunatus L., Vicia faba L.* o *Vigna unguiculata [L.] Walp.*) (Ebel, Pozas Cárdenas, Soria Miranda, & Cruz González, 2017).
Sistema quesungual:	conjunto de tecnologías de manejo de suelo, agrícolas y forestales, combinadas con árboles dispersos en regeneración natural, el cual integra la producción agrícola y forestal en el sistema agroforestal familiar, de tal forma que del mismo lote de terreno se puede obtener leña, madera producto del manejo de la regeneración natural, producción de granos y se reduce la vulnerabilidad física y social de las familias (FAO, 2018).
Sistema silvopastoril:	es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de leñosas perennes (árboles o arbustos) y de los componentes tradicionales (forrajeras, herbáceas y animales) en donde todos estos interactúan bajo un sistema de manejo integral (FAO, 2012).
Sistema sinóptico:	representación del conjunto del estado de la atmósfera o de masas de aire a mediana escala y en un momento determinado.
Sostenibilidad:	satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (ONU, s/f-c).
Sumideros de carbono:	proceso o actividad que implica la remoción de gases de invernadero de la atmósfera (FAO, s/f-a).
Tasa de crecimiento demográfico:	es un indicador importante para conocer la evolución de la población, permite medir el aumento (crecimiento) o disminución (decrecimiento) de la población de un territorio para un periodo determinado, el cual indica los cambios que experimenta la población a causa de tres fenómenos demográficos fundamentales: migración, mortalidad y fecundidad (INE, 2006).
Tiempo atmosférico:	condiciones meteorológicas que definen el estado de la atmósfera en un momento y lugar determinados, por tanto puede cambiar rápidamente dependiendo la hora del día (CIIFEN, 2017).

Transgénicos:	organismos modificados mediante ingeniería genética en los que se han introducido uno o varios genes de otras especies.
Tropopausa:	frontera entre la tropósfera y la estratósfera (IPCC, 2013c).
Uso del suelo:	acciones, actividades e intervenciones que realizan las personas sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla.
Variabilidad climática:	se refiere a variaciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima, como las desviaciones típicas y los fenómenos extremos que pueden suceder en cualquier momento y en cualquier sitio del planeta. Esta variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático o a variaciones antropogénicas externas (IPCC, 2007a).
Vector:	organismo (generalmente un artrópodo [e.j., insecto o ácaro]) que cargan y transmiten microorganismos.
Vientos alisios:	sistema de vientos relativamente constantes en dirección y velocidad que soplan en ambos hemisferios, desde los 30 ° de latitud hacia el ecuador con dirección noreste en el hemisferio norte y sureste en el hemisferio sur.
Virulencia:	es un término cuantitativo que define el grado en que un patógeno puede causar enfermedad; esto a menudo está relacionado con el número de microorganismos que se requieren para causar la infección o la frecuencia de infección en una población dada y los determinantes de virulencia de la cepa.
Vulnerabilidad:	predisposición a ser afectado negativamente. Incluye una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (IPCC, 2014b).
Zika:	enfermedad que se presenta como fiebre, dolor de cabeza, dolor de ojos, músculos, y huesos. Causa daño permanente en el sistema nervioso central y mortalidad en bebés durante los primeros meses de la gestación. Se puede confundir con dengue y es comúnmente transmitida por mosquitos.
Zona de recuperación pesquera:	áreas del océano que están protegidas contra todas las actividades extractivas y destructivas, y pueden reducir las amenazas locales y ser una herramienta para el manejo pesquero, la conservación de la diversidad biológica y la química del océano, pero únicamente si son bien diseñadas y manejadas (Green et al., 2017).
Zona marino-costera:	conceptualmente se define como el espacio geográfico en el cual se producen los principales intercambios de materia y energía entre los ecosistemas marinos y terrestres, pudiendo tomar de referencia a la zona costera como el área terrestre influida por las mareas y el área marina hasta la línea batimétrica de los 30 metros de profundidad (CONAP & MARN, 2009).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balvanera, P., & Cotler, H. (2007). Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica*, (84–85), 8–15.
- Bustos, C. (2009). La problemática de los desechos sólidos. The solid waste problem. *Economía*, 027, 121–144. Recuperado de http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/30305
- Campo Marquina, J. (2005). Orimulsión y desarrollo económico. Recuperado el 25 de febrero de 2019, de http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ve/2005/jcm-orimul.htm
- Castro-Díez, P., Valladares, F., & Alonso, A. (2004). La creciente amenaza de las invasiones biológicas. *Ecosistemas*, 13(3), 61–68. https://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000060
- Center for Climate Strategies (CCS), & Proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones. (2018). *Final Report: Guatemala Low Emissions Development Strategies (GLEDS) plan*. Guatemala.
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN). (s/f-a). Aproximación para el cálculo de riesgo. Recuperado el 25 de febrero de 2019, de http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=336&lang=es
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN). (s/f-b). Preguntas frecuentes de ENOS. Recuperado el 19 de noviembre de 2018, de http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=article&id=278&Itemid=366&lang=es
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN). (2017). Tiempo y Clima. Recuperado el 19 de noviembre de 2018, de http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=article&id=579:-tiempo-y-clima&catid=98&Itemid=131&lang=es
- Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio (CNCCMDL). (2018). Recuperado el 25 de febrero de 2019, de https://cambioclimatico.gob.do/tag/namas/
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), & Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2009). *Biodiversidad marina de Guatemala: análisis de vacíos y estrategias para su conservación*. Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, The Nature Conservancy.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). (2015). Iniciativa HFC - Coalición para reducir contaminantes climáticos de corta vida. Recuperado el 25 de febrero de 2019, de https://unfccc.int/es/news/iniciativa-hfc-coalicion-para-reducir-contaminantes-climaticos-de-corta-vida
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). (2016). Entra en funcionamiento el registro internacional de contribuciones determinadas a nivel nacional. Recuperado el 25 de febrero de 2019, de https://unfccc.int/es/news/entra-en-funcionamiento-el-registro-internacional-de-contribuciones-determinadas-a-nivel-nacional
- Cortés, S., & Londoño, A. A. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista Ciencies Estratégicas*, 25(38), 375–390.
- Dudley, N. (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. Gland, Suiza: UICN.
- Duque, G., & Escobar, C. (2016). *Capítulo 8. Erosión de suelos*. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Ebel, R., Pozas Cárdenas, J. G., Soria Miranda, F., & Cruz González, J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35, 149–160. https://doi.org/10.28940/terra.v35i2.166

- Espigares, M., & Pérez, J. (s/f). *Aguas residuales. Composición*. Salamanca: Universidad de Salamanca. Recuperado de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

- Establecimiento Público Ambiental (EPA). (s/f). Factores de emisión. Recuperado el 26 de febrero de 2019, de http://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/seguimiento-y-monitoreo/protocolo-monitoreo-calidad-del-aire-en-la-ciudad-de-cartagena/factores-de-emision/

- Fundación Crana. (s/f). Aerosoles o materia particulada (MPA). Recuperado el 26 de febrero de 2019, de http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion_3/aerosoles-materia-particulada-mpa

- Galindo, M., & Ríos, V. (2015). *Pobreza. En Serie de estudios económicos (Vol. 1)*. México D.F.: México ¿cómo vamos?

- Gálvez, G., Pacheco, G., & Ramírez, S. (2017). *Valoración económica y cultural del ecosistema manglar en el área de uso múltiple río Sarstún.*

- García, C. (2011). El cambio climático: los aspectos científicos y económicos más relevantes. Nomadas. *Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, 4(32).

- Gómez, R. (2014). *Evidencias del cambio climático en la vertiente del Pacífico de Guatemala, periodo 1971-2010 con base en información estadística, diagnóstico y servicios prestados en el departamento de investigación y servicios climáticos del INSIVUMEH.* Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2903.pdf

- Green, A., Chollett, I., Suárez, A., Dahlgren, C., Cruz, S., Zepeda, C., ... Bezaury, J. (2017). *Principios biofísicos para el diseño de una red de zonas de recuperación en el Sistema Arrecifal Mesoamericano una red de zonas de recuperación en el Sistema Arrecifal Mesoamericano.*

- 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). (2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme.* (H. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, Eds.). Hayama, Kanagawa, Japón: Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2007a). *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). (2007b). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, ... Z. Chen, Eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2013a). *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). (2013b). *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovern- mental Panel on Climate Change.* (T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, ... P. M. Midgley, Eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2013c). Glosario. En S. Planton (Ed.), *Cambio climático 2013. Bases físicas. Contribución del grupo de trabajo I al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático* (p. 22). Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos de América.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014a). *Cambio climático 2014: impactos, adaptación y vulnerabilidad - Resumen para responsables de políticas. Contribución del grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.* (C. Field, V. Barros, D. Dokken, K. Mach, M. Mastrandrea, E. Bilir, ... L. White, Eds.). Ginebra: Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014b). *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.

- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2006). *Encuesta nacional agropecuaria 2006.* Guatemala.

- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (s/f). Heladas. Recuperado el 25 de febrero de 2019, de http://www.insivumeh.gob.gt/heladas/

- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2018). *Variabilidad y cambio climático en Guatemala.* Guatemala.

- López, J., Morales, A., Soberanis, H., & Ramírez, M. (2016). *Restauración ecológica participativa del ecosistema de manglar en la reserva natural de usos múltiples Monterrico.* Guatemala.

- 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

- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (s/f-a). Energía eólica. Recuperado el 25 de febrero de 2019, de http://www.mem.gob.gt/energia/energias-renovables/energia-eolica/

- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (s/f-b). Energía geotérmica. Recuperado el 26 de febrero de 2019, de http://www.mem.gob.gt/energia/energias-renovables/energia-geotermica/

- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (s/f-c). Energía hidráulica. Recuperado el 25 de febrero de 2019, de http://www.mem.gob.gt/energia/energias-renovables/energia-hidraulica/

- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (s/f-d). Energía solar. Recuperado el 26 de febrero de 2019, de http://www.mem.gob.gt/energia/energias-renovables/energia-solar/

- Ocean Carbon and Biogeochemistry Project-Ocean Acidification, Ocean Acidification International Coordination Centre, UK Ocean Acidification Research Programme, NOAA Ocean Acidification Program, & Washington Sea Grant. (2014). *20 hechos acerca de la acidificación del océano.*

- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR). (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. Recuperado de http://www2.ohchr.org/spanish/bodies/hrcouncil/docs/gaA.RES.60.1_Sp.pdf
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (s/f-a). ¿Qué es la biodiversidad? Recuperado el 26 de febrero de 2019, de http://www.un.org/es/events/biodiversityday/background.shtml
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (s/f-b). 12. Ordenación de los ecosistemas frágiles: lucha contra la desertificación y la sequía. Recuperado el 26 de febrero de 2019, de http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter12.htm
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (s/f-c). Desarrollo sostenible. Recuperado el 26 de febrero de 2019, de http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). *Convenio sobre la diversidad biológica (1992)*. Recuperado de http://www.cbd.int/convention/convention.shtml
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s/f-a). ¿Qué es el secuestro de carbono? Recuperado el 27 de febrero de 2019, de http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/secuestro-de-carbono-en-el-suelo/es/
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s/f-b). Definiciones de agroecología. Recuperado el 27 de febrero de 2019, de http://www.fao.org/agroecology/knowledge/definition/es/?page=1&ipp=6&no_cache=1&tx_dynalist_pi1%5Bpar%5D=YToxOntzOjE6IkwiO3M6MToiMiI7fQ
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s/f-c). GLEAM 2.0 – Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y su potencial de mitigación. Recuperado el 26 de febrero de 2019, de http://www.fao.org/gleam/results/es/
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2005). *Resumen informativo sobre la pesca por países*. FAO. Ciudad de Guatemala. Recuperado de ftp://ftp.fao.org/FI/DOCUMENT/fcp/en/FI_CP_BO.pdf%5Cnftp://ftp.fao.org/FI/DOCUMENT/fcp/es/FI_CP_VE.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2011). *Seguridad alimentaria y nutricional. Conceptos básicos*. Recuperado de http://www.fao.org/3/a-at772s.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2012). Anexo 2. Glosario de términos. En *Guía para la aplicación de normas fitosanitarias en el sector forestal* (pp. 91–104). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). *Caracterización de los sistemas agroforestales Kuxur Rum y Quesungual en el corredor seco de Guatemala y Honduras*. Ciudad de Panamá: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Cooperación Internacional de Italia (COOPI), & Acción Contra el Hambre (ACH). (2011). *Manejo integrado de plagas*. Bolivia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (s/f). ¿Qué son los conocimientos locales e indígenas? Recuperado el 26 de febrero de 2019, de http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/priority-areas/links/related-information/what-is-local-and-indigenous-knowledge/
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2011). *Manual sobre sistemas de alerta temprana. Panamá: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.*

- 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.
- Pinet, P. (2009). *Invitation to oceanography* (Quinta edi). Estados Unidos: Jones and Bartlett Publishers.
- Ramírez, S., Giró, A., & Mojica, Á. M. (2016). *Proyecto piloto de restauración de corales del Caribe Guatemalteco: explorando su viabilidad y potencial como una herramienta de manejo y conservación*.
- Real Academia Española (RAE). (2019). Afluente. Recuperado el 25 de febrero de 2019, de https://dle.rae.es/?id=0zGtwmw
- Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR). (s/f). NMVOC (COVDM compuestos orgánicos volátiles distintos al metano). Recuperado el 25 de febrero de 2019, de http://www.prtr-es.es/NMVOC-COVDM-Compuestos-Organicos-Volatiles,15594,11,2007.html
- Restrepo, V. (s/f). *Glosario de términos pesqueros*. Madrid, España: Comisión Internacional para la Conservación del Atún del Atlántico [ICCAT].
- Secretaría General de la Organización de los estados Americanos (OEA). (s/f). 1.5 Combustibles fósiles. Recuperado el 26 de febrero de 2019, de http://www.oas.orgdsd/publications/unit/oea16s/ch06.htm
- Sparre, P., & Venema, S. C. (1997). *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales: parte 1*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Tapia, V. (2010). *Estudio comparativo de la descomposición aerobia y anaerobia de la materia orgánica para el desarrollo de una metodología de elaboración de compost aplicable en pequeñas comunidades del área de influencia de ENAP SIPETROL*. Escuela Politécnica Nacional.
- Universidad Complutense de Madrid (UCM). (s/f). Escorrentía subterránea. Recuperado el 26 de febrero de 2019, de http://webs.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/esc_sub_infiltracion.html
- Universidad de Granada (UGR). (s/f). Adaptación. Recuperado el 25 de febrero de 2019, de https://www.ugr.es/~jmgreyes/adaptacion.html
- Universidad Nacional del Santa (UNS). (s/f). Bioelectricidad. Recuperado el 25 de febrero de 2019, de http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archiv

2 AUTORES

En este apartado se muestra una descripción breve sobre los autores principales y contribuyentes de este reporte. Los nombres se muestran en orden alfabético por apellido.

Foto: D. Incer

Autores Principales

Gabriela Alfaro Marroquín

Capítulo 1

- Magíster de ciencias en Protección Vegetal en el Comercio Internacional
- Bióloga
- Directora del departamento de Biología e investigadora líder del Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad (CEAB) de la Universidad del Valle de Guatemala
- Ha trabajado los últimos doce años como investigadora líder en recursos naturales en el Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad, teniendo a su cargo como investigadora principal varios proyectos relacionados a monitoreo biológico y cambio climático, siendo sus líneas de interés ciencia del clima y mitigación. Es además la coordinadora del Laboratorio de Carbono del CEAB.

Walter Arnoldo Bardales Espinoza

Capítulos 2 y 3

- Magíster de ciencias en Recursos Hidráulicos
- Ingeniero agrónomo
- Docente del curso de Climatología en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala
- Nueve años de experiencia en el campo de climatología de Guatemala, especialmente en variabilidad climática, predicción climática estacional utilizando modelos estadísticos, pronóstico meteorológico utilizando modelos numéricos (WRF) y *downscaling* estadístico de escenarios de cambio climático.

Manuel Basterrechea

Capítulo 5

- Doctor en filosofía en Ingeniería Civil y Ambiental
- Magíster en Recursos Hidráulicos
- Ingeniero civil
- Miembro de la Academia de Ciencias de Guatemala y la Asociación de Limnología y Gestión de Lagos
- Coordinador nacional del proyecto «Manejo de cuencas hidrográficas» del Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE) de 1986 a 1989. Miembro de la Academia de Ciencias de Guatemala y del grupo de agua de las Academias de Ciencias de América (IANAS, por sus siglas en inglés). Ha coordinado planes y estrategias en torno al recurso hídrico, como el Plan Centroamericano de Recursos Hídricos para la CCAD en 1999 y la política y estrategia de recursos hídricos de Guatemala con la SEGEPLAN en el 2006, entre otros.

Ramiro Batzín

Capítulo 13

- Magíster en Ciencias en Gestión Ambiental Local (pensum cerrado)
- Licenciado en Ciencias de la Comunicación
- Periodista profesional
- Director ejecutivo de Sotz'il, Guatemala
- Maya kaqchikel, miembro del Consejo Nacional de Cambio Climático en representación de pueblos indígenas, miembro del Consejo Cargador de la Mesa Indígena de Cambio Climático de Guatemala y de la Mesa Nacional de Cambio Climático, Consejero de UICN. Experto en conocimientos tradicionales indígenas y cambio climático, diversidad biológica, uso, manejo y conservación de recursos naturales. Posee estudios en evaluación de proyectos ambientales, estrategias de conservación, derecho indígena, gestión legislativa, bosques y REDD+.

Jaime Luis Carrera

Resumen para tomadores de decisión

Capítulos 4 y 7, autor contribuyente en capítulo 6

- Magíster en Ciencias en Economía Ambiental y de los Recursos Naturales
- Ingeniero agrónomo
- Investigador del Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar, Guatemala
- Quince años de experiencia en investigación en temas relacionados a la gestión de los recursos naturales, contabilidad ambiental, seguridad alimentaria y nutricional, desarrollo rural y cambio climático, desde enfoques sistémicos y participativos. Actualmente coordina los programas de investigación sobre economía y ambiente en IARNA, en particular las líneas de metabolismo socioecológico y contabilidad ambiental.

Claudio Castañón

Capítulo 2

- Ingeniero civil
- Profesor e investigador en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), director de la empresa AguaConsulta
- Especialista en Meteorología Aplicada, con estudios de postgrado en Investigación y Recursos Hidráulicos. Quince años de experiencia en temas de meteorología e hidrología. Fue jefe del departamento de Investigación y Servicios Climáticos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH) y jefe del departamento de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil de la USAC.

Edwin J. Castellanos

Editor general, resumen para tomadores de decisión

Capítulos 11 y 12

- Doctor en Ciencias Ambientales
- Magíster en Ciencias en Química Analítica
- Licenciado en Química
- Decano del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG)
- Participa en el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) como experto en temas de inventarios de gases de efecto invernadero, participó como autor del quinto informe sobre cambio climático y es autor coordinador del capítulo de Latinoamérica para el sexto informe. Representante universitario ante el Consejo Nacional de Cambio Climático de Guatemala. Ha recibido varios reconocimientos incluida la Medalla Nacional de Ciencia y Tecnología en 2016.

Isabel Cifuentes Soberanis

Capítulo 9

- Arquitecta
- Catedrática de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala
- Especialista con quince años de experiencia como consultora en temas de ambiente y recursos naturales, gestión de riesgo y planes de ordenamiento territorial por medio de sistemas de información geográfica. Miembro de la Asociación de Planificadores Urbano Territoriales de Guatemala. Investigadora registrada del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Luis E. Escobar

Capítulo 10

- Doctor en Ciencias en Medicina de la Conservación, énfasis en Ecología de Enfermedades
- Magíster en Ciencias en Manejo de Vida Silvestre y Veterinaria
- Médico veterinario
- Profesor asistente, Department of Fish and Wildlife Conservation, Virginia Tech, Blacksburg, Virginia, USA
- Especialista con diez años de experiencia en ecología de enfermedades y enfermedades transmitidas por vectores. Experto en el desarrollo, implementación y evaluación de modelos de nicho ecológico. Experiencia en la teoría y métodos de biogeografía aplicados al estudio de enfermedades, especies invasoras y cambio climático.

Omar G. Flores Beltetón

Capítulo 9

- Ingeniero civil
- Profesor e investigador del Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) de la Universidad de San Carlos de Guatemala
- Estudios de maestría en Gestión de Riesgo a Desastres y especialización en Desastres y Desarrollo. Catedrático de posgrado de Geotecnia en Amenazas Geológicas (USAC). Participación en proyectos de investigación con el Instituto Noruego Geotécnico en tema de deslizamientos y sistemas de alerta. Presidente de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES 2003-2005). Presidente de la comisión de Construcción (CONCYT 2016-2017).

Gabriela Fuentes Braeuner

Capítulos 11 y 12

- Magíster en Administración de Empresas y postgrado en Manejo Integrado de Recursos Hídricos
- Ingeniera forestal
- Directora del Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala
- Once años de experiencia en investigación relacionada al sector forestal en el sector público, privado y academia. En los últimos seis años ha trabajo principalmente en mitigación del cambio climático, enfocándose en proyectos de deforestación evitada. Como representante del SGCCC ante el CNCC, participó en dos Conferencias de las Partes de la CMNUCC en 2015 en París y 2016 en Marrakech, como parte de la delegación nacional y asesora del gobierno en materia de cambio climático.

Alejandro Gándara

Capítulo 7

- Magíster en ciencias en Gerencia de Sistemas
- Ingeniero en Sistemas de Información
- Investigador del Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar (URL), Guatemala
- Especialista con 16 años de experiencia en la gestión de bases de datos, análisis y modelación de datos e información geográfica y sensores remotos principalmente en el área de los recursos naturales, economía y demografía. Actualmente aporta a los procesos de investigación en la URL desde la unidad de Información Estratégica.

Víctor Manuel García Lemus

Capítulo 10

- Magíster en ciencias en Salud Pública
- Médico y cirujano
- Presidente de la Red Universitaria de las Américas y el Caribe para la Reducción del Riesgo de Desastres (REDULAC/RRD)
- Especialista en Gestión del Riesgo de Desastres en Procesos de Desarrollo. Vicepresidente del Grupo Consultivo de Ciencia y Tecnología de las Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR).

Rosario Gómez

Capítulo 1

- Ingeniera agrónoma
- Profesional en Agrometeorología del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH)
- Especialista con siete años de experiencia en el departamento de Investigación y Servicios Climáticos de INSIVUMEH. Ha participado en cursos internacionales en temas como índices de cambio climático para Mesoamérica, aplicaciones meteorológicas para la agricultura, meteorología tropical, agricultura sostenible adaptada al clima, entre otros. Participante en el Foro del Clima de Mesoamérica y el Caribe.

Alex Guerra Noriega

Capítulo 5

- Doctor en filosofía en Geografía y Medio Ambiente
- Magíster en Ciencia, Políticas Públicas y Manejo del Agua
- Ingeniero Forestal
- Director general del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC)
- Ocho años como director general del ICC (desde su fundación en 2010), coordinando la investigación y ejecución de proyectos en adaptación y mitigación al cambio climático. Antes de unirse al ICC, colaboró con Defensores de la Naturaleza, el Centro de Estudios Ambientales de la Universidad del Valle de Guatemala, la Asociación Amigos del río Ixtacapa, fue consultor para el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala, entre otros.

José Luis Herrera Herrera

Capítulo 2, autor contribuyente en capítulo 1

- Licenciado en Administración de Empresas
- Docente supervisor de la Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de San Carlos de Guatemala
- Trabajó durante 35 años en el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala, bajo los cargos de Observador meteorológico (diez años) y Meteorólogo (25 años). Especialista en formulación de diagnóstico y caracterización socio económica, con propuestas de proyectos productivos y sociales, en el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) en la Facultad de Ciencias Económicas, así como en capacitación en temas de análisis, riesgos y climatología.

Marco Aurelio Juárez Calderón

Resumen para tomadores de decisión

Capítulos 11 y 12

- Ingeniero agrónomo
- Consultor en ambiente y recursos naturales de la empresa Geotecnológica de Centroamérica, S.A.
- Especialista con 34 años de experiencia en el sector forestal, ambiental y de los recursos naturales. Ha participado en la elaboración e integración de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero en Guatemala; coordinador de la sistematización y articulación de la estrategia nacional REDD+. Delegado nacional en el 14, 15 y 16 Periodo de Sesiones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, entre otros.

Virginia Mosquera Salles

Capítulo 7

- Magíster en ciencias en Ingeniería del Agua
- Ingeniera ambiental
- Investigadora del Instituto de investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad de la Universidad Rafael Landívar, Guatemala
- Especialista en gestión integrada del recurso hídrico. Ha trabajado en temas de investigación específicas en el impacto del cambio climático en disponibilidad hídrica y los ecosistemas, el estado ecológico de los principales lagos de Guatemala, el impacto de diferentes actividades económicas en la calidad del agua, entre otras. Profesora de los cursos de Química Ambiental y Limnología en la Universidad Rafael Landívar.

Wener Ochoa

Resumen para tomadores de decisión

Capítulos 3

Capítulo 6

- Magíster en ciencias en Gestión Ambiental
- Ingeniero agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola
- Profesor investigador de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)
- Candidato a Doctor en Cambio Climático y Sostenibilidad de la USAC, especialista en gestión integrada del recurso hídrico, evaluaciones ambientales, hidrogeología ambiental, desarrollo rural territorial, gestión y ordenamiento territorial; planes de adaptación al cambio climático con enfoque de cuenca, entre otros temas. Profesor y asesor de tesis en las maestrías en desarrollo rural y cambio climático de la USAC.

José Roberto Ortiz

Capítulo 8

- Magíster en Ciencias Marinas y Costeras
- Licenciado en Acuicultura
- Profesor e investigador del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA) de la Universidad de San Carlos de Guatemala
- Especialista en recursos hidrobiológicos, con experiencia en investigación en biología marina y pesquera. Profesor de Oceanografía y Pesca y coordinador del laboratorio de Ciencias Biológicas y Oceanográficas del CEMA. Presidente de la organización «Semillas del Océano» dedicada a la implementación de programas de educación, ciencia y desarrollo comunitario para la conservación y uso sostenible de los océanos y la vida marina.

Silja Morgana Ramírez Yela

Capítulo 8

- Magíster en ciencias en Estudios Ambientales
- Bióloga
- Coordinadora del programa Mares Vivos de la Fundación para el Eco-Desarrollo y Conservación
- Profesional que se ha desarrollado en el campo de la conservación y manejo de los ecosistemas y recursos marino costeros; con experiencia en investigación científica en el campo de la biología marina y pesquera, así como en el desarrollo de proyectos productivos en conjunto con comunidades y grupos de pescadores.

Paris Francisco Rivera Ramos

Resumen para tomadores de decisión

Capítulo 3

- Magíster en ciencias en Recursos Hidráulicos
- Ingeniero civil
- Técnico en Meteorología General Aplicada
- Coordinador del programa de Clima e Hidrología del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC) (2016-2018), asesor en cambio climático del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH)
- Coordinador de la Comisión de Recursos Hídricos del Colegio de Ingenieros de Guatemala (2016-2018), catedrático en la maestría en Energía y Medio Ambiente, en la Universidad de San Carlos de Guatemala (2013-2018). Jefe del departamento de Investigación y Servicios Climáticos en INSIVUMEH (2013-2016). Dos veces representante de Guatemala ante el comité de Huracanes de la Organización Meteorológica Mundial.

Ana Lucía Solano Garrido

Capítulo 6

- Ingeniera Forestal
- Secretario del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG)
- Experiencia de diez años como investigadora en el Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad de la UVG en proyectos relacionados con manejo y conservación de bosques, agricultura y adaptación al cambio climático, migración y cambio de uso de la tierra, dendrocronología. Catedrática (UVG) de forestería comunitaria, tecnología de semillas y viveros y actualmente del curso retos ambientales y sostenibilidad.

Autores contribuyentes

Daniel Ariano Sánchez

Capítulo 7

- Magíster en ciencias en Espacios Naturales Protegidos
- Magíster en ciencias en Ecología y Conservación
- Biólogo
- Docente e investigador del departamento de Biología y el Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala
- Quince años de experiencia en manejo y conservación de ecosistemas especialmente del bosque seco y bosque nuboso. Ha realizado diversas investigaciones sobre los impactos del cambio climático sobre ecosistemas estratégicos, especies amenazadas y medios de vida de poblaciones locales. Autor de más de cuarenta publicaciones científicas en revistas arbitradas internacionales. Fue galardonado con el premio TWAS al Científico Joven del año 2008, otorgado por la Academia Mundial de Ciencias y la SENACYT.

Ernesto Arredondo Leiva

Capítulo 13

- Doctor en Filosofía
- Licenciado en Arqueología
- Investigador del Centro de Investigaciones Arqueológicas y Antropológicas y catedrático del Departamento de Arqueología de la Universidad del Valle de Guatemala
- Diecinueve años de experiencia en la dirección y codirección de proyectos arqueológicos en la Reserva de la Biosfera Maya. Especializado en arquitectura prehispánica, guerra y política maya de las Tierras Bajas. Actualmente Director del Proyecto de Investigación Arqueológica Semetabaj, en San Andrés Semetabaj, Sololá.

Tomás Barrientos Q.

Capítulo 13

- Doctor en filosofía en Antropología
- Licenciado en Arqueología
- Director del departamento de Arqueología y el Centro de Investigaciones Arqueológicas y Antropológicas de la Universidad del Valle de Guatemala y codirector del Proyecto Regional Arqueológico La Corona
- Tiene veinticinco años de experiencia en la dirección de proyectos de investigación arqueológica en la Costa Sur, Altiplano y Petén, con especialidad en estudios de arquitectura prehispánica. Sus investigaciones han incluido la integración de comunidades, gestión de patrimonio cultural, estudios de identidad, turismo sostenible y programas educativos y de divulgación. Ha sido profesor de arqueología y gestión de patrimonio cultural a estudiantes y guías de turismo de varias universidades e institutos técnicos.

Marvin Chirix

Capítulo 13

- Técnico del programa Manejo Integrado Recursos Naturales por Pueblos Indígenas de Sotz'il, Guatemala
- Maya kaqchikel, experiencia en investigación sobre pueblos indígenas, historia mesoamericana, recursos naturales, cambio climático, gestión de riesgos. Elaboración e ilustración de materiales sobre derechos de los pueblos indígenas, recursos naturales, cambio climático, primeros auxilios, participación ciudadana. Experiencia en desarrollo indígena, patrimonio cultural tangible e intangible, áreas protegidas en la administración pública.

Juan Cusanero

Capítulo 13

- Ingeniero ambiental
- Director de Ejes Programáticos, Sotz'il, Guatemala
- Maya kaqchikel, doce años de experiencia en promover procesos de gestión colectiva indígena a nivel de comunidades y actores clave en la cadena volcánica kaqchikel, sistematización de conocimientos tradicionales en el uso, manejo y conservación de recursos naturales, fortalecimiento de la organización comunitaria y participación en espacios para promover derechos de pueblos indígenas.

Silvel Elías

Capítulo 13

- Ingeniero agrónomo
- Profesor e investigador de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)
- Coordina el programa de Estudios Rurales y Territoriales, la Maestría en Desarrollo Rural y el Ejercicio Profesional Supervisado en la Facultad de Agronomía de la USAC. Cuenta con más de veinte años de experiencia en estudios sobre tierras y territorios indígenas, conocimientos tradicionales y procesos de gobernanza comunitaria.

Juan Carlos Godoy Herrera

Capítulo 1

- Magíster en ciencias en Recursos Naturales y Biodiversidad
- Biólogo
- Asesor en política pública para The Nature Conservancy, oficina Guatemala
- Cuarenta años de experiencia en gestión de recursos naturales y mecanismos financieros para la conservación de la naturaleza. Sus campos de experiencia incluyen: planificación y gestión de áreas protegidas y corredores biológicos; adopción de mejores prácticas para la adaptación al cambio climático, particularmente relacionados a la gestión integrada de recursos hídricos. Actualmente es el presidente del Fondo de Conservación de Bosques Tropicales de Guatemala y miembro del consejo directivo de la Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala.

Amarilis Gómez

Capítulo 13

- Bióloga
- Coordinadora de planificación de Sotz'il, Guatemala
- Diez años de experiencia en planificación, implementación y evaluación de proyectos ambientales y recursos naturales, cambio climático y diversidad biológica. Ha desarrollado investigaciones y planes de manejo en áreas de gestión colectiva indígena de la cadena volcánica central kaqchikel.

Ramiro López Ramírez

Capítulo 13

- Estudios en Ciencias Políticas
- Consejo del pueblo Xinka de Guatemala
- Experiencia en investigación sobre la cultura del pueblo Xinka, autor del libro Cosmovisión Xinka, publicado en el 2007. Experiencia en conocimiento ancestral, tierras comunitarias y conservación de bosques en el sur oriente. Investigación sobre pintura rupestre en el territorio Xinka.

Carlos Mansilla M.

Capítulo 12

- Magíster en ciencias en Estudios Ambientales
- Ingeniero industrial
- Consultor independiente
- Experiencia de más de veinte años en temas relacionados a cambio climático: inventarios de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero, vulnerabilidad y adaptación. Ha trabajado como asesor técnico principal del proyecto Impacto Socioeconómico del Cambio Climático y Opciones de Política en Centroamérica y República Dominicana, coordinador de la unidad de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, fungió como Coordinador de la Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, entre otros.

Gustavo Adolfo Mayén Herrera

Capítulo 9

- Magíster en ciencias en Estudios Ambientales
- Arquitecto
- Presidente del Consejo Verde de la Arquitectura, Guatemala, secretario del Consejo Centroamericano de la Arquitectura y la Construcción Sostenible y gerente general de PEASA, Guatemala
- Consultor de organismos internacionales en estudios urbanos, arquitectura, ambientales y desechos sólidos. Más de 25 años de experiencia profesional que incluyen nombramiento como viceministro de Ambiente y docente especialista en construcción sostenible.

Melvin Navarro González

Capítulo 3

- Magíster en ciencias en Mitigación y Adaptación al Cambio Climático
- Ingeniero agrónomo en Recursos Naturales Renovables
- Consultor independiente
- Diez años de experiencia en elaboración de Inventarios forestales, planes de manejo de bosque natural con fines de producción y protección, estudios de capacidad de uso de la tierra (ECUT), manejo y evaluación de plantaciones forestales, manejo de viveros forestales de especies coníferas y sistemas de Información geográfica. Ha trabajado como consultor independiente en temas relacionados a cambio climático.

Javier Rivas Romero

Capítulo 7

- Magíster en ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
- Biólogo
- Profesor e investigador de la Escuela de Biología, de la Universidad de San Carlos de Guatemala
- Profesor en el departamento de Ecología y Ciencias Ambientales de la Escuela de Biología desde el año 2001. Ha trabajado aspectos ecológicos de la familia Cracidae, asimismo ha realizado estudios sobre la fenología de árboles de bosques nubosos. Es miembro fundador del Comité Internacional para la Conservación de *Oreophasis derbianus* y su hábitat.

Félix Sarazúa

Capítulo 13

- Ajq'ij, Guía Espiritual Maya
- Coordinador Consejo de Guías Espirituales Belejeb' Noj
- Maya kaqchikel, 18 años de experiencia en estudios y prácticas de la espiritualidad maya, sistemas de adaptación indígena, conocimientos tradicionales, observación del tiempo y el espacio, experto en cosmovision y cultura maya, maestro jubilado.

Yeshing Upún

Capítulo 13

- Estudios en ciencias jurídicas y sociales
- Coordinadora de Derechos de Pueblos Indígenas, Sotz'il, Guatemala
- Maya Kaqchikel, copresidente del Grupo de Especialistas en Pueblos Indígenas, Derecho Consuetudinario, Ambiental y Humanos del CEESP/UICN, experta en derechos de pueblos indígenas, con especialidad en recursos naturales, gestión de riesgos, cambio climático, diversidad biológica, desarrollo sostenible, conocimientos tradicionales. Posee estudios en bosques y REDD+.

Oscar Estuardo Villagrán García

Capítulo 4

Capítulo 12

- Magíster en ciencias en Finanzas y Estrategia
- Ingeniero industrial
- Consultor nacional e internacional
- Ha trabajado en gerencia de instituciones públicas y privadas, consultorías a nivel local e internacional, así como en docencia en distintas universidades de Guatemala. Participó en la construcción de los catálogos de políticas y financiamiento para la Estrategia Nacional de Desarrollo con Bajas Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Guatemala. Fue el consultor principal para diagnósticos sobre el financiamiento climático para Guatemala y sus oportunidades de movilización de recursos para los compromisos nacionales ante la Convención de Cambio Climático, entre otros.

3 REVISORES

A continuación, se listan los nombres e institución de los revisores de este reporte en orden alfabético por apellido.

Primer proceso de revisión	
Sergio Aragón San Juan	San Francisco State University
Daniel Ariano Sánchez	Universidad del Valle de Guatemala
Edy Manolo Barillas	Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA)
Gesly Anibal Bonilla Landaverry	Centro Universitario de Sur Oriente, Universidad de San Carlos de Guatemala
Leticia del Carmen Castillo Signor	
Igor Adolfo Estuardo De la Roca Cuéllar	Consultor independiente
Luis Ferraté	

Juan Carlos Fuentes Montepeque	Instituto Nacional de Electrificación
José R. Furlán	RTI International
Fulgencio Garavito	Instituto Nacional de Sismología Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH)
Julio Guillermo García Ovalle	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AGISA)
Juan Carlos Godoy	The Nature Conservancy
Mónica Berger González	Universidad del Valle de Guatemala, Swiss Tropical and Public Health Institute
Mario Roberto Jolón Morales	Rainforest Alliance
Rudy Machorro Sagastume	Asociación Guatemalteca de Geociencias Ambientales (ASGA)
Carlos Mansilla M.	Consultor independiente
Juan José Nieto	Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN)
Diego Pons	International Research Institute Columbia University
Diana Ramírez	Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)
Jaime E. Requena F.	CID-Geología Cementos Progreso S.A.
Ana Isabel Rosal Martínez	Universidad del Valle de Guatemala
Juan Carlos Rosito	Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología de la Universidad Rafael Landívar
Jonathan Schwarz	RTI International

Segundo proceso de revisión	
Sergio Aragón San Juan	San Francisco State University
Magaly Arrecis	Instituto de Problemas Nacionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala
José Manuel Ávila Utrera	Guatemala Green Building Council
Walter E. Baethgen	International Research Institute, Columbia University
Mónica Lucía Barillas Rodas	Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP)
Juan Carlos Bocel Chiroy	Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE)
Igor Adolfo Estuardo De la Roca Cuéllar	Consultor independiente
Juan Carlos Fuentes Montepeque	Instituto Nacional de Electrificación
Eliseo Gálvez R.	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)
Julio Guillermo García Ovalle	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AGISA)
Norma Gil de Castillo	Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA), Universidad de San Carlos de Guatemala
Juan Carlos Godoy	The Nature Conservancy
María José Iturbide Flores	FUNCAGUA
Vivian Lanuza Monge	Consultora independiente
Aida Lorenzo Rodas	Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala
Manuel Benedicto Lucas López	Consultor independiente
Rudy Machorro Sagastume	Asociación Guatemalteca de Geociencias Ambientales (ASGA)
Carlos Mansilla M.	Consultor independiente

Wener Ochoa	Universidad de San Carlos de Guatemala
Saturnino Ordóñez	
Enrique Pazos Ávalos	Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de San Carlos de Guatemala
Diego Pons	International Research Institute Columbia University
José Pablo Prado	
Paris Francisco Rivera Ramos	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH)
Carlos Leonel Rodríguez Olivet	Escuela de Liderazgo Visión Mesoamérica, Futura Asociación Bajareque
Claudia Suseth Romero Oliva	Universidad del Valle de Guatemala
Ana Isabel Rosal Martínez	Universidad del Valle de Guatemala
Kenset Rosales	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Ever Manolo Sánchez De León	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AGISA)
Jonathan Schwarz	RTI International
Estuardo Secaira	Consultor independiente en conservación áreas protegidas y desarrollo sostenible
Rachael M. Shenyo	Alticultura, Universidad de Connecticut
José Alfredo Suárez	Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala
Marco Alexander Tax Marroquín	Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático
Pablo Yax López	Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático
René Zamora Cristales	World Resources Institute

4 ACLARACIONES PARA LA LECTURA DE ESTE REPORTE

Para referirse a las emisiones de gases de efecto invernadero, en este reporte se utilizan las expresiones «miles» y «millones» de toneladas de dióxido de carbono, por estar más ampliamente conocidas y referidas en Guatemala, aunque lo recomendable es emplear los términos «gigagramos» (miles de toneladas) y «teragramos» (millones de toneladas).

En este reporte se utilizan las categorías de «productores agrícolas en condición de infrasubsistencia» y «productores agrícolas en condición de subsistencia» conforme a las definiciones de la Política Agraria de Guatemala (2014), en sustitución de la categoría «pequeños productores agrícolas» que está altamente difundida. Según la Política Agraria, los productores agrícolas en condición de infrasubsistencia viven en condiciones de pobreza extrema y se caracterizan por el escaso acceso que tienen a recursos productivos, entre estos, la tierra. Según la misma política, los productores agrícolas en condición de subsistencia se caracterizan por la utilización de mano de obra familiar, ya que no cuentan con medios eficientes para producir ni con facilidades de acceso a servicios básicos, infraestructura, mercados crediticios y tecnológicos; por lo tanto, el destino de su producción es el mercado interno y el autoconsumo.

Los cuadros y figuras que se copiaron tal como aparecían en la referencia citada, se identifican con la frase «tomado de». En dichos casos, se consultó el permiso de uso conforme a la declaración de derechos de los documentos originales, los cuales se citaron apropiadamente.

La información empleada para la realización de este reporte proviene de cientos de documentos, entre publicaciones científicas e informes institucionales disponibles para el país. Esta literatura consultada abarcó publicaciones realizadas hasta el mes de noviembre del año 2018.

La intencionalidad de este reporte es presentar un análisis imparcial de la información y opciones disponibles para Guatemala respecto al cambio climático. Por tanto, los autores no presentan opiniones directas respecto a los temas tratados.

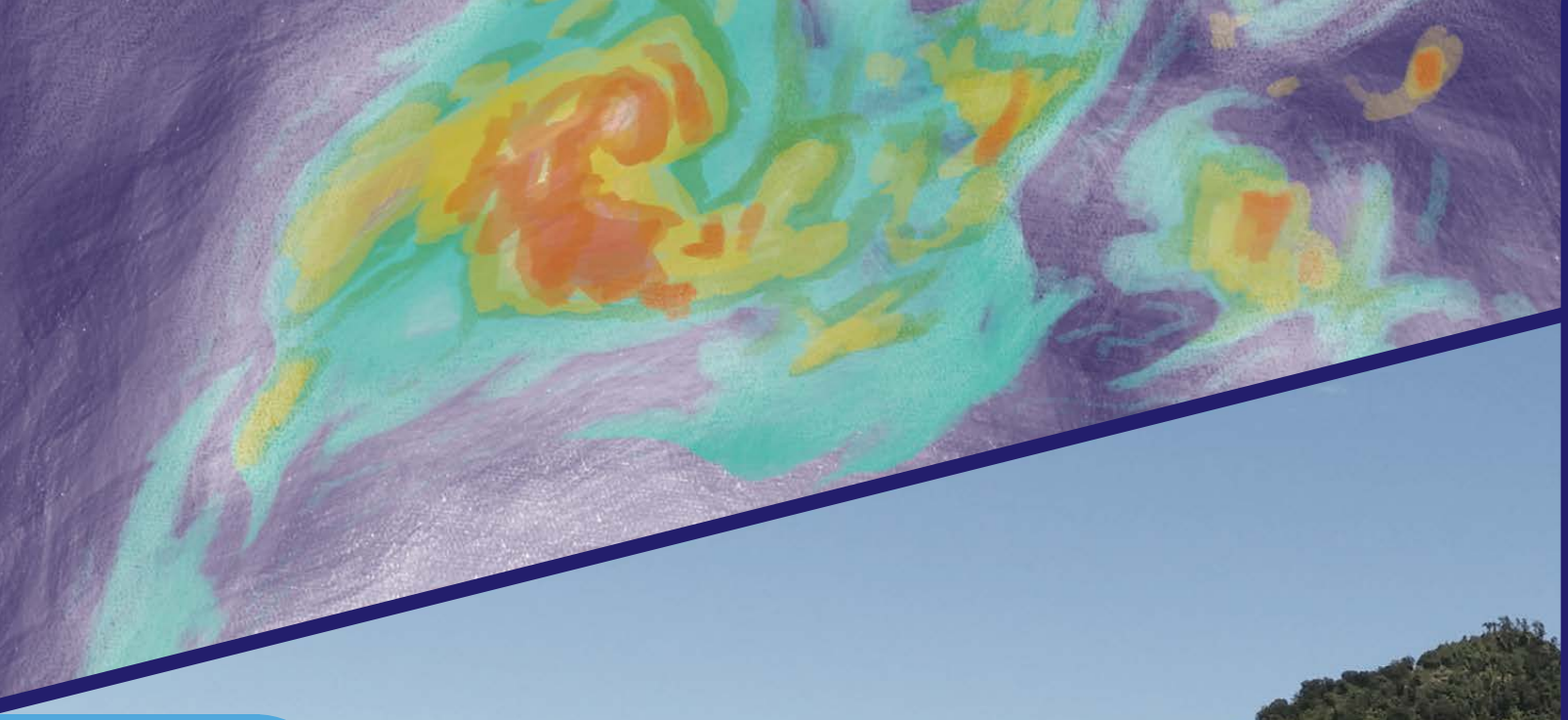
En todo el reporte se respetó la ortografía de la lengua española conforme a las disposiciones de la Real Academia Española (RAE). En ese sentido, las palabras que han sido adaptadas al español, como los nombres de los pueblos mayas, se escribieron de acuerdo con las disposiciones ortográficas de la RAE. Sin embargo, las palabras que mantienen su forma original, especialmente las procedentes de los idiomas mayas, quedaron escritas según lo expresado por los autores acerca del sentido cosmogónico y reivindicativo del lenguaje en su idioma materno.

Para evitar la sobrecarga gráfica que supondría emplear las grafías o/a en español para señalar la existencia de los géneros masculino y femenino, se ha optado por utilizar el masculino genérico clásico, entendiendo que todas las menciones representan siempre a mujeres y hombres, sin ninguna intención discriminatoria.

Por último, la dirección de correo electrónico reportecc@uvg.edu.gt estará disponible para la comunicación de cualquier error que sea identificado en este documento. Su contribución será valiosa y apreciada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Secretaría de Asuntos Agrarios de la Presidencia de la República. (2014). Política agraria. Guatemala: Gobierno de Guatemala. Recuperado de http://portal.saa.gob.gt



CONTENIDO ACADÉMICO

El Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático (SGCCC) fue creado en el 2014 para apoyar la coordinación interinstitucional e integración de aspectos científicos entre instituciones académicas y de gobierno que desarrollan investigación sobre cambio climático. El sistema tiene la finalidad de revisar y generar información científica para trasladarla a los tomadores de decisiones en lo que respecta a los componentes de ciencia del clima, vulnerabilidad y adaptación, y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Siguiendo este objetivo, el SGCCC inició la tarea de escribir el «Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala» en el 2017. Este primer reporte fue creado gracias al aporte de autores de reconocida experiencia en la temática de cambio climático, con el apoyo de sus respectivas instituciones de trabajo.

El principal objetivo de este reporte es evaluar la información sobre cambio climático en Guatemala como insumo para fortalecer la ciencia, las políticas públicas y la formulación de planes de acción en el territorio para enfrentar esta problemática global.

Con el apoyo de :

ISBN: 978-9929-8186-5-1