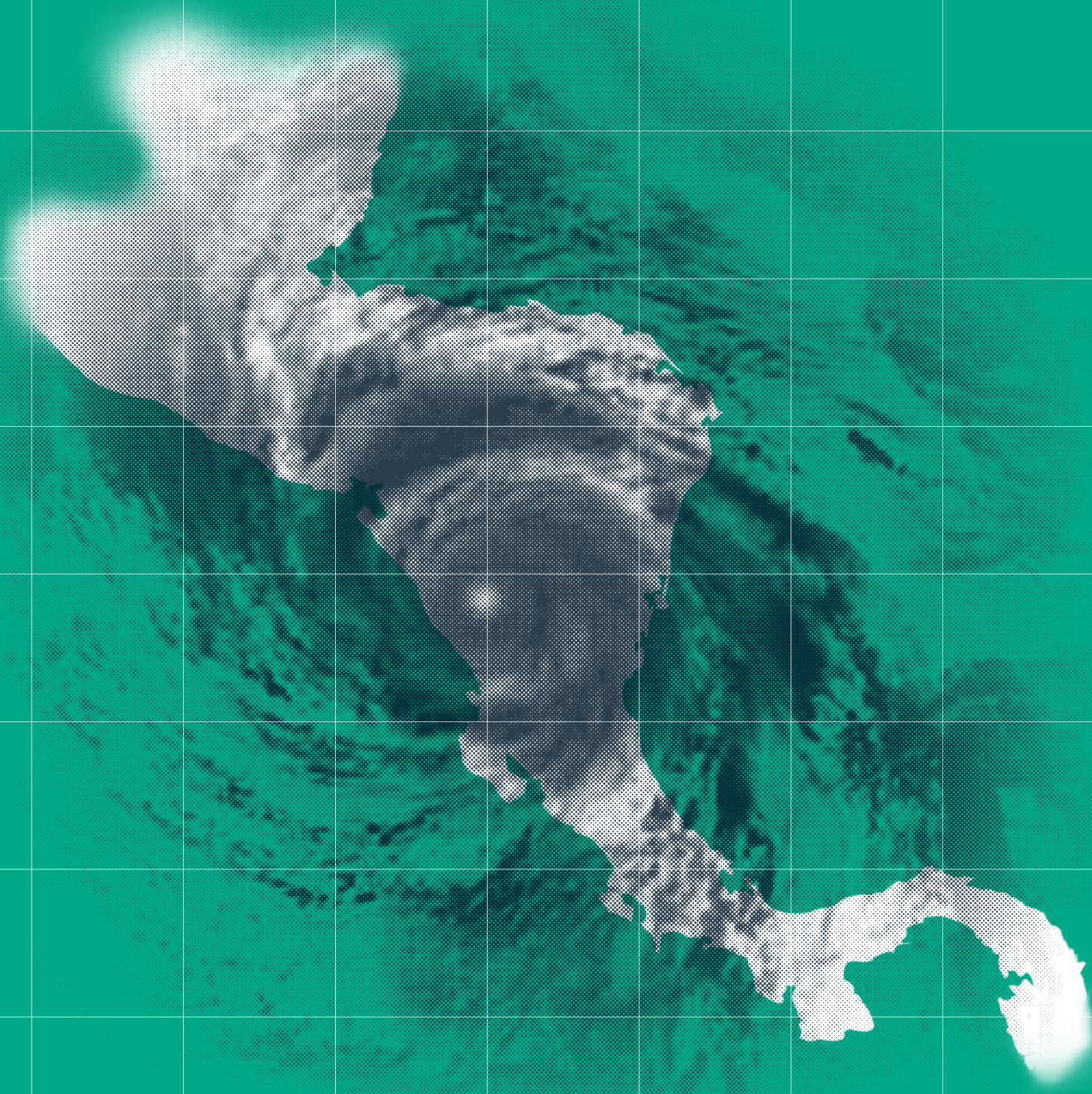


La economía del cambio climático en Centroamérica

Síntesis 2012



La economía del cambio climático en Centroamérica: **Síntesis**
2012

Alicia Bárcena
Secretaria Ejecutiva
Antonio Prado
Secretario Ejecutivo Adjunto
Hugo E. Beteta
Director
Sede Subregional de la CEPAL en México
Joseluis Samaniego
Director
División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos
y Punto focal de cambio climático de la CEPAL
Luis Miguel Galindo
Jefe de la Unidad de Cambio Climático
División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos
Julie Lennox
Punto focal de cambio climático y Jefe de la Unidad de Desarrollo Agrícola
Sede Subregional de la CEPAL en México

Esta publicación fue realizada en el marco del Convenio entre el Programa de asistencia del Ministerio para el Desarrollo Internacional del Gobierno Británico (UKAID) y la Sede Subregional en México de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y del Convenio entre la Agencia de Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca (DANIDA) y la CEPAL dentro de la iniciativa “La economía del cambio climático en Centroamérica”.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la CEPAL y de las instituciones socias del proyecto.

Los límites y los nombres que figuran en los mapas de este documento no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

El término “dólares” se refiere a la moneda de Estados Unidos de América.

LC/MEX/L.1076

Copyright © Naciones Unidas, octubre de 2012. Todos los derechos reservados.

Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

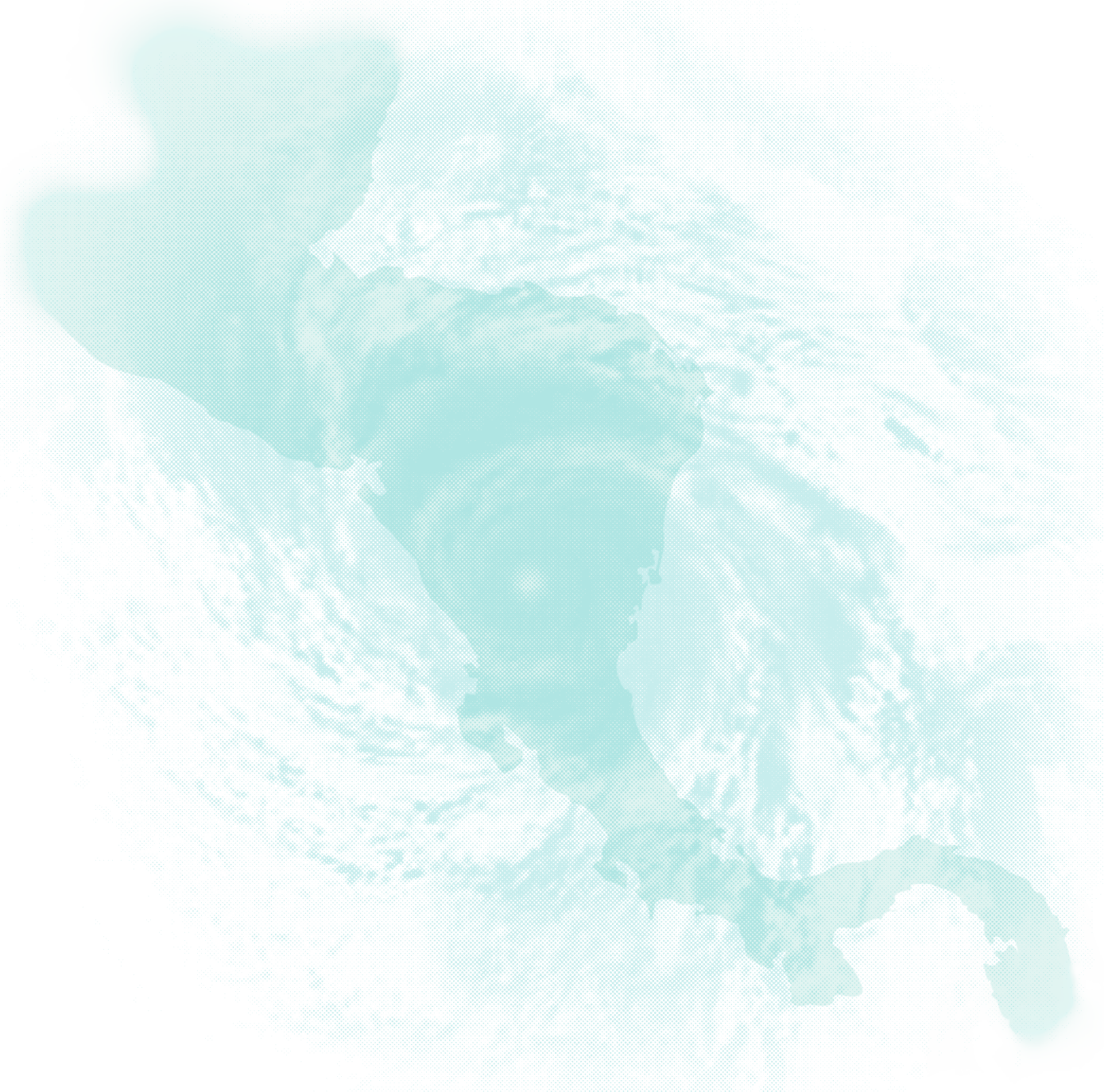
Diseño de portada: José Luis Lugo.

Este libro fue impreso en “Recicla100”, papel 100% reciclado.

Impresión: Producción Creativa.

La economía del cambio climático en Centroamérica

Síntesis 2012



COMITÉ DIRECTOR

Ministros/as de Ambiente:

Liselle Alamilla, Ministra del Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Belice (MNREI); Juana Argeñal, Ministra del Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente de Nicaragua (MARENA); René Castro Ministro del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica (MINAET); Lucía Chandeck, Administradora General de la Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá (ANAM); Rigoberto Cuellar, Secretario de Estado para la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente de Honduras (SERNA); Herman Rosa, Ministro del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN); y Roxana Sobenes, Ministra del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (MARN).
Autoridades anteriores: Javier Arias, Ligia Castro, Teófilo De la Torre, Roberto Dobles, Luis Alberto Ferraté, Carlos Guerrero, Jorge Rodríguez, Tomás Vaquero y Gaspar Vega.

Ministros/as de Hacienda o Finanzas:

Iván Acosta, Ministro del Ministerio de Hacienda y Crédito Público de Nicaragua (MHCP); Edgar Ayales, Ministro del Ministerio de Hacienda de Costa Rica (MH); Carlos E. Cáceres, Ministro del Ministerio de Hacienda de El Salvador (MH); Santiago Castillo, Ministro del Ministerio de Finanzas de Belice (MOF), Pavel Centeno, Ministro de Ministerio de Finanzas Públicas de Guatemala (MINFIN); Frank De Lima, Ministro del Ministerio de Economía y Finanzas de Panamá (MEF) y Wilfredo Cerrato, Secretario de Estado para la Secretaría de Finanzas de Honduras (SEFIN). Autoridades anteriores: Edgar Alfredo Balsells, Dean O. Barrow, William Chong Wong, Alfredo Rolando del Cid, Juan Alberto Fuentes, Alberto José Guevara, Héctor Guillermo Guillén, Fernando Herrero, Jenny Phillips, Rebeca Patricia Santos, Alberto Vallarino y Guillermo Zúñiga.

COMITÉ TÉCNICO REGIONAL (CTR)

Delegados/as de los Ministerios de Ambiente:

Sonia Baires, MARN El Salvador; Ana Rita Chacón, MINAET Costa Rica; Luis Fiallos, MARENA Nicaragua; Manuel López, SERNA Honduras; Carlos Mansilla, MARN Guatemala; Javier Morales, ANAM Panamá y Safira Vásquez, MNREI Belice.

Delegados/as de los Ministerios de Hacienda o Finanzas:

Rogelio Alvarado, MEF Panamá; Rina Castellanos, MHCP El Salvador; Juan Manuel de la Cruz, MINFIN Guatemala; Manuel Deshon, MHCP Nicaragua y Lourdes González, SEFIN Honduras.

Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD-SICA):

Nelson Trejo, Secretario Ejecutivo; Raúl Artiga, delegado en el CTR.

Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (COSEFIN): Martín O. Portillo, Secretario Ejecutivo y delegado en el CTR.

Secretaría de Integración Económica Centroamérica (SIECA): Ernesto Torres, Secretario General; Oscar Morales, delegado en el CTR. Autoridad anterior: Yolanda Mayora de Gavidia.

Delegados/as anteriores del CTR: Gherda Barreto, Guillermo Barquero, Juan Sebastián Blas, Cecilia Carranza, Edgar Chamorro, Cynthia Deville, Paul Flowers, Ramón Frutos, Aristides Hernández, Leonel Lee, Darysbeth Martínez, José Francisco Rodríguez, Roberto Rodríguez, Bernardo Torres.

Colaboradores del CTR: Luis Alejandro Alejos, William Alpizar, Roberto Araquistain, Jorge Cabrera, Beverly D. Castillo, Carlos Fuller, Carlos Gómez, René López, Leslie Marin, Roberto Motta, Carlos J. Pérez, José Francisco Rodríguez, Martha Ruiz, Bernardo Torres.

UNIDAD COORDINADORA (UC) EN LA SEDE SUBREGIONAL DE LA CEPAL EN MÉXICO (CEPAL MÉXICO)

Hugo E. Beteta, Director; Julie Lennox, coordinadora de la iniciativa, punto focal para cambio climático y jefe de la Unidad de desarrollo agrícola (UDA) de la CEPAL México; Jaime Olivares y Allan Beltrán, consultores y asistentes de investigación; Almudena Fernández, asistente de programación y Nohemí Vázquez, asistente administrativo de la iniciativa; Blanca Urra, asistente de programa y Diana Ramírez, asistente de investigación de la UDA; Ramón Cota, editor; María Eugenia Urzúa, diagramadora. Se agradece el apoyo de los equipos de dirección y administración de la oficina.

La División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL proporcionó asesoría, particularmente José Luis Samaniego, Director y Luis Miguel Galindo, Jefe de la Unidad de cambio climático.

UKAID/ GOBIERNO DEL REINO UNIDO

Julie Chappel, Embajador del Reino Unido en Guatemala, Honduras y El Salvador; Ian Hughes, anterior Embajador del Reino Unido en Guatemala, Honduras y El Salvador; Tom Kennedy, anterior Embajador del Reino Unido para Costa Rica y Nicaragua; enlaces con el proyecto.

Josceline Wheatley y Su Lin Garbett-Shiels de UKAID. Se agradece la asesoría de Lord Nicholas Stern, Chris Taylor y Dimitri Zenghelis del Equipo Stern.

DANIDA/ AGENCIA DE COOPERACIÓN PARA EL DESARROLLO DE DINAMARCA

Søren Vøhtz, Embajador; Thomas Nielsen, Asesor Regional y Bayardo Quintero, Oficial de Programas

EQUIPOS TÉCNICOS DE LA SERIE 2012

Estudios de clima y variabilidad climática: Julie Lennox, coordinadora de la iniciativa, Jaime Olivares y Allan Beltrán, consultores y asistentes de investigación. Se agradece el apoyo de los delegados de los Ministerios de Ambiente del CTR y los Servicios meteorológicos nacionales por su asesoría en este estudio.

Estudio de aridez: Allan Beltrán, consultor y asistente de investigación de la UC; César Morales, asesor del MM/CNULD; George Kerrigan, Matías Renard Reese, Rodrigo Morera, Zoraida Aranibar y Ricardo Estupiñán, consultores encargados de preparar información técnica para este estudio. Se agradece el apoyo del Mecanismo Mundial (MM) de la Convención de Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación.

Estudio de ecosistemas: Karina Caballero de la Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México y Pablo Imbach de CATIE, consultores principales, con el apoyo de Luis Molina de CATIE. Julie Lennox, coordinadora de la iniciativa, Jaime Olivares y Allan Beltrán, consultores y asistentes de investigación prepararon la publicación. Se agradece el apoyo de los delegados de los Ministerios de Ambiente del CTR por su asesoría en este estudio.

Estudio de hidroelectricidad: Hugo Ventura, jefe de la Unidad de Energía y Recursos Naturales de la CEPAL México; Fernando López, consultor principal quien preparó el estudio técnico; Pablo Imbach y Luis Molina, consultores. Julie Lennox, coordinadora de la iniciativa, y Allan Beltrán, consultor y asistente de investigación, prepararon la publicación. Se agradece el apoyo de Carlos Mansilla de MARN Guatemala, Juan Fernando Castro Martínez (Gerente General 2008-2011) y Jorge Stalling, Gerente, Empresa de Comercialización de Energía del Instituto Nacional de Electrificación (INDE) Guatemala; Eddy Hardie Sánchez Benett, Director General y Víctor Manuel Pérez González, Jefe Depto. de Investigación y Servicios Hidrológicos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología y Meteorología (INSIVUMEH); Sonia Baires, Directora, y Doris Calderón, Técnica, de la Dirección General de Cambio Climático y Asuntos Estratégicos; Daysi López, Directora del Observatorio Ambiental de MARN El Salvador; Nicolás Salume (Presidente 2005-2009) y Rodolfo Cáceres, Gerente de Producción de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) El Salvador; y Carmen Torres, Jefe del Departamento de Concesiones, Superintendencia de Energía y Telecomunicaciones de El Salvador. Se agradece el apoyo del Consejo de Electrificación de América Central (CEAC); los Directores de energía y hidrocarburos de América Central y Jorge Vásquez, Coordinador de la Unidad energética del SICA quienes proporcionaron orientaciones y sugerencias sobre el estudio.

Estudio de salud: Horacio Riojas, consultor principal del Instituto Nacional de Salud Pública de México con la colaboración de Magali Hurtado, Grea Moreno, Alheli Brito, Silvia Chuc, Luis Antonio Arias, José Texcalac, Mónica Resto y Aldo Castañeda. Se agradece la colaboración de la Secretaría Ejecutiva del Consejo de Ministros de Salud de Centroamérica y República Dominicana (COMISCA) así como a los miembros de la Comisión Técnica de Vigilancia de la Salud y Sistemas de Información (COTEVISI) quienes proporcionaron orientaciones y sugerencias sobre el estudio.

ÍNDICE

	Página
Abreviaturas y Acrónimos.....	8
Prólogo	10
Mensajes Claves	11
Introducción	25
1. Impactos potenciales en los patrones intraanuales y espaciales del clima	28
2. Evidencia de variabilidad climática	40
3. Impactos potenciales en aridez y meses secos	57
4. Impactos potenciales en la generación de hidroelectricidad.....	70
5. Impactos potenciales en los ecosistemas	80
6. Evidencia de las enfermedades sensibles al clima.....	93
Bibliografía seleccionada.....	108

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. El Salvador, Ilopango: Número de eventos que sobrepasan umbrales, 1971-2011	49
2. Honduras, Tegucigalpa: Número de eventos que sobrepasan umbrales, 1971-2011.....	51
3. Guatemala, INSIVUMEH: Número de eventos que sobrepasan umbrales, 1971-2011	54
4. Planta Chixoy: Resultados de simulaciones, escenario B2, 2020 a 2100	78
5. Planta Cerrón Grande: Resultados de simulaciones, escenario B2, 2020 a 2100.....	78
6. Planta Chixoy: Resultados de simulaciones, escenario A2, 2020 a 2100.....	79
7. Planta Cerrón Grande: Resultados de simulaciones, escenario A2, 2020 a 2100.....	79

ÍNDICE DE GRÁFICOS

1. Centroamérica: Temperatura media mensual, promedio 1980-2000 y escenario B2 con cortes a 2100	32
2. Centroamérica: Temperatura media mensual, promedio 1980-2000 y escenario A2 con cortes a 2100.....	33
3. Centroamérica: Precipitación mensual , promedio 1980-2000 y escenario B2 con cortes a 2100.....	38
4. Centroamérica: Precipitación mensual promedio 1980-2000 y escenario A2 con cortes a 2100	39
5. Centroamérica: Evolución temporal de los eventos extremos registrados, 1931 a 2011.....	43
6. Centroamérica: Número de tormentas tropicales y huracanes registrados en dos períodos, 1971-1990 y 1991-2011.....	43
7. Océano Atlántico Norte: Número de huracanes, tormentas tropicales y subtropicales, 1878-2010	44
8. Océano Atlántico: Número de tormentas según duración (moderada y corta), 1878-2006	45
9. Eventos hidrometeorológicos extremos que han impactado a El Salvador desde la década de los sesenta del siglo XX	45
10. El Salvador, Ilopango: Precipitación acumulada anual y desviación estándar, 1971–2010.....	47
11. El Salvador, Ilopango: Número de eventos que sobrepasan umbrales, 1971-2011	48
12. El Salvador, Ilopango: Precipitación acumulada 24 horas por década, 1970–2011	50
13. Honduras, Tegucigalpa: Número de eventos que sobrepasan umbrales, 1971-2011	51
14. Honduras, Tegucigalpa: Precipitación acumulada 24 horas por década, 1971–2011	52
15. Honduras, Tela: Precipitación acumulada 24 horas por década, 1971–2011	53
16. Guatemala, INSIVUMEH: Número de días lluviosos y su media, 1971–2010.....	54
17. Guatemala, INSIVUMEH: Número de eventos que sobrepasan umbrales, 1970-2011.....	55
18. Guatemala, INSIVUMEH: Precipitación acumulada 24 horas, 1971–2011	56
19. Centroamérica: Departamentos con mes seco por región geoclimática promedio 1950-2000 y escenarios B2 y A2, 2100	69
20. Planta Chixoy: Resultados de simulaciones, 2020 a 2100.....	74
21. Planta Cerrón Grande: Resultados de simulaciones, 2020 a 2100.....	74

22.	Centroamérica: Superficie de zonas de vida de Holdridge, 2005 y escenarios, con cortes a 2100	89
23.	Centroamérica: Estimación inicial del valor de las seis principales zonas de vida de Holdridge, 2005 y escenarios, con cortes a 2100	91
24.	Centroamérica: Estimación inicial del valor por zona de vida de Holdridge, 2005 y escenarios, con cortes a 2100	91
25.	Centroamérica: Pérdidas económicas causadas por los principales desastres en el sector salud	96

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

1.	Vías por las que el cambio climático afecta la salud humana	94
2.	Efectos del cambio climático en la seguridad alimentaria.....	95

ÍNDICE DE MAPAS

1.	Centroamérica: Temperatura mensual media anual por departamento, promedio 1950-2000 y escenario B2 con cortes a 2100.....	30
2.	Centroamérica: Temperatura mensual media anual por departamento, promedio 1950-2000 y escenario A2 con cortes a 2100	31
3.	Centroamérica: Precipitación mensual media anual por departamento, promedio 1950-2000 y escenario B2 con cortes a 2100.....	36
4.	Centroamérica: Precipitación mensual media anual por departamento, promedio 1950-2000 y escenario A2 con cortes a 2100	37
5.	Centroamérica: Áreas dentro del corredor seco.....	57
6.	Centroamérica: Índice de aridez por departamento, promedio 1950–2000.....	60
7.	Centroamérica: Índice de aridez por departamento, escenarios B2 y A2, cortes a 2100.....	62
8.	Centroamérica: Meses secos al año por departamento, promedio 1950–2000	65
9.	Centroamérica: Meses secos al año por departamento, escenarios A2 y B2, con cortes a 2100.....	66
10.	Centroamérica: Superficie de zonas de vida de Holdridge, 2005 y cambio de uso de tierra, con cortes a 2100	86
11.	Centroamérica: Superficie de zonas de vida de Holdridge, 2005 y cambio de uso de tierra y escenario B2, con cortes a 2100	87
12.	Centroamérica: Superficie de zonas de vida de Holdridge, 2005 con cambio de uso de tierra y escenario A2, con cortes a 2100.....	88

ÍNDICE DE RECUADROS

1.	Guatemala: Efectos del clima, su variabilidad y cambio climático sobre la salud humana.....	100
2.	Panamá: Sistema de alerta temprana del dengue por índice de infestación del mosquito <i>aedes aegypti</i>	102
3.	Costa Rica: Efectos del clima, su variabilidad y cambio climático sobre la salud humana	104

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ACE	Atribución de eventos relacionados con el clima
CAC	Consejo Agropecuario Centroamericano
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CAZALAC	Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe
CCSI	Índice de Severidad del Cambio Climático
CCAD	Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo
CEL	Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CEPREDENAC	Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
COMISCA	Consejo de Ministros de Salud de Centroamérica y República Dominicana
COP 15	15ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas en Copenhague 2009
COP 16	16ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas en Cancún 2010
COP 17	17ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas en Dúrbán 2011
COPECO	Comisión Permanente de Contingencias de Honduras
COSEFIN	Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana
CTR	Comité Técnico Regional de la iniciativa ECCCA
CUT	Cambio de uso de tierra
DANIDA	Agencia de Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca (por sus siglas en inglés)
DH	Dengue hemorrágico
ECCCA	Iniciativa La economía del cambio climático en Centroamérica
EDA's	Enfermedades diarreicas agudas
EHE's	Eventos hidrometeorológicos extremos
ENOS	El Niño-Oscilación Sur
ETV's	Enfermedades transmitidas por vector
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (por sus siglas en inglés)
FONAFIFO	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal de Costa Rica
GEI	Gases de efecto invernadero
GLOBIO3	Modelo Global de Biodiversidad (por sus siglas en inglés)
HURDAT	Registro de huracanes y tormentas
IBP	Índice de Biodiversidad Potencial
ICGES	Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de Salud de Panamá
IMN	Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica
INDE	Instituto Nacional de Electrificación de Guatemala
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
INSMET	Instituto de Meteorología de Cuba
INSP	Instituto Nacional de Salud Pública de México.
IOS	Índice de Oscilación del Sur
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés)

IRA's	Infecciones respiratorias agudas
LC	Leishmaniasis cutánea
LCA	Leishmaniasis cutánea americana
LCD	Leishmaniasis cutánea difusa
LMC	Leishmaniasis mucocutánea
LTA	Leishmaniasis tegumentaria americana
LV	Leishmaniasis visceral
MA	Malaria
MARENA	Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador
MDL	Mecanismo de desarrollo limpio
MINAET	Ministro del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica
MINSA	Ministerio de Salud de Costa Rica
MM-CNUDL	Mecanismo Mundial de la Convención de Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación
MSA	Abundancia Media de Especies
NCAR	Centro Nacional de Investigación Atmosférica
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
OMM	Organización Meteorológica Mundial
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PHI	Programa Hidrológico Internacional
PACT	Fondo para la conservación de las Áreas Protegidas, Belice (por sus siglas en inglés)
PIE	Período de incubación extrínseca
PINFOR	Programa de Incentivos Forestales de Guatemala
PINEP	Programa de Incentivos para Pequeños Poseedores de Tierras de Vocación Forestal o Agroforestal de Guatemala
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
TSM	Temperatura superficial del mar
SICA	Sistema de Integración Centroamericana
SIECA	Sistema de Integración Económica Centroamericana
SIG	Sistemas de información geográfica
UC	Unidad Coordinadora de la iniciativa ECCCA
UKAID	Programa de Asistencia del Ministerio para el Desarrollo Internacional del Gobierno Británico (por sus siglas en inglés)
UNEP	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (por sus siglas en inglés)
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (por sus siglas en inglés)
WAPPO	Programa de Simulación del Potencial de Recursos Hidroenergéticos (por sus siglas en inglés)
WCRP	Programa de Investigación climática (por sus siglas en inglés)
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical
ZVH	Zonas de Vida de Holdridge

PRÓLOGO

El cambio climático podría considerarse un fenómeno que solamente nos afectaría en un futuro lejano, pero los crecientes impactos de eventos extremos, como la depresión tropical 12E y la intensificación de las sequías, están evidenciando que se deben tomar medidas urgentes frente a estas perturbaciones del clima. La presión de los rezagos sociales y económicos existentes y las restricciones presupuestarias profundizadas por la recesión global pudieran ser un argumento para posponer las medidas necesarias. No obstante, la realidad nos exige que las medidas de reconstrucción se realicen de forma diferente que en el pasado a fin de reducir la vulnerabilidad y los costos de los próximos eventos extremos y enfrentar la amenaza del cambio climático.

Recomendamos impulsar **estrategias adaptativas incluyentes y sustentables**, que integren acciones de reducción de la pobreza y la vulnerabilidad con las de adaptación al cambio climático y transición a economías más sostenibles y bajas en carbono. Así, la actual recesión económica global y los riesgos de cambio climático se convertirían en la oportunidad de revisar a fondo la especialización productiva de las economías, incluyendo sus formas de inserción en los mercados regional y global, la dependencia creciente en consumo de hidrocarburos, con sus costos de importación, contaminación y pérdidas de salud pública, y la degradación de los bosques y otros ecosistemas que nos brindan múltiples productos y servicios.

Esta oportunidad requiere cambiar normas de infraestructura; proteger las cuencas hidrológicas y las barreras costeras naturales, como los manglares; administrar mejor nuestro uso del agua y cambiar el diseño y la ubicación de hogares, comunidades e infraestructura social, entre otras. Implica, asimismo, desarrollar una visión estratégica para maximizar los beneficios y minimizar los costos intersectoriales de las acciones de adaptación y mitigación, integrándolas con la agenda de desarrollo. En el fondo, esto conlleva una atención especial a la inclusión y la sostenibilidad en sus múltiples sentidos.

El cambio climático presenta una serie de desafíos multisectoriales, que tienen que enfrentarse mediante el aporte del sector público, el sector privado, la ciudadanía y sus organizaciones civiles, el sector académico, las instituciones de integración, y la comunidad internacional. Reiteramos nuestro compromiso con nuestros socios centroamericanos de seguir colaborando en este gran esfuerzo.

Hugo E. Beteta
Director de la Sede Subregional de la CEPAL en México

MENSAJES CLAVES

Centroamérica ya es una de las regiones más expuestas a las consecuencias del cambio climático. Al ser un istmo estrecho entre dos continentes y entre los océanos Pacífico y Atlántico, es una zona recurrentemente afectada por sequías, ciclones y el fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENOS). El cambio climático está magnificando sus vulnerabilidades socioeconómicas e incidirá cada vez más en su evolución económica, dado que los factores dependientes del clima son decisivos para las actividades productivas, como la agricultura y la generación hidroeléctrica. La región contiene valiosos acervos naturales y culturales que requieren ser preservados y valorados por su contribución al desarrollo de las generaciones actuales y futuras. Sus ecosistemas y la abundante biodiversidad proveen múltiples productos y servicios, incluyendo la polinización, control de plagas, regulación de la humedad, caudales y clima local, pero se están deteriorando por el patrón de desarrollo insostenible. La población de la región, relativamente joven, con gran diversidad cultural, étnica y de estilos de vida, es un tesoro que requiere mayor reconocimiento e inversión para revalorar y desarrollar sus capacidades de respuesta. Estos acervos podrían hacer importantes aportes a la respuesta al cambio climático, pero probablemente son los más vulnerables a sus efectos. En términos fiscales, este fenómeno constituye un pasivo público contingente que afectará las finanzas públicas en forma creciente. Ellas ya enfrentan presiones mayores debido a los impactos derivados del creciente número de eventos extremos como huracanes, lluvias intensas e inundaciones. Al mismo tiempo, se estima que Centroamérica produce una mínima parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) globales (menos de 0,3% de las emisiones sin cambio de uso de tierra y menos de 0,8% de las emisiones brutas totales¹).

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) define la vulnerabilidad como “el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación” (IPCC, 2004). La combinación de factores de vulnerabilidad con los de exposición genera un reto adicional a los esfuerzos de desarrollo. Sería recomendable contar con indicadores comúnmente aceptados para tomar decisiones sobre prioridades a nivel nacional e internacional. En este sentido, las variables tradicionalmente utilizadas para categorizar a los países menos desarrollados (*LDCs* por sus siglas en inglés) o los Objetivos de Desarrollo del Milenio podrían no reflejar adecuadamente la exposición y los riesgos del cambio climático, ni los esfuerzos nacionales de responder adecuadamente.

El índice de riesgo climático global de la organización *German Watch* hace un aporte a este esfuerzo calificando el impacto de los eventos extremos (tormentas, inundaciones, extremos de temperatura y olas de calor y frío) en un *ranking* de 183 países, en el cual el país con el número más bajo es el más vulnerable. Los resultados del período 1992-2011 indican que Honduras es el país con mayores impactos recibidos,

¹ Estimaciones basadas en los inventarios nacionales de 2000, cifras globales del IPCC (2007b) y la base de datos *CAIT* del *World Resources Institute*. Es importante notar la alta incertidumbre relacionada con las emisiones de cambio de uso de tierra.

Nicaragua el tercero, la República Dominicana el décimo, Guatemala el décimoprimer, El Salvador el décimoquinto, Belice el vigésimo sexto y Costa Rica el sexagésimo segundo. Considerando el aumento de eventos extremos en los últimos años, el mismo indicador para el período 2004-2011 arroja que los países de la región centroamericana a menudo resultan entre los diez primeros lugares de riesgo: República Dominicana segundo en 2004, Guatemala primero y Honduras séptimo en 2005, Nicaragua tercero en 2007, Belice noveno en 2008, El Salvador primero en 2009, Guatemala segundo y Honduras quinto en 2010, El Salvador cuarto y Guatemala noveno en el 2011 (Harmeling, 2012).

El desarrollo de indicadores apropiados para la toma de decisiones sobre cambio climático puede realizarse en el marco de mecanismos relacionados con la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático y de la agenda de trabajo establecida en la resolución “El futuro que queremos” de la Conferencia Río + 20, donde se crea un proceso para establecer objetivos de desarrollo sostenible. Considerando esta agenda global y las necesidades de establecer políticas públicas nacionales, se hace necesario seguir avanzando con estimaciones de impactos físicos, económicos y sociales del cambio climático, de la atribución parcial de su efecto en eventos extremos y procesos acumulativos, como mayor aridez, y análisis de beneficios y costos de diversas opciones de respuesta. Se recomienda contar con información desagregada a nivel subnacional para identificar poblaciones, sectores y regiones que ameritan ser atendidas de manera prioritaria en los esfuerzos de adaptación dentro de cada país y evitar su invisibilización en los promedios nacionales. El análisis realizado por la iniciativa La Economía del Cambio Climático en Centroamérica (ECCCA) en el último año y medio busca responder a la mayor conciencia en Centroamérica sobre estos retos, reflejada en declaraciones presidenciales y ministeriales.

En su Cuarto Reporte de 2007, el IPCC observa que la frecuencia de lluvias intensas ha aumentado en la mayoría de las masas de tierra, consistente con el calentamiento global y los aumentos de vapor del agua. Reporta que hay una mediana certidumbre de que las influencias antropogénicas han contribuido a la intensificación de la precipitación extrema a escala global y a la probabilidad de intensificación de las sequías en algunas zonas, incluyendo Centroamérica, debido a reducciones de la lluvia y/o aumentos de la evapotranspiración. Alerta que las sequías y los deslaves pueden ser resultados de un conjunto de eventos acumulados que individualmente no son tan extremos (IPCC, 2007b; IPCC, 2011).

Entre 1930 y 2011 se han registrado 291 eventos extremos mayores asociados a fenómenos climáticos en Centroamérica, según la base EMDAT. Se ha estimado un crecimiento anual del 7% de los desastres en las últimas tres décadas respecto de la década de los setenta. Los eventos más recurrentes son inundaciones, tormentas, deslizamientos y aluviones, seguidos por sequías, con 86% y 9% de los eventos totales registrados, respectivamente. Además, ha habido múltiples eventos de menor escala cuyos efectos acumulativos no se han evaluado.

Respecto a la distribución espacial de los ciclones tropicales, se observa un posible cambio en las últimas décadas. Anteriormente, los territorios más expuestos abarcaban casi la totalidad de la costa del Atlántico, la totalidad del territorio de Belice, una gran parte de Honduras y Nicaragua y la parte norte de Costa Rica. No obstante, los huracanes del Caribe tienden a desplazar la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) hacia el norte de Centroamérica, lo cual provoca “temporales” (varios días de lluvias intensas o alta acumulación), inundaciones y deslizamientos en zonas más amplias que las afectadas directamente por los huracanes. Tal fue el efecto adicional del Huracán Mitch. En las últimas décadas también se han experimentado tormentas y huracanes entrantes por el

océano Pacífico, modificando su trayectoria tradicional en la cual entraban a tierra firme más hacia el norte.

Depresiones y tormentas que no llegan a ser huracanes son ahora más intensas, como la depresión tropical 12E originada en el Pacífico, que provocó graves impactos en El Salvador y regiones de Guatemala, Honduras y Nicaragua. Al respecto es interesante hacer notar que la tendencia de eventos de corta duración (menos de dos días) procedentes del océano Atlántico ha aumentado progresivamente, sobre todo desde 1960. Considerando la mayor frecuencia de lluvias intensas en algunas zonas de la región, sería recomendable analizar su posible relación con el cambio climático. La frecuencia de las tormentas de duración moderada también ha aumentado a partir de 1980, pero históricamente ha fluctuado en un ciclo de aproximadamente tres décadas. La relación entre frecuencia de estos eventos y cambio climático podrá identificarse cuando se aclare si el patrón modifica su oscilación histórica en las próximas décadas.

Respecto a la relación entre intensidad de eventos y cambio climático, la evidencia es más sólida. Se estima que los océanos absorbieron alrededor de 20 veces más calor que la atmósfera durante el último medio siglo, provocando temperaturas más altas en aguas superficiales y profundas, factores que contribuyen a la mayor intensidad de los ciclones tropicales. Esta hipótesis se sustenta en investigaciones que identifican una relación positiva entre ambos fenómenos. Las temperaturas superficiales del océano Pacífico y el mar Caribe, cuyas aguas influyen en el clima de Centroamérica, han aumentado durante los últimos cien años: la serie histórica indica que la zona del océano Pacífico asociada con el ENOS (20 N – 20 S y 90W - 120W) ha sufrido una alza de temperatura en este siglo y, en el caso del Mar Caribe, hay evidencia de una aceleración del calentamiento desde la mitad de los años noventa (Jury, 2011). Una revisión de la literatura internacional sugiere que la intensidad de los huracanes pudiera aumentar entre un 5% y un 10% durante este siglo (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID, DANIDA, 2011a).

Otra línea de análisis se basa en las leyes termodinámicas, las cuales sugieren que la elevación de la temperatura generaría mayores niveles de evaporación, evapotranspiración y vapor de agua en la atmósfera y una aceleración o desestabilización del ciclo hidrológico. Stott, del Centro Hadley, ha indicado que por cada aumento de 1 °C de temperatura se estima un aumento del 7% promedio global de la humedad de la atmósfera, lo cual ocasionaría que la precipitación se traduzca en eventos de mayor intensidad (Carey, 2011). Las climatologías históricas indican que Centroamérica ya ha sufrido una alza de temperatura promedio de aproximadamente 0,5 °C en los últimos 50 años, la cual podría aumentar durante este siglo un promedio de 2,5 °C respecto al promedio del período 1980-2000 en el escenario menos pesimista (B2). En el escenario más pesimista (A2), que supone una continuación de la tendencia actual de emisiones crecientes, la temperatura regional podría aumentar 4,2 °C en promedio (CEPAL, CCAD/SICA, DFID y DANIDA, 2011a). Igualmente, la temperatura de la superficie del mar puede ser un factor de transmisión del cambio climático hacia eventos de mayor intensidad de precipitación.

Los expertos internacionales consideran que analizar el papel del cambio climático en los eventos hidrometeorológicos es muy complejo y presenta mayor incertidumbre. El IPCC sugiere que se debe considerar tanto cambios en la media como en la varianza y, la forma de las distribuciones de probabilidad de volúmenes de lluvia o todos estos factores juntos (IPCC, 2011). En Centroamérica se ha iniciado un esfuerzo de análisis de la variabilidad de la precipitación, utilizando los registros diarios de lluvia acumulada de las principales estaciones meteorológicas en las últimas cuatro décadas. Se han analizado los acumulados diarios de precipitación, el acumulado anual con

referencia a las etapas del ENOS, el número de días lluviosos, los eventos de precipitación extrema y acumulación de lluvia en tormentas de corta, mediana y larga duración. Actualmente se cuenta con los análisis de estaciones seleccionadas de El Salvador, Honduras y Guatemala. Aunque falta completar el análisis para los demás países, hay evidencia en algunas estaciones de mayor variabilidad y mayor frecuencia de lluvia intensa, especialmente en zonas del Pacífico.

La posible trayectoria futura de los niveles de precipitación es más incierta. En el escenario menos pesimista (B2), la precipitación disminuiría 3% en Panamá, 7% en Guatemala, entre 10% y 13% en Costa Rica, Belice, El Salvador y Honduras, y 17% en Nicaragua, con un promedio regional de 11%. El escenario más pesimista (A2) sugiere una disminución de la precipitación de 18% en Panamá, 35% en Nicaragua y entre 27% y 32% en Costa Rica, Belice, El Salvador, Guatemala y Honduras, con un promedio regional de 28%. No obstante, aún con una reducción menor de la precipitación bajo el escenario B2 habría un efecto del alza de la temperatura en la evapotranspiración, lo que redundaría en menor disponibilidad de agua, especialmente en la segunda parte del siglo, afectando los ecosistemas, la agricultura y la generación de hidroelectricidad. Con el escenario más pesimista (A2), el efecto multiplicador sería mayor. El estudio de aridez y meses secos encuentra que los niveles de temperatura y precipitación del período 1950 a 2000 generan un índice de aridez de 1,6 para Centroamérica, con variación entre la región geoclimática del Altiplano Occidental guatemalteco con mayor humedad (cuyo índice de aridez es de 1,96) y los departamentos más áridos (en el rango del índice de 0,91 a 1,25) del corredor seco de Centroamérica. Se estima que la región podría experimentar condiciones asociadas a un índice de aridez de 1,4 en el escenario menos pesimista (B2) y de 1,2 en el escenario más pesimista (A2), con prevalencia de condiciones de aridez similares a las de las zonas más áridas del arco seco en el período histórico en este último caso.

Centroamérica es una región privilegiada en disponibilidad de agua, pero su distribución entre los países, las vertientes de los océanos Pacífico y Atlántico y la población es muy desigual, con grandes variaciones intra e interanuales. Esta situación, relacionada con la precipitación, genera una alternancia entre períodos de sequía severa e inundaciones. En un escenario que toma en cuenta el aumento de la población y supone ninguna medida adicional de ahorro, la demanda de agua podría crecer casi 300% al corte de 2050 y en más de 1600% a 2100, aun sin cambio climático; lo cual equivaldría a una intensidad de uso de agua del 36%. Con el cambio climático este indicador podría llegar a 140% con B2 y más de 370% con A2 si no se toman medidas de adaptación y ahorro. Estos niveles serían muy superiores al 20%, internacionalmente aceptado como umbral a una situación de estrés hídrico. En el escenario A2 sugieren condiciones similares a lo que sucede en la actualidad en Egipto y algunos países de la península arábiga.

La disponibilidad de agua está asociada al patrón intranual y a las diferencias geográficas de precipitación. Durante el período 1950 a 2000, en el océano Pacífico había una época seca y otra lluviosa, presentando un primer nivel máximo en junio, con una disminución en julio y agosto (canícula o veranillo) y otro máximo en septiembre y octubre, normalmente mayor que el primero. En contraste, algunos departamentos del Atlántico no tenían meses sin lluvia. Aún así, la precipitación aumentaba a partir de abril, con diferentes patrones intermedios, hasta que disminuía en los últimos dos meses del año. Se estima que con B2 la temporada de lluvia podría anticiparse con mayor precipitación en el período inicial. Se estima que la precipitación disminuiría después de la canícula, especialmente durante la segunda mitad del siglo, perdiendo la característica bimodal en algunos países. Con A2 se estima que en las próximas décadas el patrón bimodal de precipitación podría exacerbarse, con aumentos de ambos períodos de altas lluvias y disminución durante la

canícula. Posteriormente, las lluvias del primer período se reducirían gradualmente, dejando un máximo anual único entre octubre y noviembre. Las excepciones serían Costa Rica y Panamá, que podrían experimentar un aumento de precipitación al inicio de la temporada durante las próximas décadas y posteriormente una reducción hacia un nivel cercano al histórico, resultando un patrón relativamente estable de junio a noviembre.

Estos escenarios de cambios potenciales en la temperatura, la precipitación anual y los patrones intraanuales sugieren mayores riesgos e incertidumbre para actividades productivas como la hidroelectricidad. El efecto combinado del alza de la temperatura y los cambios de la precipitación afectan la evapotranspiración en las cuencas, y por ende, su caudal, así como la evaporación en los embalses hidroeléctricos. En el estudio piloto de las plantas Chixoy de Guatemala y Cerrón Grande de El Salvador, esta cadena de efectos da como resultado, en el escenario más pesimista (A2), reducciones de la generación de electricidad superiores al 20% en las dos plantas para el corte 2020 respecto de la generación promedio de los períodos de referencia (1979 a 2008 para Chixoy y 1984 a 2009 para Cerrón Grande). Al corte 2050, las reducciones serían superiores al 40% en ambas hidroeléctricas y en más de 80% para Chixoy y 70% para Cerrón Grande a finales del siglo. En el escenario menos pesimista (B2) se espera un incremento de entre 4% y 6% en ambas plantas para el corte 2020 respecto del período histórico. A partir de 2020, las estimaciones se vuelven negativas hasta llegar a una disminución del 26% en Chixoy y del 17% en Cerrón Grande a 2100. Así, se recomienda hacer un análisis más a detalle de posibles cambios en las próximas dos décadas y revisar los modelos de operación de sus embalses. En ambas presas, el período de llenado dura cinco meses actualmente, de junio a octubre. Los modelos de operación podrán ser modificados para adaptarse a mayor variabilidad de lluvias a corto plazo, y a cambios potenciales en el patrón intraanual de lluvia y volúmenes acumulados anualmente, especialmente en el escenario más pesimista (A2).

Otro sector sensible al cambio climático es el agropecuario, que representa el 18% del PIB regional total, incluyendo la agroindustria. Según las estimaciones iniciales a nivel regional, la producción de maíz tendería a crecer a corto plazo, con rendimientos ligeramente mayores a dos toneladas por hectárea, pero luego decrecería, hasta llegar posiblemente a 1,4 toneladas por hectárea en el escenario más pesimista (A2) cerca de 2100 sino se toman medidas de adaptación. El rendimiento promedio del frijol podría reducirse de más de 0,7 a menos de 0,1 toneladas por hectárea. La producción de arroz también tendería a caer, del promedio histórico de 3,5 toneladas por hectárea a entre 2 y 1 toneladas por hectárea hacia finales del siglo. Más allá de estas estimaciones iniciales está el hecho de que el maíz, el frijol y el arroz son fundamentales en la provisión de calorías y proteínas de grandes sectores de la población centroamericana. Por ejemplo, el frijol representa menos del 4% del PIB agropecuario pero, combinado con maíz o arroz, tiene una invaluable contribución nutritiva al consumo de proteínas y hierro de gran parte de la población. Según el país y el tipo de grano, la producción de autoconsumo de pequeños agricultores de bajos ingresos es muy importante. El cambio climático tendría un impacto significativo en la seguridad alimentaria de los productores rurales al reducir la producción de alimentos y el acceso directo a ellos, además de aumentar los precios y/o la escasez para los consumidores, según las posibilidades de importaciones compensatorias. Así pues, las implicaciones para la seguridad alimentaria y la pobreza son serias y habrá que ampliar el análisis al respecto.

Centroamérica contiene el 7% de la biodiversidad del planeta debido a su gran variedad geológica, geográfica, climática y biótica. En el escenario de cambio de uso de tierra (CUT) tendencial

sin cambio climático, el Índice de Biodiversidad Potencial (IBP) se reduciría aproximadamente 13% durante este siglo, sobre todo en el período comprendido al corte 2050. Con cambio climático, el IBP disminuiría 33% y 58% a 2100 en los escenarios B2 y A2, respectivamente. Los países más afectados serían Guatemala, Nicaragua, El Salvador y Honduras con reducciones entre 75% y 70% del IBP en el escenario A2. Para complementar este análisis de biodiversidad se ha realizado un estudio sobre los bosques de Centroamérica, utilizando la clasificación de zonas de vida Holdridge (ZVH). Según este enfoque, la superficie de cobertura natural disminuiría bajo el escenario con CUT pero sin cambio climático aproximadamente de 28,5 millones de hectáreas a 16,3 en el corte 2050 y a 16,9 millones de hectáreas a 2100. No obstante, la proporción de las seis ZVH predominantes en los bosques de Centroamérica no cambiaría significativamente. En el escenario CUT y B2 se estima que el bosque húmedo tropical predominaría más que en la actualidad al aumentar su proporción del total de 44% en 2005 a poco más de 70% a 2100. En contraste, en el escenario CUT y A2 el mayor aumento de superficie sería el del bosque seco tropical, de 11% a 39% del total. Estas dos ZVH representarían casi el 84% de la superficie natural total en este escenario. El resto de las zonas de vida húmedas sufriría reducciones significativas.

Así, ambos escenarios muestran patrones diferenciados de ZVH en el tiempo, uno hacia zonas más secas (en A2) y otro hacia zonas más húmedas (en B2). En ambos escenarios se estima un aumento de las zonas húmedas alrededor del corte 2020 y una reducción de la diversidad de zonas de vida con el paso de las décadas. Se prevén variaciones entre países: el bosque húmedo tropical de Belice representaría 90% del total en 2100 con B2, pero con A2 44% podría ser bosque seco tropical. En cambio, Costa Rica experimentaría patrones más homogéneos en los tres escenarios y mantendría una mayor diversidad de ZVH. Este estudio evalúa las condiciones de temperatura y precipitación relacionadas con las distintas ZVH, pero queda por analizar si el conjunto de formas de vida en las ZVH realmente podría adaptarse considerando la velocidad de los cambios previstos en precipitación y temperatura sumada a las presiones de CUT. Estos resultados confirman que reducir la deforestación y avanzar en la protección y la recuperación de ecosistemas naturales es un reto de desarrollo en sí mismo, y sugieren que el cambio climático, especialmente en el escenario más pesimista, traería mayores pérdidas de bosques húmedos y de sus servicios ecosistémicos.

De los aproximadamente 41 millones de habitantes de Centroamérica, dos terceras partes habitan en asentamientos que combinan pobreza con condiciones insalubres y servicios de saneamiento básico y de salud deficientes (FAO-EITEA, 2008). Estas carencias hacen vulnerable a la población al cambio climático ya que algunas enfermedades asociadas a la pobreza, como malaria y dengue, también están asociadas a los cambios del clima (Hotez y otros, 2008). Además, la población enfrenta los efectos directos e indirectos de los eventos extremos en la salud, incluyendo importantes efectos secundarios ocasionados por inundaciones, destrucción de cultivos y reubicación de los afectados en espacios hacinados e insalubres (Noji y Toole, 1997). Centroamérica posee un mosaico de nichos ecológicos favorables a la transmisión de enfermedades asociadas a los cambios de clima por su variada topografía y por estar estrechamente limitado por dos océanos.

Considerando este reto, los Ministerios de Salud y el Consejo de Ministros de Salud de Centroamérica y la República Dominicana (COMISCA) acordaron en 2012 la iniciativa “Salud y cambio climático” para generar mayor información sobre el impacto potencial del cambio climático en las enfermedades sensibles al clima. En este esfuerzo colaboran la CEPAL, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y varias instituciones expertas, como el Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de Salud (ICGES) de Panamá, el Instituto de Meteorología (INSMET) de Cuba y el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) de México. En el marco de esta iniciativa se ha

analizado la relación del clima con la incidencia de las principales enfermedades de Centroamérica, incluyendo dengue, malaria, enfermedades diarreicas agudas, infecciones respiratorias agudas, enfermedad de Chagas, leishmaniasis y leptospirosis. Se han revisado análisis que correlacionan la incidencia de estas enfermedades con tendencias o con eventos de temperatura - precipitación, contaminación del aire. El estudio identifica valiosos esfuerzos de los países de la región para estimar la variabilidad climática y su influencia en la salud. Algunos de ellos incorporan las variables climáticas para explicar la epidemiología de determinadas enfermedades, y otros las estratifican según las épocas del año (frío-calor, seco-lluvias) para explicar su estacionalidad. A pesar de los avances, queda pendiente una agenda estratégica de análisis para establecer la relación entre temperatura y precipitación con la incidencia de enfermedades y generar escenarios de cambio climático y su impacto en la salud humana en la región para proponer medidas de adaptación intersectoriales.

Los múltiples impactos directos e indirectos del cambio climático exacerbarán las diferentes formas y fuentes de vulnerabilidad de determinadas poblaciones. Su análisis requiere considerar de las múltiples dimensiones de procesos y experiencias de “pobreza”, como el enfoque de “capacidades y oportunidades” de Amartya Sen (1999). Lo anterior exige un análisis de la capacidad de las personas para adaptarse al cambio climático no sólo en función de la disponibilidad de recursos económicos, naturales, educativos y sanitarios, sino de su habilidad para aprovecharlos. El IPCC subraya que las causas de los problemas derivados del cambio climático y sus soluciones se relacionan con la equidad, pues los países que contribuyen menos a la emisión de GEI resultan ser los más vulnerables porque tienen menores capacidades de adaptación y, por tanto, son los que sufrirán los mayores impactos del fenómeno (IPCC, OMM y PNUMA, 2007). El Informe Stern (2007) afirma que “el cambio climático supone una dura amenaza para los países en vías de desarrollo y un obstáculo grande para la continua reducción de la pobreza en sus múltiples dimensiones.” Por tanto, se plantea la necesidad de integrar las estrategias de adaptación con las emprendidas para reducir la pobreza y la desigualdad (CEPAL, 2009; 2010a; IPCC, 2007a; PNUD, 2007; AfDB y otros, 2007).

Cerca de la mitad de la población de Centroamérica vive en pobreza y alrededor de una tercera parte en pobreza extrema, especialmente en las zonas rurales. Persisten altos niveles de desigualdad socioeconómica, de etnia y de género, que se manifiestan en varios indicadores, incluyendo el Índice de Gini, relativamente alto, 0,53 en 2010, en las tasas de mortalidad y morbilidad infantil y materna, en los niveles de desnutrición y de acceso a alimentos, agua potable, servicios de salud, educación, seguridad social, capital y crédito productivo. Una parte importante de la población en situación de pobreza, especialmente en las áreas rurales, depende en forma directa del ambiente para acceder a agua, alimentos, techo, medicinas y energía, entre otros. En algunos casos, la falta de capital y de medios de subsistencia provoca la sobreexplotación del ambiente por estas poblaciones. El patrón general de desarrollo y las debilidades de gestión del riesgo han creado un círculo vicioso de empobrecimiento humano y degradación ambiental, lo que se complicará aún más con el avance del cambio climático.

Otra parte de la población en situación de pobreza —como la de zonas urbanas marginales y/o la que depende de la economía informal— enfrentará con serias desventajas las inestabilidades económicas que el cambio climático podría provocar. Este segmento accede a la mayor parte de sus bienes y servicios por medio del mercado. Los estudios sectoriales sugieren que podría sufrir diversos impactos. La reducción e inestabilidad de la disponibilidad del agua y de los rendimientos agrícolas pueden afectar los mercados laborales, el suministro y el precio de los bienes básicos y el flujo migratorio hacia las zonas urbanas.

El reto de la inversión social se relaciona con el predominio del trabajo informal y la limitada cobertura de protección social en la mayoría de los países. Solo los que se emplean en el sector formal tienen acceso a esta cobertura, que incluye pensiones, seguro de desempleo y servicios de salud, entre otros, pero no en todos los casos. El reducido gasto social por habitante —relativamente más alto en Panamá y Costa Rica— limita la resiliencia y las capacidades de adaptación. En décadas recientes se han implementado programas de transferencias condicionadas a familias pobres en varios países para complementar el ingreso e incentivar el uso de servicios de salud y educación. Estos programas tienen la ventaja de concentrar su cobertura en los hogares pobres con población infantil, adolescente y joven, jefatura femenina y población inactiva y desempleada (CEPAL, 2012). “En algunos países facilitan el acceso a servicios sociales para la población con mayores carencias. Sin embargo, no debe perderse de vista que estos programas no reemplazan las funciones correspondientes a otros instrumentos y que su efectividad depende en buena medida de la presencia de sólidos sistemas universales de salud y educación” (Cecchini y Madriaga, 2011). El fortalecimiento de la oferta de estos servicios continúa siendo una necesidad prioritaria en la región y en el contexto actual, es recomendable integrar incentivos para la adaptación a eventos extremos y cambio climático.

La participación y la representación políticas son importantes. Aunque los países han adoptado sistemas democráticos electorales, aún falta camino por recorrer para que los sectores marginados, como las mujeres y las comunidades indígenas y afrodescendientes, logren una participación eficaz en espacios de consulta y toma de decisiones. Igualmente, se requerirá un análisis con enfoque de género y etnia para lograr una mayor precisión de las diferencias de vulnerabilidad y resiliencia con perspectiva temporal amplia, ya que el cambio climático puede empeorar el círculo vicioso de empobrecimiento intergeneracional.

En conclusión, se acumula evidencia de que los impactos del cambio climático en Centroamérica, en un escenario de emisiones crecientes e inacción global tipo A2, son significativos y crecientes, con cierto grado de heterogeneidad entre los países. Se confirmaría la paradoja de que los países desarrollados que más han contaminado y tienen mayores capacidades para adaptarse sufren menos impactos. En cambio, los países que menos han contribuido al problema tienen menos resiliencia y sufren los mayores impactos. También se confirma el planteamiento de que los costos de los impactos en un escenario de inacción global, particularmente de los grandes países emisores, serían más elevados que los de un escenario con un acuerdo internacional equitativo e incluyente que redujera significativamente las emisiones. Tendría que ser un acuerdo con responsabilidades compartidas pero diferenciadas, que facilite a los países más expuestos tomar medidas de adaptación y mitigación en un marco de desarrollo sostenible e incluyente.

Desde la perspectiva económica es más rentable actuar ahora que dejar el problema a las generaciones futuras, además de las consideraciones éticas de esta posición. Los resultados de la investigación demuestran que el valor presente del costo de los impactos del cambio climático resultará demasiado alto a la postre si no tomamos medidas ambiciosas e inmediatas. Se confirma también que el cambio climático es el mayor fracaso del mercado jamás visto por no internalizar el valor del clima como bien público global y no registrar adecuadamente sus impactos en la sociedad y en los servicios ambientales. Esto implica que, más allá de la valoración económica, se requiere tomar decisiones éticas respecto a la distribución de costos entre generaciones, valorando las necesidades de las generaciones futuras. Igual análisis se tendría que hacer respecto a los ecosistemas, los cuales nos prestan múltiples servicios ambientales que perderemos antes de que el mercado incentive su manejo adecuado. Por tratarse de escenarios futuros a largo plazo que integran diversas “capas” de

análisis con incertidumbres y dificultades metodológicas, los resultados deben interpretarse como tendencias y magnitudes relativas, no como cifras exactas.

El cambio climático podría considerarse un fenómeno que solamente nos afectaría en un futuro lejano, no atendible dadas las restricciones presupuestarias profundizadas por la actual recesión global y las urgencias sociales y económicas ya existentes. Pero los crecientes impactos de eventos extremos en la actualidad, como la depresión tropical 12E de 2011, evidencian que hay que tomar medidas urgentes. Además de la amenaza creciente de mayores impactos y costos en el futuro, la realidad exige que las actuales medidas de reconstrucción sean hechas en forma novedosa, con cambios en normas de infraestructura, mejor gestión del recurso hídrico, mayor protección de los bosques, las cuencas hidrológicas y las barreras costeras naturales, como los manglares, y cambios de diseño y ubicación de hogares, comunidades e infraestructura, entre muchas otras medidas. Esta inversión debería reducir la vulnerabilidad y los costos asociados a los próximos eventos extremos y generar mayor capacidad de enfrentar los impactos previstos del cambio climático.

Debe admitirse que habrá límites de adaptación, con pérdidas y daños no reparables, aún con financiamiento suficiente. Las sociedades centroamericanas necesitan evitar estrategias *ad hoc* de lógica inercial, las cuales podrían resolver urgencias pero profundizar los riesgos, resolver situaciones en un sector a costa de otro, o manejar de forma separada las medidas de adaptación de las de desarrollo sostenible, incluyendo la mitigación de GEI. Tal enfoque puede ser impráctico para países con recursos fiscales y de inversión limitados.

Habrán que enfrentar estos retos en un período en el que el modelo de autorregulación de los mercados demuestra sus limitaciones. Se requiere tomar decisiones para enfrentar la actual crisis global, considerando sus implicaciones de largo plazo. Como ha señalado Bárcena, se está viviendo un cambio de época, el cual demanda profundas transformaciones estructurales exigidas por el cambio climático y otras externalidades causadas por la industrialización y la economía basada en hidrocarburos, cambios que pueden equipararse en escala a la revolución industrial (CEPAL, 2010a). Otro elemento a considerar es el significativo aumento de la población antes de alcanzar su estabilización en la segunda mitad de este siglo, la transición demográfica y la migración de poblaciones entre países y del campo a la ciudad. El reto de lograr un patrón de desarrollo incluyente con mejor calidad de vida y oportunidades es mayor si consideramos nuestra responsabilidad por las generaciones futuras, es decir, la equidad intergeneracional en el contexto del cambio climático. Las próximas décadas se caracterizarán por la expansión de la sociedad del conocimiento. La globalización de las comunicaciones fomenta la desregulación, la autorregulación y un mayor flujo de información, lo que favorece a la democracia. Pero también ha contribuido a convertir al mercado en eje central de la definición de identidades. Enfrentar las consecuencias de la excesiva autorregulación del mercado y de la dependencia de los hidrocarburos requiere una mayor conciencia colectiva de los bienes públicos globales. Esto requerirá fortalecer y transformar los procesos y las estructuras de gobernabilidad global y nacional (CEPAL, 2010a; CEPAL 2012).

En este complejo contexto es más recomendable lograr acuerdos nacionales, regionales e internacionales para impulsar **estrategias adaptativas incluyentes y sustentables** que integren acciones de reducción de la pobreza y de la vulnerabilidad con las de adaptación al cambio climático y la transición a economías más sostenibles y bajas en carbono. Esto requiere una visión estratégica para maximizar los cobeneficios y minimizar los costos entre sectores y entre la adaptación y la mitigación, y todo ello con la agenda de desarrollo. En el fondo implica una atención especial a la inclusión y la sostenibilidad en sus múltiples dimensiones. Por ejemplo, avanzar en la protección y

restauración de bosques y en la eficiencia energética es parte de una agenda de desarrollo sostenible que, bien diseñada, podría generar cobeneficios en la adaptación de estos ecosistemas, en la reducción de emisiones y en el bienestar e inclusión de los sectores que viven en pobreza, incluyendo a los pueblos indígenas.

En este escenario, la recesión económica global actual y los riesgos del cambio climático serían convertidos en oportunidades para revisar a profundidad la especialización productiva de las economías. Esto incluiría formas de inserción en los mercados regional y global, vínculos entre patrones energéticos, sus externalidades negativas por contaminación y pérdidas en salud pública, y debilidades de la infraestructura rural y urbana. Igualmente, habrá que revertir la degradación de ecosistemas y pérdida de sus servicios. Las ventajas y desventajas de las diversas opciones pueden variar entre países y dependerán de acuerdos internacionales por establecerse. Debido a este contexto variable e incierto, la iniciativa ECCCA busca proporcionar un análisis amplio, no necesariamente vinculado a la posición de los países en particular.

Las políticas públicas de adaptación incluyente y sostenible podrían diseñarse a partir de sinergias intra e intersectoriales en grandes bloques de políticas, con objetivos sectoriales y territoriales explícitos. Los resultados de la iniciativa ECCCA sugieren la conveniencia de explorar ejes de opciones de políticas agrupados de la siguiente forma:

- Inclusión y adaptación de la población humana con políticas de reducción de la pobreza y desigualdad, incluyendo ejes de seguridad alimentaria, gestión integral de recursos hídricos, reducción de impactos de eventos extremos con ordenamiento territorial y participación ciudadana.
- Transición a economías sostenibles, bajas en carbono y eficientes en el uso de recursos naturales, introduciendo cambios estructurales y tecnológicos en torno a ejes de seguridad y eficiencia energética, gestión integral de recursos hídricos, reciclaje, reducción de la deforestación y de la contaminación.
- Protección y restauración de los ecosistemas naturales y paisajes rurales, incluyendo los bosques, para mejorar su adaptación y asegurar su provisión perdurable de servicios ambientales a los seres humanos, como eje clave de transición hacia economías más sostenibles y para la adaptación, incluyendo incentivos económicos y valoraciones no económicas, culturales e intergeneracionales.
- Medidas previsoras y proactivas de política fiscal y financiamiento como eje transversal, creando criterios resilientes al cambio climático para la inversión pública e incentivos correctos para la reducción de riesgos, la adaptación, y la transición hacia economías más sostenibles aprovechando financiamiento externo y recursos nacionales de forma eficiente y estableciendo mecanismos de aseguramiento.
- Aprovechamiento de las oportunidades estratégicas de integración centroamericana como gestión de recursos hídricos, seguridad alimentaria y energética, condiciones para el comercio y negociaciones internacionales.

Las sociedades centroamericanas necesitan convertirse en audaces gestoras del recurso hídrico, asegurando su uso sostenible y eficiente para beneficio de la población y la producción. En muchos sentidos, el indicador clave de la adaptación se relaciona con mayor eficiencia del uso de este recurso y una sabia distribución entre las múltiples demandas, lo cual es de suma importancia para la protección de los bosques y otros ecosistemas. La conservación de los bosques y restauración de

paisaje rurales es esencial para la gestión de las cuencas, la reducción de la erosión, los deslaves e inundaciones y la producción hidroeléctrica. Se requieren amplios esfuerzos para hacer más eficiente el uso del agua, reducir su contaminación y reciclarla en los sectores de demanda doméstica, agropecuaria, industrial y de servicios. Un reto complejo es la generación de una institucionalidad efectiva para el sector y su gestión entre países, dado que las cuencas transnacionales ocupan 40% del territorio centroamericano.

Blindar la seguridad alimentaria ante el cambio climático, particularmente los granos básicos, y transitar hacia una agricultura más sostenible e incluyente es un reto enorme e impostergable para proteger a la población pobre del campo y la ciudad. Con honrosas excepciones, la mayoría de los países han experimentado descapitalización del medio rural, y desmantelamiento de programas de titulación de tierras, extensión, reducción de pérdidas post cosecha, acceso a mercados y fortalecimiento de capacidades. Hace falta mucha mayor atención a la protección y fomento de variedades nativas y otras capacidades tecnológicas locales, autóctonas y nacionales, las cuales son fuentes, no suficientemente apreciadas, de resiliencia y adaptación al cambio climático.

La respuesta agrícola al cambio climático requerirá una estrecha coordinación con políticas para reducir la deforestación, proteger la biodiversidad y gestionar los recursos hídricos. Habrá que reconocer y considerar el potencial de expansión de experiencias en la región que han fortalecido el bienestar de poblaciones rurales e indígenas con procesos productivos más sostenibles, como la agroforestería y la combinación de actividades agrícolas con las de protección de ecosistemas naturales y pago por servicios ambientales. El gran acervo de agrobiodiversidad está tan desprotegido como los pequeños productores y pueblos indígenas que lo han desarrollado durante muchas generaciones. Esfuerzos para aumentar el acceso de las poblaciones rurales dispersas a fuentes de energía renovables como la solar, la eólica y presas hidroeléctricas de menor escala, también son claves. En general, el ámbito rural, con sus recursos naturales y productivos, será fundamental para el éxito de una respuesta al cambio climático.

Un elemento esencial de adaptación al cambio climático y transición a economías bajas en carbono es el cambio tecnológico, entendido tanto como acceso a tecnologías modernas apropiadas como rescate de conocimientos y tecnologías tradicionales locales, particularmente de los pueblos indígenas y comunidades campesinas. La región ha desarrollado una gran dependencia de fuentes energéticas importadas de origen fósil altamente contaminantes. El tránsito a una matriz energética de fuentes renovables locales mejoraría su seguridad energética, ahorraría divisas y reduciría los impactos negativos de los combustibles fósiles. Un adecuado manejo de desechos traería múltiples beneficios como reducción de la contaminación, aumento de materia prima para la producción, generación de energía por captura de metano en rellenos sanitarios y mejor drenaje de agua durante eventos hidrometeorológicos extremos. Existen oportunidades de mejorar la eficiencia energética y reducir la intensidad de las emisiones de GEI y otros contaminantes con nuevas normas y medidas para vehículos automotores y otra maquinaria industrial y doméstica con la ampliación del transporte público. La expansión de la generación hidroeléctrica, si bien diseñada con un enfoque de sostenibilidad e inclusión, podría dar a la población en pobreza mayor acceso a la electricidad y contribuir al desarrollo productivo sostenible y social de las poblaciones aledañas a los proyectos.

El sector energético de Centroamérica ha diseñado la Estrategia Energética Sustentable 2020 (CEPAL y SICA, 2007) la cual propone expandir las fuentes energéticas regionales renovables, incluyendo hidroeléctricas, eólicas, geotérmicas y de gas natural importado. Es la primera estrategia regional sectorial que considera las emisiones de GEI. Fue aprobada por los Ministros de Energía y

los Presidentes centroamericanos y tiene las siguientes metas: alcanzar al menos el 90% de cobertura eléctrica en cada país; reducir en 10% el consumo de leña para cocción mediante cocinas más eficientes en un millón de hogares rurales; reducir en 12% el uso de energía eléctrica en los sectores residencial, comercial, industrial y alumbrado público mediante sistemas de iluminación eficientes; reducir en 35% el uso de energía eléctrica residencial mediante la sustitución de refrigeradores obsoletos por unidades más eficientes en 2,7 millones de hogares; reducir en 10% el uso de energía eléctrica en el sector industrial con motores eficientes; llevar al menos al 12% el nivel de pérdidas de los sistemas eléctricos de los países; aumentar en 11% la participación regional de fuentes renovables de producción de electricidad, privilegiando la construcción de centrales hidroeléctricas; sustituir el 15% del consumo de derivados del petróleo con biocombustible en el transporte público y privado; reducir en 20% la emisión de GEI con respecto al escenario tendencial en el corte 2020, maximizando la aplicación de los certificados de emisiones reducidas (CEPAL y SICA, 2007).

Con mayor acceso a tecnología y financiamiento, la región podrá implementar esta estrategia. El sector ha mostrado capacidad de gestión coordinada y a largo plazo al desarrollar la red de interconexión eléctrica (SIEPAC). Actualmente se trabaja en la armonización de las normas de combustibles en el proceso de la Unión Aduanera y en la ejecución de la matriz de acciones para el desarrollo e integración del sector energético centroamericano.

La adaptación humana al cambio climático está claramente ligada a la adaptación de los ecosistemas de los cuales depende. Responder a este reto requerirá mayor valoración de los servicios ambientales, tomando medidas fuera del mercado para generar incentivos y marcos regulatorios adecuados. Al respecto es necesario considerar el principio de precaución y establecer un estándar mínimo, considerando la irreversibilidad de la pérdida biológica, el riesgo y la incertidumbre. Reducir la deforestación y degradación de los bosques y recuperar paisajes rurales traerá beneficios en múltiples aspectos de la agenda de desarrollo *per se*, aún sin considerar el cambio climático. Se recomienda aumentar y fortalecer el sistema de Áreas Naturales Protegidas (más de 550 en la región) y corredores biológicos para abarcar mayor escala bio-geográfica y dar mayor amplitud a la definición de zonas de protección y refugio climático. Estos esfuerzos pueden complementarse con programas de agricultura y aprovechamiento forestal sustentables y rescate de cultivos criollos y especies silvestres endémicas con resistencia a los efectos climáticos previstos. Otras medidas para facilitar la adaptación de los bosques y las poblaciones rurales incluyen programas para que las comunidades desarrollen su capacidad de conservación y recuperación de los ecosistemas con los que conviven. Esto incluye adoptar tecnologías apropiadas para medios de vida sostenibles, aprovechando al máximo los conocimientos tradicionales y diversificando sus fuentes de sustento; mejorar de los sistemas de gestión de los bosques, incluyendo el control de la deforestación, incendios forestales, forestación y reforestación; y establecer y promover de la regulación y certificación de productos orgánicos y ecoturismo.

El ordenamiento ambiental del territorio es fundamental para alcanzar un desarrollo sustentable y una distribución de la población, de sus actividades e infraestructura que evite mayores daños y pérdidas por eventos extremos y cambios climáticos acumulativos. Los ecosistemas naturales pueden reducir la vulnerabilidad de la población a eventos climáticos extremos y fungir como complementos o sustitutos de la inversión en infraestructura “gris”, que puede tener costos más elevados. Por ejemplo, los bosques y los manglares costeros proveen protección contra tormentas, inundaciones, huracanes y tsunamis.

Es recomendable ampliar y precisar los esquemas financieros y fiscales que incentiven las transiciones hacia mayor eficiencia energética e hídrica, así como el manejo sustentable de los bosques y el reconocimiento del valor económico de sus servicios ambientales, incluyendo los hidrológicos y de sumidero de carbono. La región tiene experiencias como el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) de Costa Rica, el Fondo para la Conservación de las Áreas Protegidas de Belice (PACT, por sus siglas en inglés), el Programa de Certificados de Incentivos Forestales de Panamá, el Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) y el Programa de Incentivos para Pequeños Poseedores de Tierras de Vocación Forestal o Agroforestal (PINEP), ambos de Guatemala. Podría considerarse la conveniencia de establecer planes voluntarios de reducción neta de la deforestación a escalas nacional y regional, financiándolos con programas y fondos nacionales e internacionales orientados a la adaptación, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) en una versión futura ampliada, otros mercados nacionales e internacionales de bonos de reducciones de emisiones y/o pagos por servicios ambientales; y establecer metas de conservación ecológica y aprovechamiento sostenible de los ecosistemas terrestres a escalas nacional y regional. Sería conveniente vincular estas metas de conservación con las de bienestar de la población, particularmente de la que convive con los ecosistemas, como el uso de estufas de leña eficientes, acceso a la electricidad y pago por servicios ambientales. Se hace necesario generar conciencia social sobre las funciones de los ecosistemas y su bienestar asociado.

Es urgente adoptar una política de sostenibilidad fiscal que toma en cuenta los impactos actuales de eventos extremos y los crecientes efectos del cambio climático y que genere un marco de incentivos para las transiciones propuestas. Estos fenómenos climáticos están afectando las finanzas públicas por diversas vías, como el aumento de las emergencias y la inestabilidad de la producción agrícola y de electricidad por fuentes hídricas. También pueden aumentar las demandas de ampliación y ajuste de los servicios sociales y la relocalización de poblaciones y actividades económicas. Las poblaciones afectadas demandarían compensación por pérdidas, lo que probablemente recaerá sobre el Estado considerando el bajo nivel de aseguramiento en la región. Esta lista no exhaustiva de las presiones del cambio climático sobre las finanzas públicas sugiere que el impacto económico debe ser visto como un pasivo contingente serio, que a largo plazo se tornará mucho menos “contingente”.

Como los mercados no puede solucionar estos problemas, se requiere una acción colectiva encabezada por el Estado, es decir, por el conjunto de instituciones públicas y espacios de toma de decisiones y acción de la sociedad. Es necesario adoptar medidas previsoras para reducir los efectos negativos de tal forma que la incidencia futura sea mínima, y crear mecanismos financieros y de aseguramiento, así como programas de estímulo fiscal para amortiguar el impacto en general y alinear los incentivos fiscales para transitar hacia una economía menos dañina al ambiente.

A pesar de los retos inmediatos de la crisis actual, los Ministerios de Finanzas o Hacienda de Centroamérica han empezado a prestar atención al cambio climático. La región tiene experiencia en acciones de canje de deuda por financiamiento de programas de cambio climático, etiquetado de líneas presupuestarias para identificar inversión en adaptación, y está elaborando propuestas de fondos nacionales de cambio climático, mercados internos de bonos de carbono, requerimientos de cambio climático en planes sectoriales como parte del ejercicio presupuestal, fondos de contingencia para desastres e inversión en adaptación de la infraestructura.

Es urgente hacer frente al desafío de los eventos extremos, la variabilidad y el cambio climáticos en forma proactiva. De otro modo la actual generación sufrirá mayores costos y deterioro por los eventos extremos y las generaciones futuras cargarán un costo muy elevado para adaptarse al cambio climático. El presente estudio demuestra los múltiples efectos de la variabilidad climática y los impactos potenciales del cambio climático en diversos sectores; señala que los costos de la inacción frente a los eventos extremos y el valor presente de los impactos del cambio climático son demasiado altos, si no tomamos medidas ambiciosas e inmediatas. Debido a que es una falla de mercado, el cambio climático no puede ser tratado como responsabilidad exclusiva de las instituciones ambientales, sino como problema económico central y transversal con serias implicaciones fiscales. El cambio climático presenta una serie de desafíos multisectoriales que deben enfrentarse con aportes de diversos actores, incluyendo el sector público, el sector privado, la ciudadanía y sus organizaciones civiles, el sector académico, las instituciones de integración y la comunidad internacional.

INTRODUCCIÓN

Aunque se estima que Centroamérica seguirá emitiendo niveles mínimos de gases de efecto invernadero (GEI), ya es una de las regiones más expuestas a sus consecuencias. Sus vulnerabilidades socioeconómicas históricas se exacerbaban por su ubicación geoclimática en un istmo estrecho entre dos continentes y entre los océanos Pacífico y Atlántico. La región es recurrentemente afectada por sequías, huracanes y el fenómeno El Niño-Oscilación Sur. El cambio climático está magnificando estas vulnerabilidades e incidirá cada vez más en la evolución económica de la región, dado que los factores dependientes del clima son decisivos para las actividades productivas, como la agricultura. En términos fiscales, el cambio climático constituye un pasivo público contingente que afectará las finanzas públicas en forma creciente; las cuales ya enfrenta mayores demandas por los impactos de un creciente número de eventos extremos.

La región contiene valiosos acervos que requieren ser preservados y valorados por su contribución al desarrollo de las generaciones actuales y futuras. Tales son sus ecosistemas y biodiversidad abundante, que proveen múltiples servicios. Estos ecosistemas se están deteriorando por el patrón de desarrollo insostenible y lo serán más por el cambio climático. La población de la región, relativamente joven, con gran diversidad cultural, étnica y de estilos de vida, es un tesoro que requiere mayor reconocimiento e inversión para revalorar y desarrollar sus capacidades de respuesta.

En su cumbre de mayo de 2008, los Presidentes del Sistema de Integración Centroamericana (SICA) acordaron un conjunto de mandatos para sus instituciones nacionales y regionales sobre la respuesta al cambio climático. A partir de entonces, la preocupación por los impactos de este fenómeno se ha mantenido en la agenda regional, y los Presidentes han ratificado y ampliado sus mandatos originales en las cumbres de junio 2010, noviembre 2011 y junio 2012. En este marco, los Ministros de Ambiente y Hacienda o Finanzas, sus instancias regionales, la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) y el Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (COSEFIN), la Secretaría de Integración Económica de Centroamérica (SIECA) y la Comisión Económica para América latina y el Caribe (CEPAL), han emprendido la iniciativa “La economía del cambio climático en Centroamérica”. Dicha iniciativa busca generar evidencia de la vulnerabilidad de la región al cambio climático, estimar impactos y costos potenciales en diferentes sectores, alertar a los tomadores de decisiones y actores clave de la región sobre la urgencia de enfrentar este reto y propiciar un diálogo sobre opciones de políticas y acciones nacionales y regionales. La iniciativa ha contado con financiamiento del Ministerio para el Desarrollo Internacional del Gobierno Británico (UKAID) y de la Agencia para la Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca (DANIDA) y se apoya en un mecanismo de gestión conjunta con los Ministerios de Ambiente y Hacienda o Finanzas.

El análisis considera el impacto potencial del cambio climático en Centroamérica en diversos escenarios de desarrollo y de emisiones, contra un escenario macroeconómico tendencial sin cambio climático. Se analiza impactos potenciales “de abajo hacia arriba” por sector y ámbito clave como

agricultura, recursos hídricos, eventos extremos y ecosistemas, los cuales son estimados en términos físicos, como rendimientos agrícolas y disponibilidad de agua, y en función del PIB actual. Se exploran los retos y opciones de adaptación y desarrollo de economías bajas en carbono por sector. Los escenarios futuros son estimados a 2100, con cortes los años 2020, 2030, 2050 y 2070. Para las opciones de mitigación se adopta un marco temporal hacia el año 2030 con cortes a 2010 y 2020 por la incertidumbre sobre cambios tecnológicos. Por tratarse de escenarios a largo plazo que integran diversas “capas” de análisis con incertidumbres y dificultades metodológicas, los resultados deben interpretarse como tendencias y magnitudes relativas, no como predicciones ni como magnitudes exactas.

Los dos escenarios de emisiones de GEI utilizados son del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). El escenario más pesimista (llamado A2) proyecta un aumento continuo de las emisiones globales de GEI, resultando en un mayor incremento de la temperatura y una disminución sustancial de la lluvia en la mayor parte de Centroamérica. Los supuestos básicos de este escenario son una población mundial creciente, donde los patrones de fertilidad humana de las regiones convergen lentamente, el desarrollo económico se enfoca a nivel regional, y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico evolucionan en forma lenta y fragmentada. Este escenario advierte altos riesgos para la región si la comunidad internacional no reduce la trayectoria actual de emisiones de GEI a nivel global.

El escenario menos pesimista (llamado B2) prevé una disminución menor de la lluvia en la mayor parte de la región y un incremento menor de la temperatura, suponiendo una trayectoria de emisiones de GEI menor que la del A2. Sus supuestos básicos son un modelo de desarrollo orientado a soluciones económicas, sociales y ambientales locales, un crecimiento de la población mundial menor que en A2 y un desarrollo económico moderado. La materialización de este escenario probablemente requerirá un acuerdo y acciones internacionales para reducir substancialmente las emisiones globales de GEI a corto plazo.

Los resultados a la fecha sugieren que los impactos del cambio climático en Centroamérica en el escenario más pesimista (A2) son significativos y crecientes con el tiempo. Se confirmaría la asimetría de que los países que menos han contribuido al problema sufren mayores impactos y tienen menos resiliencia. Los costos de los impactos en este escenario de inacción global, particularmente de los grandes países emisores, serían más elevados que los de una trayectoria de emisiones más baja (B2) y acuerdos que faciliten a los países más vulnerables, como los centroamericanos, implementar medidas de adaptación y mitigación en un marco de desarrollo sostenible e incluyente. Se evidencia que el cambio climático es la mayor falla del mercado jamás vista por no internalizar el valor del clima como bien público global y por no registrar adecuadamente los impactos sociales y los servicios ambientales. Además de una valoración económica de estas externalidades, se requiere tomar decisiones éticas respecto al valor que asignamos a las necesidades de futuras generaciones y a los ecosistemas que nos prestan múltiples servicios ambientales, los cuales perderemos antes de que el mercado nos dé las señales requeridas para su adecuado manejo. Debido a que es una falla de mercado, el cambio climático no puede ser tratado como responsabilidad exclusiva de las instituciones ambientales, sino también como un problema social y económico central y transversal con serias implicaciones fiscales.

El reto de adaptación exige redoblar esfuerzos para reducir la pobreza, la desigualdad y la vulnerabilidad socioeconómica y ambiental, y aumentar la capacidad adaptativa de las sociedades, poblaciones específicas y ecosistemas conexos. Las sociedades centroamericanas necesitan evitar

estrategias *ad hoc* que podrían resolver urgencias pero profundizarían los riesgos o suponer que el cambio climático no es atendible dadas las restricciones presupuestarias profundizadas por la actual recesión global y la presión de las urgencias sociales y económicas. Más recomendable sería impulsar **estrategias adaptativas incluyentes y sustentables** que integren acciones de reducción de la pobreza y vulnerabilidades a los extremos climáticos actuales con las de adaptación al cambio climático y transición a economías más sostenibles y bajas en carbono. Esto requiere una visión estratégica para maximizar los cobeneficios y minimizar los costos intersectoriales de acciones de adaptación, mitigación y la agenda de desarrollo, tradicionalmente vistas de forma separada. Así, la actual recesión económica global y los riesgos de cambio climático se convertirían en oportunidades para revisar a profundidad la especialización productiva de las economías. Esto incluiría sus formas de inserción en los mercados internacionales, los impactos negativos de sus patrones energéticos y de uso de la tierra y el agua, las debilidades de la infraestructura rural y urbana y la degradación de ecosistemas. Al fondo implica una especial atención a la inclusión y la sostenibilidad en sus múltiples sentidos.

Con el propósito de discutir, divulgar y aprovechar los resultados de esta iniciativa en la formulación de políticas nacionales y estrategias regionales, se publicaron los documentos *Síntesis 2010* y *Reporte técnico 2011*, los cuales se han presentado en eventos nacionales y regionales con la participación de funcionarios públicos, representantes de organizaciones no gubernamentales, de gremios, sector privado, universidades y centros de investigación. Los resultados han servido de insumo para capacitar los comités nacionales de cambio climático y equipos de negociadores y para preparar la Estrategia Regional de Cambio Climático, varios proyectos de financiamiento internacional y diversas políticas nacionales. En coordinación con los Ministros de Ambiente, los resultados han sido presentados en las últimas tres Conferencias de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

En función de estos avances, los socios de la iniciativa acordaron dedicar mayor atención a los análisis sectoriales, espaciales y temporales. Se ha analizado la variabilidad climática en base de los datos de las estaciones meteorológicas y tendencias del clima a escala departamental y por patrones intraanuales, los cambios potenciales en indicadores de aridez e impactos potenciales en la generación de hidroelectricidad en Guatemala y El Salvador. Con los Ministerios de Salud y el Consejo de Ministros de Salud de Centroamérica y República Dominicana (COMISCA), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y varias instituciones expertas, se ha iniciado un análisis del impacto potencial del cambio climático en las enfermedades sensibles al clima, como malaria, dengue y enfermedades respiratorias. La iniciativa desarrolla un programa de trabajo con los Ministerios de Finanzas o Hacienda incluyendo una serie de cursos técnicos; apoya a los Ministerios de Energía en una propuesta de mayor integración de la respuesta al cambio climático en la Estrategia Regional Energética Sustentable Centroamericana 2020; e inicia una agenda de trabajo con los Ministerios de Agricultura y el Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC) sobre escenarios de rendimientos de granos básicos a escala subnacional, opciones de gestión de riesgo y aseguramiento y retos de seguridad alimentaria. La presente Síntesis así como la Serie técnica 2012 presentan algunos de estos recientes avances y tienen la finalidad de contribuir a las actividades de discusión técnica y capacitación requeridas en la región.

I. IMPACTOS POTENCIALES EN LOS PATRONES INTRAANUALES Y ESPACIALES DEL CLIMA

En el marco de esta iniciativa, el estudio realizado sobre los impactos potenciales en los patrones intraanuales y espaciales del clima tiene el objetivo de proporcionar un análisis desagregado espacial y temporal de las posibles alteraciones de temperatura y precipitación por el cambio climático en Centroamérica (CEPAL, COSEFIN, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2012a). Su finalidad es contribuir al diseño de acciones de adaptación en zonas geográficas específicas. Se analiza la evolución de ambas variables y sus patrones intraanuales (por mes) por país, departamento y una regionalización geoclimática propuesta para tomar en cuenta la diversidad de climas, principalmente de la lluvia. Las estimaciones son proyectadas con diferente cortes temporales a 2100, con dos escenarios de cambio climático: el primero más pesimista (A2) y el segundo menos pesimista (B2). Este estudio complementa el análisis previo por país y temporalidad anual, disponible en el primer capítulo del Reporte Técnico publicado por la iniciativa ECCCA en 2011 (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011a).

El estudio utiliza las variables de temperatura media mensual (°C) y precipitación acumulada mensual (mm) por país, departamento, distrito o provincia, según la denominación de cada país. La palabra “departamento” se usa para designar genéricamente estas divisiones administrativas cuando se habla del conjunto de la región. Las comarcas de Kuna Yala y Ngöbe-Bugle de Panamá cuentan con estimados propios. Debido a la disponibilidad de datos y su ubicación geográfica, para las comarcas de Madugandí se recomienda utilizar los resultados de la provincia de Panamá, y los de Darién para las comarcas Emberá-Wounan y Wargandí. Con la orientación de los delegados de los Ministerios de Ambiente y meteorólogos nacionales, se identificaron tres grandes regiones geoclimáticas: Pacífico, Atlántico y Centro. Los departamentos con costa de mar extensa están incluidos en las regiones Pacífico o Atlántico; los departamentos sin costa o con costas poco extensas fueron incluidos en la región Centro. Para Guatemala se acordó agregar una cuarta región, Altiplano Occidental.

En los análisis por país se utilizaron los promedios mensuales del período 1980 a 2000 según la base de datos CRU TS3.0. En el análisis por departamento y región geoclimática se utilizaron los promedios mensuales del período 1950 a 2000 según la base de datos del WorldClim. Para proyectar los escenarios al año 2100 por país se utilizaron los promedios de los modelos HADCM3, GFDL R30 y ECHAM4 (para B2) y HADGEM1, GFDLCM2.0 y ECHAM5 (para A2). En el análisis por departamento y región geoclimática se consideró el promedio de los modelos ECHAM4 y HADCM3 (para B2) y ECHAM4 y HADGEM (para A2). Para identificar la tendencia con mayor claridad se calcularon promedios de diez años para cada año de corte: 2020 (promedio 2016 a 2025), 2030 (promedio 2026 a 2035), 2050 (promedio 2046 a 2055), 2070 (promedio 2066 a 2075) y 2100 (promedio 2091 a 2100). Por tratarse de escenarios a largo plazo que integran diversas “capas” de análisis con incertidumbres y dificultades metodológicas, los resultados deben interpretarse como tendencias y magnitudes relativas, no como predicciones ni como magnitudes exactas.

En el estudio previo realizado sobre potenciales impactos del cambio climático en la temperatura a nivel país, disponible en el Reporte Técnico 2011, se estimaron aumentos de temperatura de entre 0,50 °C y 0,57 °C (con B2) y entre 0,63 °C y 0,80 °C (con A2) al corte 2020, indicando que aún a corto plazo habría impactos diferentes en ambos escenarios. La diferencia aumenta con el tiempo, alcanzando rangos de 2,20 °C a 2,67 (con B2) y 3,60 °C a 4,73 °C (con A2) en el corte 2100.

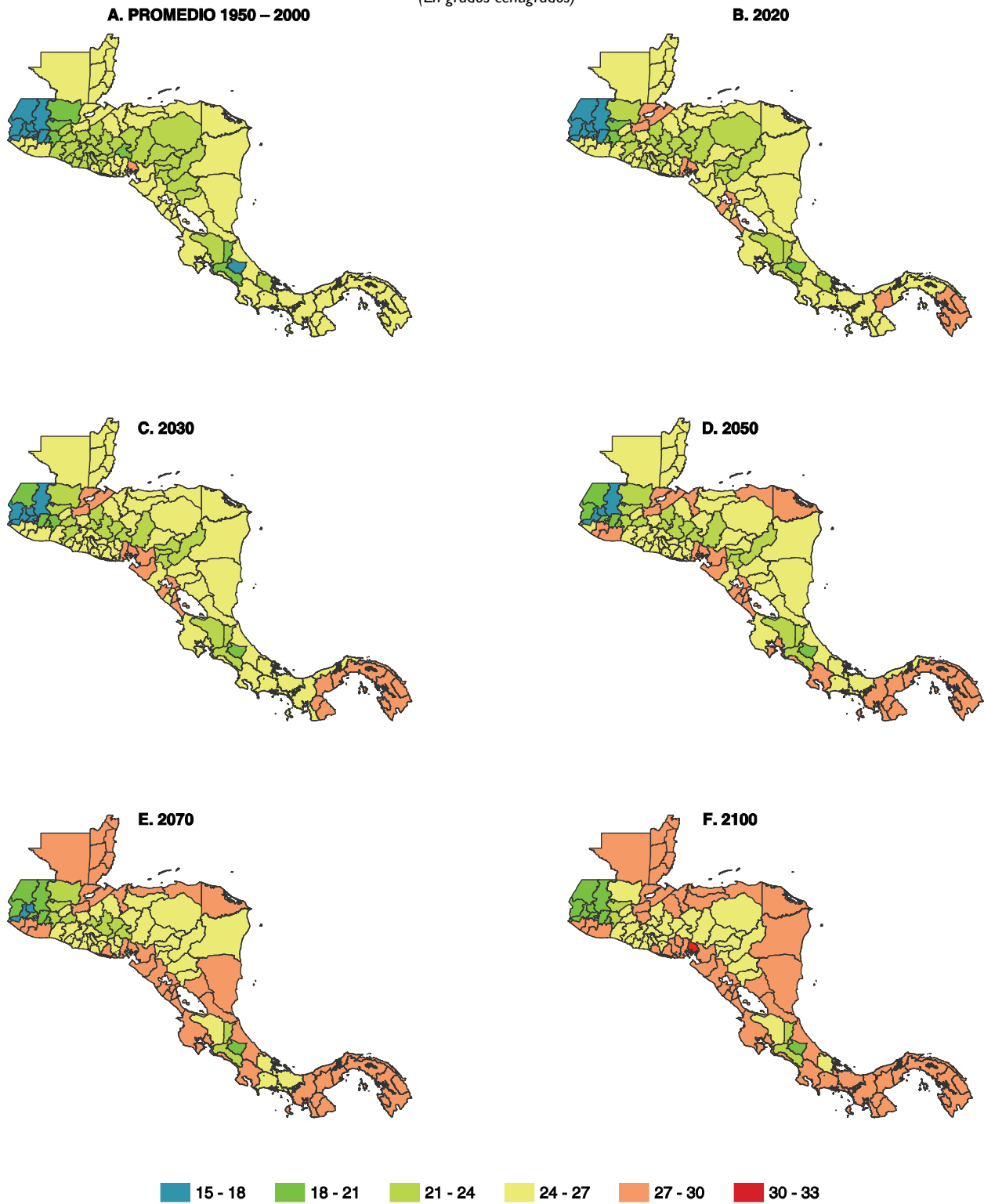
En el escenario B2, la temperatura media anual aumentaría progresivamente (véase mapa 1). Al corte 2020, 52 departamentos experimentarían temperaturas entre 24 °C y 27 °C, relativo a los 49 en este rango en el período histórico; y a 2050, serían 45. Además a mitad del siglo, 25 departamentos tendrían temperaturas entre 27 °C y 30 °C. Al corte 2100, la región Centro sufriría el mayor aumento con 3,1 °C, mientras que el menor ocurriría en la región Atlántico con 2,5 °C. El Departamento de Valle en Honduras alcanzaría el rango de 30 °C a 33 °C; único en este rango. Para la región Centro se estiman temperaturas entre 24 °C a 27 °C al corte 2100, mientras que en el Altiplano Occidental de Guatemala y el Valle Central de Costa Rica podrían alcanzar entre 18 °C y 21 °C.

En el escenario A2, los incrementos de temperatura serían mayores (véase mapa 2). Al corte 2020, 56 departamentos experimentarían temperaturas entre 24 °C y 27 °C, y ocho departamentos tendrían temperaturas entre 27 °C y 30 °C relativos a un departamento en el período histórico. Al corte 2070, el Departamento de Valle en Honduras alcanzaría el rango de 30 °C a 33 °C y hacia finales del siglo, otros 11 departamentos la alcanzarían. En el resto de las regiones Pacífico y Atlántico se alcanzaría un rango de temperatura entre 27 °C y 30 °C, con excepción de algunos departamentos de El Salvador, Guatemala y Panamá, que tendrían un rango de 24 °C a 27 °C. Con respecto al período histórico, la región Atlántico tendría un aumento de 3,7 °C, pero el Altiplano Occidental guatemalteco sufriría el mayor aumento con 4,8 °C. A nivel de país, Guatemala y Costa Rica mantendrían una mayor diversidad de temperaturas, seguidos por Nicaragua y Honduras. Esta variación podría permitir más opciones de adaptación en la agricultura, por ejemplo.

Los gráficos 1 y 2 ilustran el comportamiento de la temperatura media mensual por país, en los escenarios B2 y A2 al corte 2100. Lo más destacable es este progresivo aumento de la temperatura en todos los meses, con diferencias dependiendo del país y el mes. Los pronósticos del escenario A2 resultarían más extremos. Al mismo tiempo, no se detectaron cambios mayores en el patrón intraanual en sí. Ahora bien, en Belice, El Salvador, Guatemala y Honduras, la temperatura aumentaría relativamente más entre abril y octubre con A2.

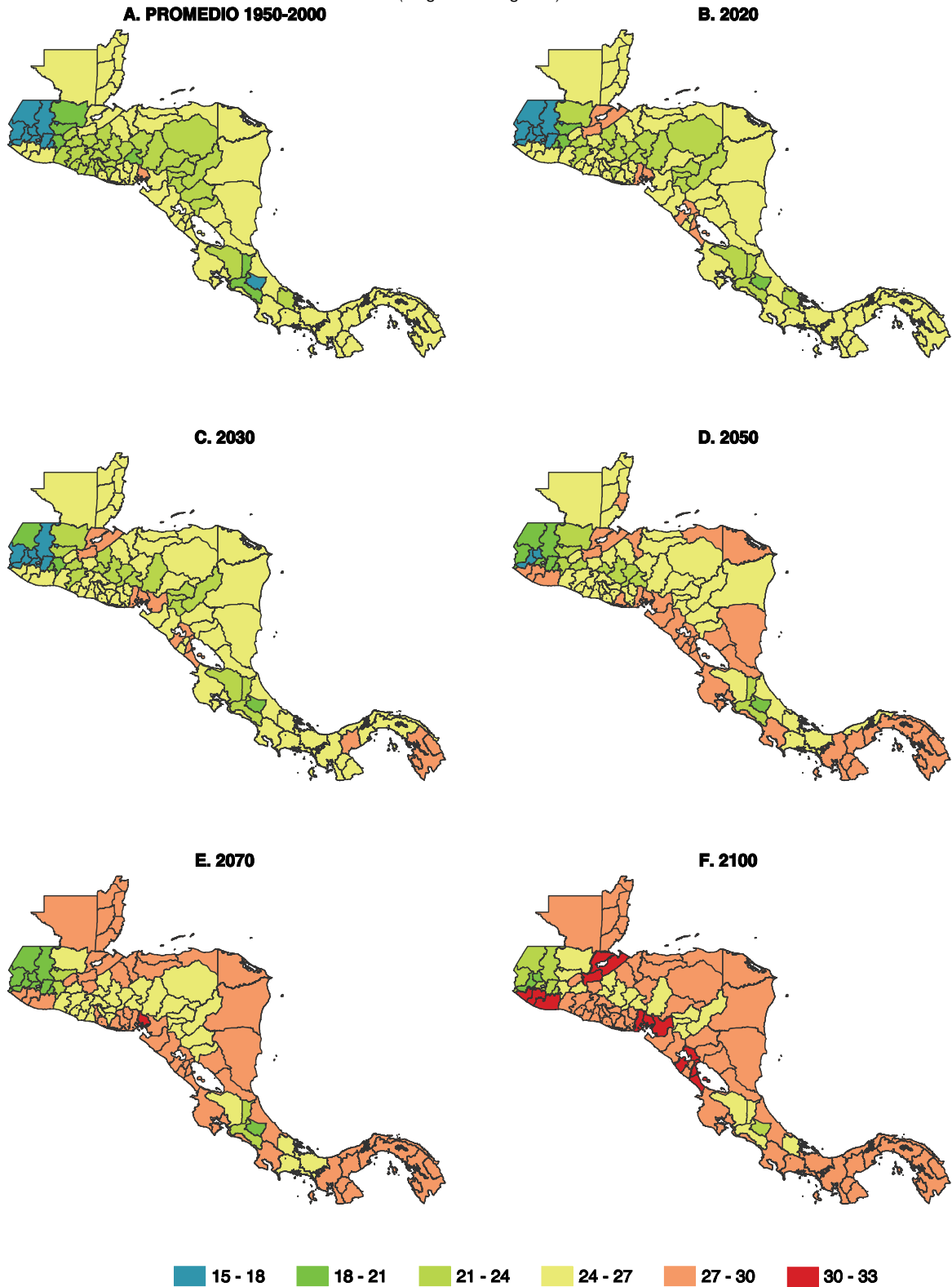
Con los escenarios de cambio climático, el primer análisis realizado en la iniciativa ECCCA preveía que la precipitación anual acumulada a nivel de país podría sufrir variaciones entre -0,7% y 6,2% (con B2) y entre -3,5% y 1,8% (con A2) a 2020 respecto al período 1980 a 2000. No obstante, hacia el corte 2050 se estiman reducciones en ambos escenarios, las cuales se exacerbarían el resto del siglo, especialmente con A2. A 2100 se estiman cambios de entre -2,9% y -17,4% (con B2) y -17,5 y -34,9% (con A2). Debe hacerse notar que los modelos de circulación general del clima tienen mayor dificultad para modelar la precipitación que la temperatura y los modelos utilizados arrojan resultados de precipitación variables. No obstante, se puede detectar tendencias generales. Las menores reducciones ocurrirían en Panamá y Costa Rica. Todos los modelos arrojan que en A2 habría mayores reducciones o menores aumentos que en B2.

MAPA I
CENTROAMÉRICA: TEMPERATURA MENSUAL MEDIA ANUAL POR DEPARTAMENTO, PROMEDIO 1950-2000
Y ESCENARIO B2 CON CORTES A 2100
(En grados centígrados)



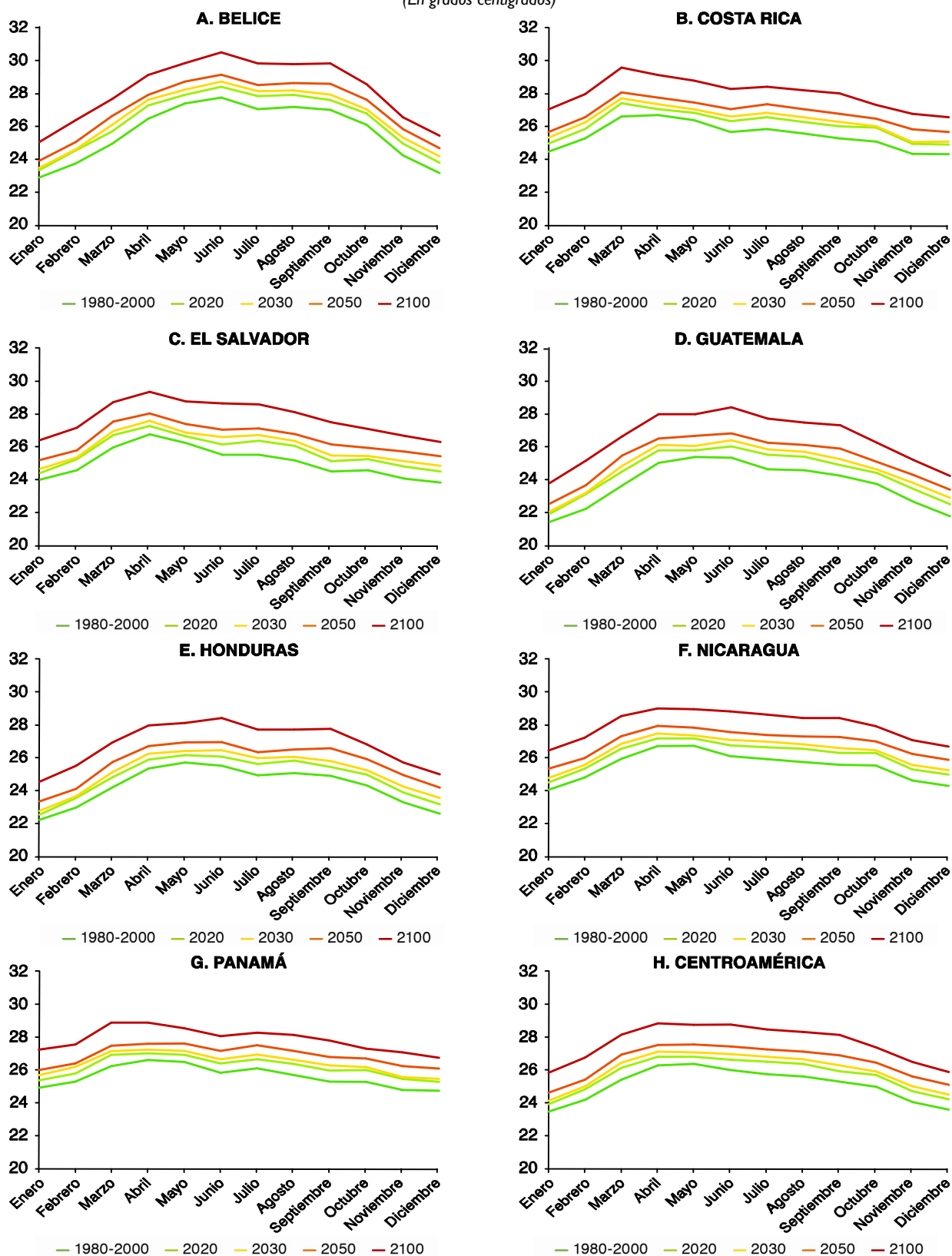
Fuente: Elaboración propia.

MAPA 2
CENTROAMÉRICA: TEMPERATURA MENSUAL MEDIA ANUAL POR DEPARTAMENTO, PROMEDIO 1950-2000
Y ESCENARIO A2 CON CORTES A 2100
(En grados centígrados)



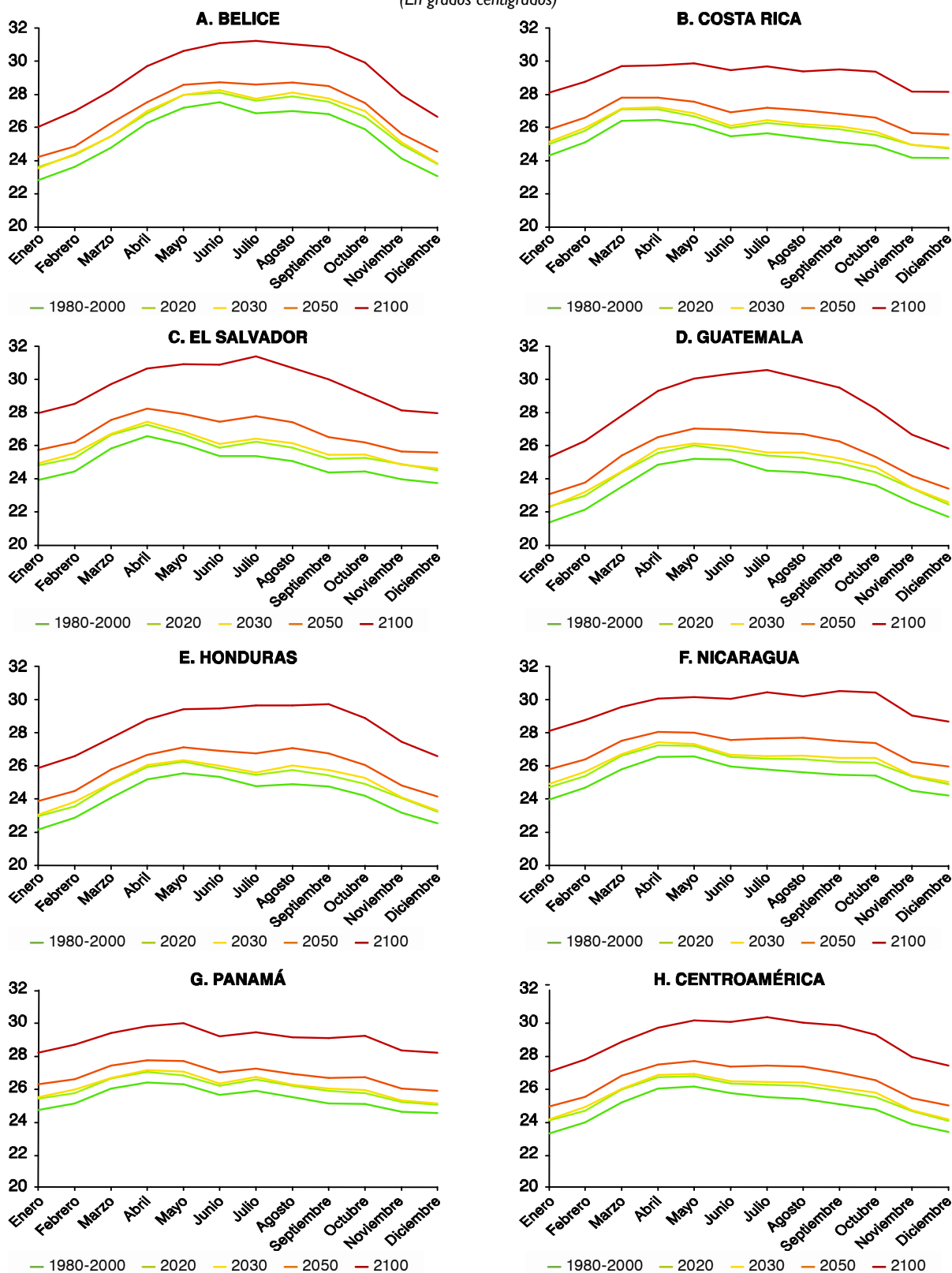
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO I
CENTROAMÉRICA: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL, PROMEDIO 1980-2000
Y ESCENARIO B2 CON CORTES A 2100
(En grados centígrados)



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 2
CENTROAMÉRICA: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL, PROMEDIO 1980-2000
Y ESCENARIO A2 CON CORTES A 2100
 (En grados centígrados)



Fuente: Elaboración propia.

Durante este siglo bajo el escenario B2, los niveles de lluvia tenderían a disminuir ligeramente o permanecerían estables en las cuatro regiones geoclimáticas (véase mapa 3). La región Atlántico sufriría la mayor reducción, 6.1%. El Altiplano Occidental guatemalteco tendría un aumento 0,4%. El escenario A2 presentaría ciertas fluctuaciones en precipitación en las próximas dos décadas dependiendo de la región, pero establece una tendencia a la baja que se exagera con el avance del siglo (véase mapa 4). Así, al corte de 2020, 18 departamentos tendrían precipitaciones en un rango de 65 mm-110 mm en relación a los 11 departamentos del período histórico, mientras que dos departamentos, pertenecientes al corredor seco bajarían al rango de 20 mm-65 mm; no siendo este un rango presente históricamente. Al corte 2050 ya 26 departamentos se encontrarían en el rango de 65 mm-110 mm y cuatro departamentos del corredor seco bajaría al rango de 20 mm-65 mm. En este corte solo seis departamentos estarían en el rango de lluvia más alto de 245 mm-290 mm donde estaban 11 en el período histórico. Finalmente al corte 2100, 31 departamentos presentarían niveles de lluvia en el rango 65 mm-110 mm y 11 departamentos dentro del rango de 20 mm-65 mm algunos encuentran en el corredor seco de Guatemala, Honduras y Nicaragua. Para este corte ya ningún departamento tendría precipitaciones en el nivel de 245 mm-290 mm.

Los cambios en el patrón intraanual de la precipitación con el escenario B2 se muestran en el gráfico 3 y los del escenario A2 se muestran en el gráfico 4. En el período 1980 a 2000, la temporada de lluvia de toda Centroamérica comprendía desde mayo hasta octubre, alcanzando un mayor nivel en septiembre y octubre y un comportamiento bimodal no muy marcado con la canícula en julio y agosto. En el escenario B2 con horizonte al corte 2020, los niveles aumentarían relativo al período histórico en los meses de mayo a julio, con un máximo en junio. Después disminuiría progresivamente hasta agosto y la lluvia sería de un nivel menor hasta diciembre respecto al período histórico. Así, la forma de la temporada lluviosa sería más de tipo unimodal hacia 2050, predominando la lluvia entre mayo y julio. Para el corte 2100, la precipitación del primer período de la temporada lluviosa sería menor que la que habría en los cortes entre 2020 a 2050, con el máximo nivel anual en mayo. Seguirían una progresiva reducción hasta agosto (breve período de canícula), una leve recuperación en septiembre y una continuación de la reducción hasta finales del año.

En el escenario A2 en Centroamérica las próximas dos décadas podrían traer mayor precipitación en junio y julio, una canícula bien marcada y el segundo período de septiembre a octubre tendría mayor precipitación acentuándose el patrón bimodal. Posteriormente, se perdería este patrón: se reduciría la precipitación durante casi toda la temporada, pero especialmente durante el primer período de mayo a agosto, resultando en un patrón unimodal al corte 2100; la precipitación iniciaría en mayo de forma reducida, aumentándose paulatinamente hasta un máximo en octubre para después terminar la temporada en noviembre.

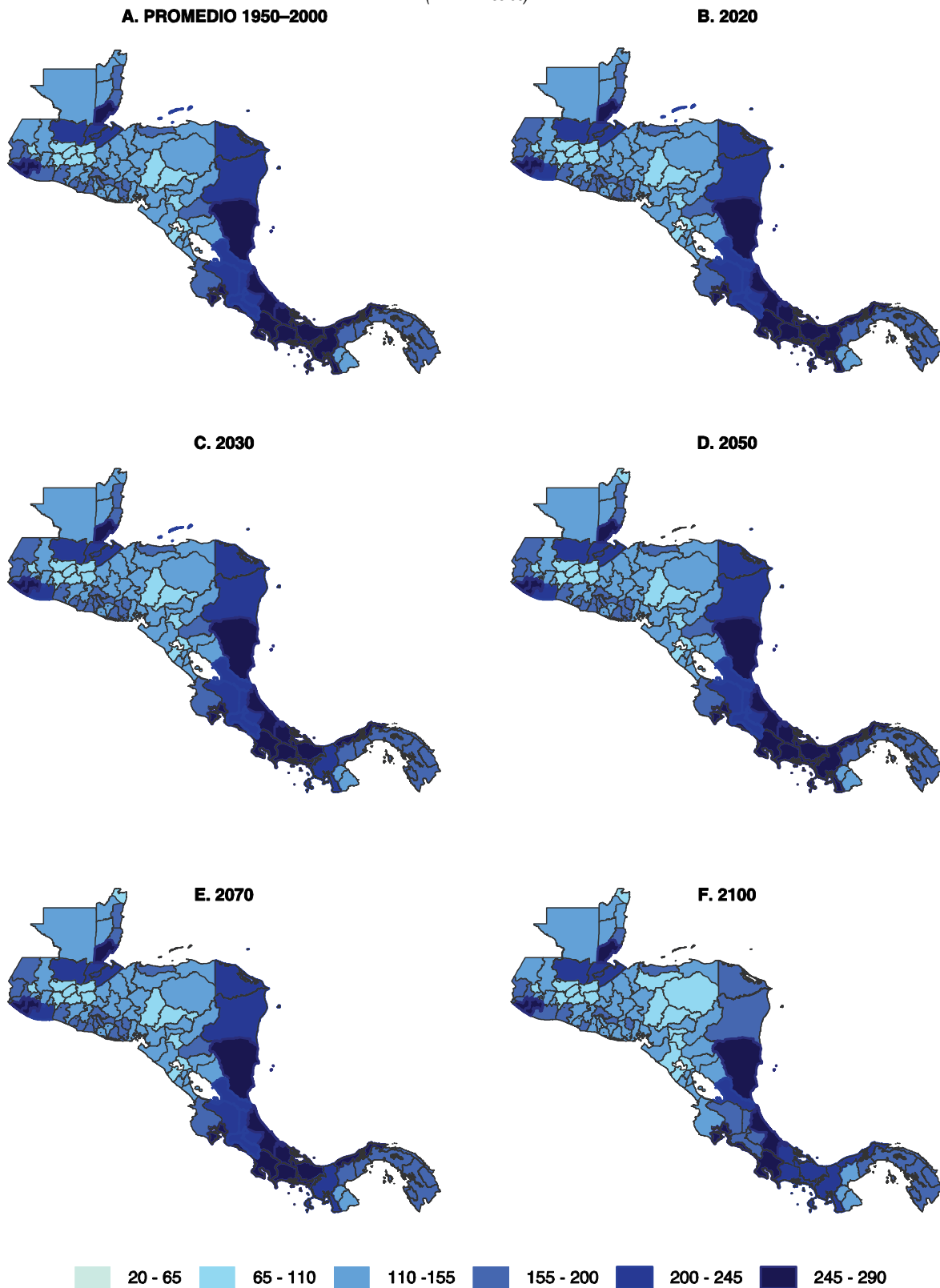
En cuanto al patrón intraanual de precipitación de toda la región, se estima que con B2 la lluvia aumentaría al inicio de la temporada en las próximas décadas, posiblemente con un inicio más temprano. Al mismo tiempo, especialmente en la segunda mitad del siglo, bajaría el nivel de precipitación posterior a la canícula, perdiendo la característica bimodal en algunos países. El mayor nivel de lluvia habría cambiado del período post canícula al período pre canícula al final del siglo, con excepción de Nicaragua. En Belice y Costa Rica el nivel máximo en 2100 pasaría de octubre a mayo, mientras que en El Salvador y Guatemala pasaría de septiembre a mayo, en Honduras de septiembre a junio, en Panamá de octubre a junio y en Nicaragua de junio a mayo.

Con A2 se estima que en las próximas décadas el patrón bimodal de precipitación podría exagerarse, con aumentos en los dos períodos de altas lluvias y disminuciones durante la canícula.

Posteriormente, las lluvias del primer período se reducirían progresivamente, dejando un máximo anual único entre octubre y noviembre. En el caso de Belice, la evolución del patrón sería diferente porque la canícula ha sido poco severa; la lluvia se reduciría al principio de la temporada y aún más durante la canícula, para finalmente aumentar en el período post canícula. Panamá podría experimentar un aumento de precipitación al inicio de la temporada durante las próximas décadas y posteriormente una reducción hacia un nivel cercano al histórico, resultando un patrón relativamente estable de junio a noviembre. Así pues, los meses de lluvia acumulada máxima cambiarían respecto del promedio histórico: de septiembre a octubre en Belice, El Salvador, Guatemala y Honduras; de junio a octubre en Nicaragua y de octubre a agosto en Panamá. En Costa Rica continuaría ocurriendo en octubre.

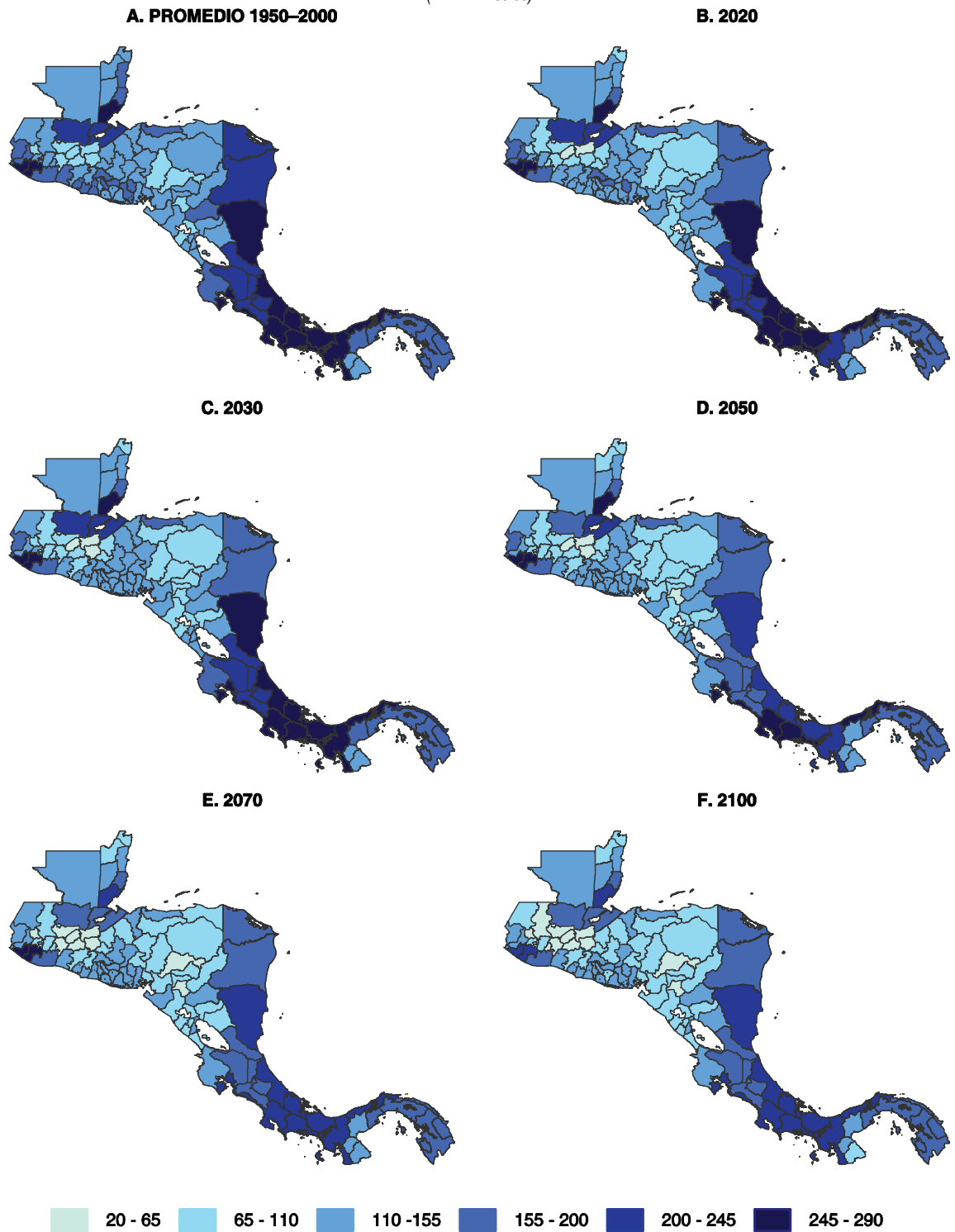
En resumen, este estudio ilustra que los escenarios de cambio climático generarían diferentes impactos en temperatura y precipitación por país, departamento y región geoclimática identificada. La información presentada, por años de corte futuros y por patrones intraanuales es una herramienta útil para afinar el análisis de impactos potenciales en agricultura, salud y energía y para diseñar acciones de adaptación en zonas específicas. Esta información ha sido usada en otros dos estudios de esta serie, uno sobre indicadores de aridez y otro sobre impactos potenciales en la generación de hidroelectricidad. Es importante subrayar que el diseño de medidas de reducción de riesgos asociados al clima requiere de análisis basados en datos de clima locales, de país y de la región centroamericana. Varios países han iniciado esfuerzos para expandir y mejorar su red de estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas así como la formación de profesionales en climatología. Dichos esfuerzos deben priorizarse y ampliarse en el futuro.

MAPA 3
CENTROAMÉRICA: PRECIPITACIÓN MENSUAL MEDIA ANUAL POR DEPARTAMENTO, PROMEDIO 1950–2000
Y ESCENARIO B2 CON CORTES A 2100
(En milímetros)



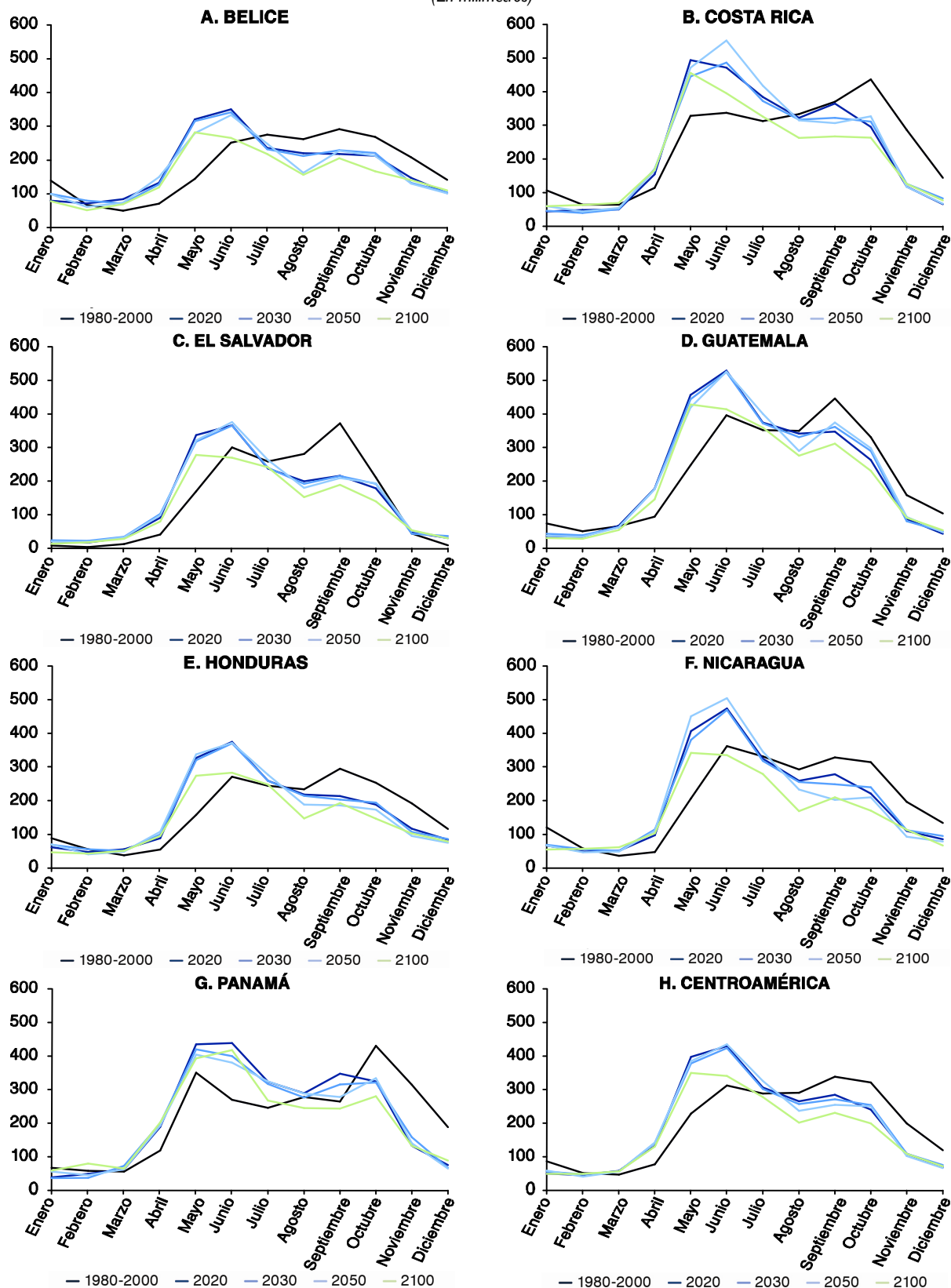
Fuente: Elaboración propia.

MAPA 4
CENTROAMÉRICA: PRECIPITACIÓN MENSUAL MEDIA ANUAL POR DEPARTAMENTO, PROMEDIO 1950-2000
Y ESCENARIO A2 CON CORTES A 2100
(En milímetros)



Fuente: Elaboración propia

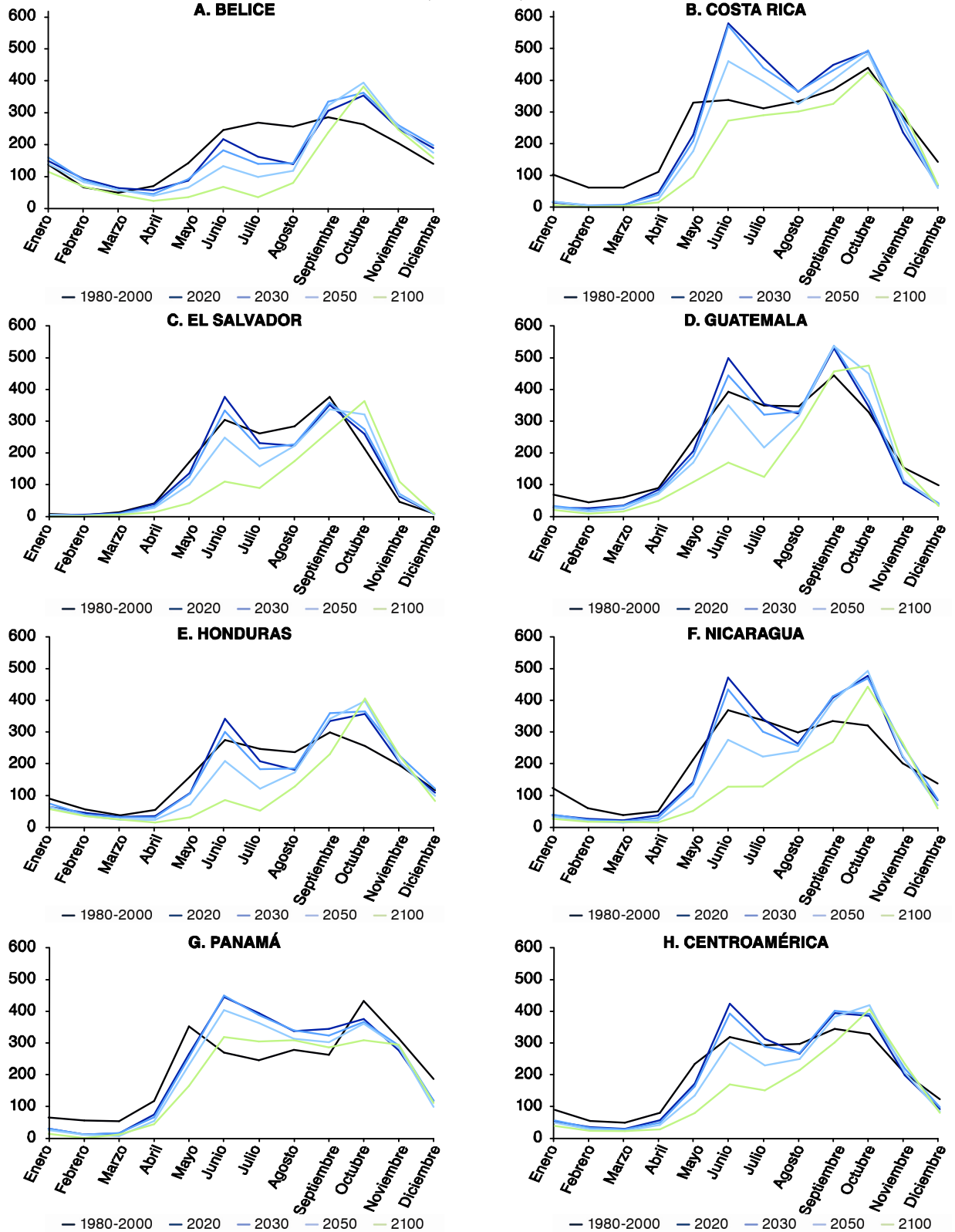
GRÁFICO 3
CENTROAMÉRICA: PRECIPITACIÓN MENSUAL, PROMEDIO 1980-2000
Y ESCENARIO B2 CON CORTES A 2100
 (En milímetros)



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 4
CENTROAMÉRICA: PRECIPITACIÓN MENSUAL, PROMEDIO 1980-2000
Y ESCENARIO A2 CON CORTES A 2100

(En milímetros)



Fuente: Elaboración propia.

2. EVIDENCIA DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Ya en su Cuarto Reporte de 2007 el IPCC observó que la frecuencia de eventos de lluvia intensa ha aumentado sobre la mayoría de las masas de tierra, consistente con el calentamiento y aumento de vapor de agua observados. En su reporte publicado recientemente sobre eventos extremos, concluyen que hay una confianza media que influencias antropogénicas han contribuido a la intensificación de precipitación extrema a escala global y sequías en algunas regiones, incluyendo a Centroamérica, debido a reducciones en la lluvia y/o aumentos en la evapotranspiración (IPCC, 2007b; IPCC, 2011).

Mientras que los expertos internacionales consideran que ha sido más fácil analizar la atribución en el caso de los extremos de temperatura, hacerlo para eventos hidrometeorológicos ha resultado muy complejo y con mayor incertidumbre. En su reporte especial sobre eventos extremos, el IPCC indica que cambios en extremos pueden asociarse a cambios en la media, varianza, forma de las distribuciones de probabilidad o todos estos indicadores juntos. También considera que algunos eventos climáticos como sequías o deslaves pueden ser el resultado de una acumulación de eventos que individualmente no son tan extremos. Finalmente, observa que la variabilidad natural seguirá siendo un factor importante en el futuro, adicional al efecto de los cambios asociados a actividades antropogénicas (IPCC, 2011).

A nivel internacional, una serie de eventos hidrometeorológicos severos han acontecido en diversas partes del mundo en los últimos años, como la ola de calor en Rusia en 2010, las inundaciones de 2000 en Inglaterra, en Pakistán en 2010, y muy recientemente en Tailandia, lo cual ha generado cada vez mayor discusión y análisis sobre la posible contribución del cambio climático a la mayor severidad de dichos eventos. La literatura científica reciente, sugiere que aunque hay incertidumbres significativas, se empieza a acumular evidencia sobre esta relación e identificar casos de probable atribución parcial.

En octubre de 2011, una depresión tropical, denominada 12E y un sistema de depresión asociado, afectaron a El Salvador, Costa Rica, Guatemala, Honduras y Nicaragua. La preocupación por este fenómeno, motivó a los Presidentes de estos cinco países a realizar una Cumbre extraordinaria donde convocaron a un Grupo consultivo que apoyara a los países en sus esfuerzos de reconstrucción con perspectiva de reducción de vulnerabilidades y adaptación al cambio climático, considerando que la intensidad y prolongación de lluvias constituirían una manifestación concreta de los efectos adversos del cambio climático (Declaración de Comalapa, 25 de octubre 2011).²

² En preparación para estos eventos, la Presidencia Pro Tempore de CCAD/SICA solicitó la colaboración de la iniciativa ECCCA para colaborar en el documento "Análisis del efecto del cambio climático en Centroamérica" que CCAD y Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC) prepararon. Este insumo contó con el apoyo del equipo de la UC en la Sede Subregional de la CEPAL en México, de los delegados del CTR de la iniciativa, los servicios de meteorología de los cinco países y otros funcionarios que compartieron sus conocimientos y facilitaron el acceso a las bases de datos meteorológicos.

Recientemente los expertos no planteaban la posibilidad de establecer una atribución parcial o incremental para un evento extremo particular y no se había avanzado mucho en atribuir tendencias observadas de estos eventos al cambio climático, con excepción de la relación entre mayor intensidad de tormentas tropicales y el aumento en la temperatura de la superficie del mar. No obstante, en los últimos dos o tres años se ha iniciado un esfuerzo por parte de expertos internacionales para analizar los cambios en patrones de eventos extremos y buscar formas probatorias entre ésta variación con cambio climático. Inclusive en los últimos meses se han publicado una serie de importantes documentos al respecto. La literatura hasta la fecha, sugiere que hay una alta preocupación y demanda de mejor información sobre ésta posible relación, y que aunque hay incertidumbres significativas, empieza a acumularse evidencia sobre esta relación e identificación de casos de probable atribución parcial.

Ejemplos de los estudios recientes, incluyen a Pall, y otros (2011) donde se utilizó un marco de atribución probabilística de las inundaciones que ocurrieron en Inglaterra y Gales en el año 2000, comparando los datos climáticos de lo ocurrido con un modelo que suponía no hubiera ocurrido calentamiento global. Reportaron que en nueve de cada diez casos, los resultados indicaron que las emisiones de los últimos 100 años aumentaron el riesgo de estas inundaciones en 20% y en dos de cada tres casos en más de 90%. La tendencia de menor precipitación invernal en la región del Mediterráneo fue analizada por Hoerling y otros (2011) con respecto a posibles contribuciones de variabilidad natural, Oscilación del Atlántico Norte y el cambio climático antropogénico. Encontraron que el cambio climático puede explicar aproximadamente la mitad del aumento de sequedad entre 1902 y 2010, principalmente por aumentos en la temperatura de la superficie del mar Mediterráneo.

Rahmstorf y Coumou (2011) analizaron la probabilidad que las temperaturas de julio de 2010 experimentadas en Moscú con un modelaje Monte Carlo, podrían haber sido probables dado los registros en este mes del último siglo, encontrando que sin cambio climático la probabilidad de no ocurrir este golpe de calor hubiera sido del 80%. Estos resultados y los de Tamino (2010) contradicen parcialmente un estudio anterior de Dole y otros (2011) que concluyó que este evento fue generado principalmente por variabilidad atmosférica interna natural.

Otro grupo Ambiental del Canadá (Min y otros, 2011) comparó la serie histórica de precipitación en América del Norte con simulaciones de seis modelos climáticos con y sin cambio climático y encontraron que los patrones de lluvia extrema observada no concordaron con lo esperado de los ciclos naturales pero se aproximaron a los patrones esperados con cambio climático. Estos reportes sugieren que la preocupación por la posible exacerbación de los eventos extremos por el cambio climático es legítima, especialmente en regiones como la Centroamericana por su histórica exposición a estos eventos.

En 2009 arrancó la Iniciativa internacional de atribución de eventos relacionados con el clima (ACE, por sus siglas en inglés), donde participan expertos del Centro Hadley, el Departamento de Energía y Cambio Climático de Inglaterra, diversos centros de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR) y diversas universidades. En octubre de 2011, ésta iniciativa presentó un resumen de avances en la Conferencia del Programa de Investigación Climática (WCRP) y propuso opciones para una metodología de atribución fraccional; es decir, atribución de cambios en riesgos de eventos extremos a factores particulares, incluyendo el cambio climático. (Stott y otros, 2011).

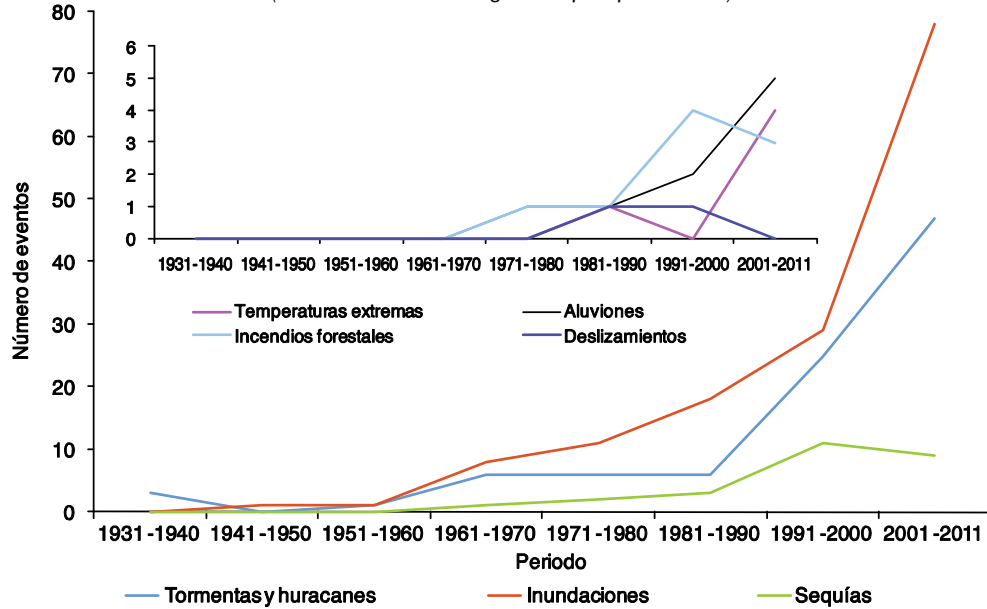
Una línea de análisis de la relación entre eventos extremos, como inundaciones y lluvias intensas, con el cambio climático se basa en las leyes termodinámicas que sugieren que un incremento en la temperatura generaría mayores niveles de evaporación, evapotranspiración, vapor de agua en la atmósfera y una aceleración o desestabilización del ciclo hidrológico (Flower, Mitchell y Codner, 2007; Ekström y otros, 2005). Stott del Centro Hadley ha indicado que por cada incremento de 1 °C en la temperatura se estima un aumento del 7% promedio global en la humedad de la atmósfera, dando como resultado eventos de precipitación con mayor intensidad (Carey, 2011).

Las climatologías históricas indican que Centroamérica ya ha sufrido un incremento promedio de aproximadamente 0,5 °C durante los últimos 50 años. Y con un escenario en el cual las emisiones de GEI continúen con su trayectoria actual de alza, la temperatura podría aumentar entre 1 y 2 °C a 2050 (CEPAL, CCAD/SICA, DFID y DANIDA, 2011a). De la misma manera, se encontró en un estudio de la tendencia de sequía en la zona del Mediterráneo, que la temperatura de la superficie del mar puede ser un canal de transmisión del cambio climático hacia la precipitación y los eventos extremos. Al respecto, la serie histórica indica que la zona del Pacífico asociada con el ENOS (20 N – 20 S y 90W - 120W) ha sufrido un incremento de temperatura en este siglo (<http://climexp.knmi.nl/start.cgi?someoneomewhere>). En el caso del Mar Caribe, existe evidencia de una aceleración del calentamiento desde la mitad de los años noventa (Jury, 2011). Otra línea de análisis inicial es considerar la evidencia de cambios en las tendencias en eventos extremos, como tormentas tropicales, huracanes e inundaciones. De acuerdo con el Cuarto Reporte del IPCC, en nueve de los diez años del período 1995 a 2005 la cantidad de huracanes en el Atlántico Norte aumentó por encima de la tendencia histórica registrada en 1981 a 2000 (IPCC, 2007b). Las sequías también han sido más intensas, principalmente en los trópicos y subtrópicos a partir de 1970.

En Centroamérica entre los años 1931 y 2011, se han registrado 291 eventos extremos asociados a fenómenos hidrometeorológicos, véase gráfico 5, siendo Honduras el país con el mayor número de ocurrencias (62) y Belice el que registra menos (19). Por origen, los eventos más recurrentes son inundaciones, tormentas, deslizamientos y aluviones que representan el 86% de los eventos totales y un 9% corresponden a sequías. En las tres últimas décadas los desastres registran un crecimiento anual estimado de 7% respecto a la década de los setenta.

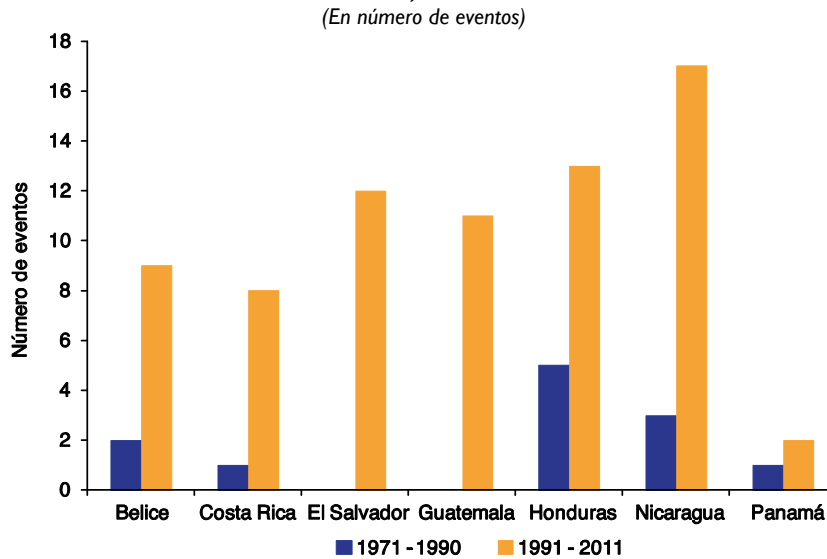
A escala temporal se observa un incremento sostenido del número de eventos, especialmente a partir de la década de los sesenta, con una acumulación importante entre los años 1991 y 2010. En estas últimas dos décadas, las inundaciones han crecido más del doble en todos los países respecto al período 1971 a 1990. Los países con mayor número de inundaciones son Costa Rica, Honduras y Panamá, mientras que El Salvador, Guatemala y Nicaragua mantienen una frecuencia intermedia. En cuanto a tormentas y huracanes registrados, Nicaragua tiene el registro más alto en el segundo período con 17 eventos (véase gráfico 6). El resto muestra un promedio de ocho a nueve eventos, es decir, una tormenta tropical o un huracán cada tres años. Sobresalen El Salvador y Guatemala, los cuales no tuvieron este tipo de eventos en el primer período, pero en el segundo tuvieron el mayor aumento. Los deslizamientos y las temperaturas extremas comienzan a manifestar una tendencia creciente en los años recientes, igual que las sequías y los incendios forestales a partir de los años noventa. Es importante anotar que estas cifras no incluyen eventos de menor escala que a menudo tienen impactos severos en poblaciones particulares y efectos acumulativos a mediano y largo plazo.

GRÁFICO 5
CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LOS EVENTOS EXTREMOS REGISTRADOS, 1931 A 2011
 (En número de eventos registrados por tipo de evento)



Fuente: Elaboración propia con base en EM-DAT (CRED, 2012).

GRÁFICO 6
CENTROAMÉRICA: NÚMERO DE TORMENTAS TROPICALES Y HURACANES REGISTRADOS EN DOS PERÍODOS, 1971-1990 Y 1991-2011
 (En número de eventos)

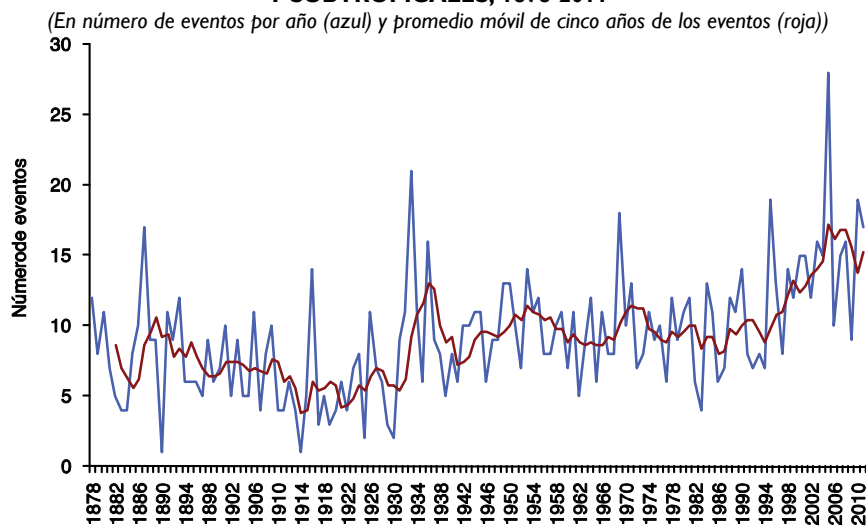


Fuente: Elaboración propia con base en EM-DAT (CRED, 2012), y no necesariamente registra todos los eventos más significativos.

De acuerdo con el Cuarto Reporte del IPCC, en nueve de los diez años del período 1995 a 2005 la cantidad de huracanes en el Atlántico Norte aumentó por encima de la tendencia histórica registrada de 1981 a 2000 (IPCC, 2007b). Las sequías también han sido más intensas, principalmente en los trópicos y subtrópicos a partir de 1970. El gráfico 7 presenta una serie de tiempo del registro de huracanes y tormentas (HURDAT) de la NOAA para el Océano Atlántico desde 1878 hasta 2006, la cual registra una enorme volatilidad, con un aumento de tormentas y huracanes en las últimas dos décadas, no obstante, no hay claridad de que sea una tendencia fuera de la tendencia histórica

(Hegerl y otros, 2007; Vecchi y Knutson, 2008). Aunque las bases de datos disponibles padecen de limitaciones en los registros, lo que se ha registrado sugiere que es probable que esta tendencia también haya sido experimentada por Centroamérica.

GRÁFICO 7
OCÉANO ATLÁNTICO NORTE: NÚMERO DE HURACANES, TORMENTAS TROPICALES Y SUBTROPICALES, 1878-2011



Fuente: elaboración propia con base en HURDAT (NOAA, 2011).

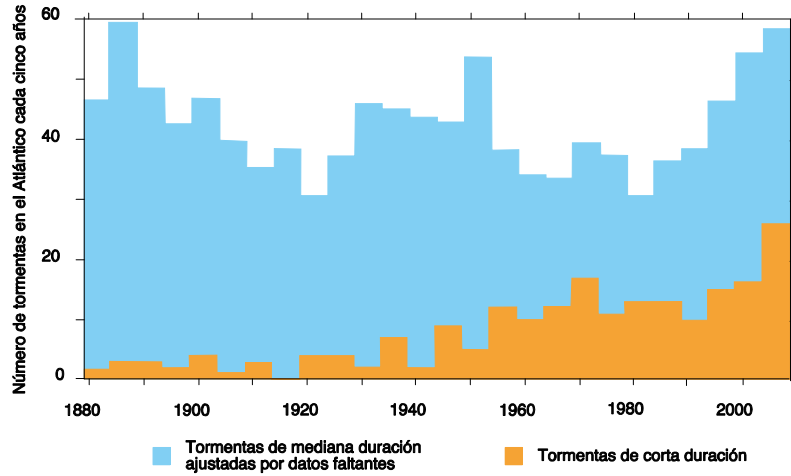
Al desagregar eventos de moderada y corta duración, el gráfico 8 muestra que, la frecuencia de las tormentas tropicales de corta duración (menos de dos días) en el océano Atlántico ha aumentado progresivamente, sobre todo desde 1960. Considerando la mayor frecuencia de lluvias intensas registradas en algunas zonas de la región, el análisis de la posible relación de esta tendencia con cambio climático sería recomendable.

Ahora bien, las tormentas de duración moderada presentan una posible fluctuación multidecadal, habiendo cambiado su trayectoria a partir de 1980. La relación entre frecuencia de estos eventos y cambio climático podrá identificarse cuando se aclare si el patrón de frecuencia sale de su oscilación histórica en las próximas décadas.

Respecto a la distribución espacial de los eventos ciclónicos tropicales entre 1977 y 2006, se observa que los territorios más expuestos abarcaban casi la totalidad de la costa del Caribe o costa atlántica, la totalidad del territorio de Belice, una gran parte de Honduras y Nicaragua y la parte norte de Costa Rica. Sin embargo, los huracanes del Caribe inducen o jalan la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) hacia el norte de Centroamérica, la cual provoca “temporales” (serie de días con lluvias intensas o con acumulados altos), generando inundaciones y deslizamientos en zonas más amplias que las afectadas directamente por un huracán. Esto fue el caso del efecto adicional de Huracán Mitch. Igualmente, se está experimentando el fenómeno de tormentas y huracanes que entran por el Pacífico, afectando seriamente a Centroamérica, cuando anteriormente su trayectoria era más al norte. Otro fenómeno observado, es que depresiones y tormentas que no llegan a ser huracanes presentan mayores intensidades de lluvias, como la depresión tropical 12E que provocó graves impactos en El Salvador y regiones de Guatemala, Honduras y Nicaragua especialmente.

GRÁFICO 8
OCEANO ATLÁNTICO: NÚMERO DE TORMENTAS SEGÚN DURACIÓN
(MODERADA Y CORTA), 1878-2006

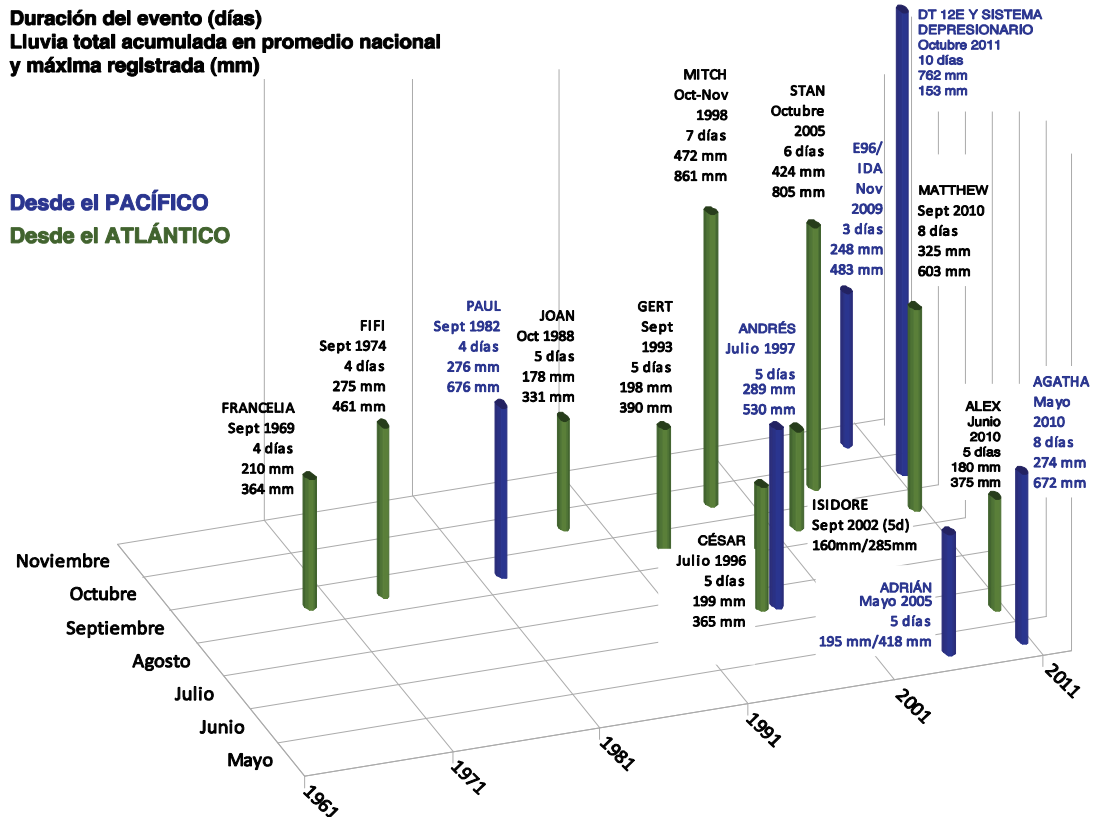
(En número de tormentas cada cinco años por duración moderada (celeste) y corta (naranja))



Fuente: NOAA, 2010.

El gráfico 9 ilustra esta situación en el caso de El Salvador, evidenciando el aumento de huracanes y ciclones y otros sistemas que se originaban en el Caribe y la novedad de estos eventos extremos con origen en el Pacífico.

GRÁFICO 9
EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS QUE HAN IMPACTADO A EL SALVADOR



Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, 2011.

Los registros de frecuencia de las tormentas tropicales de corta duración (menores a dos días) en el océano Atlántico demuestran que éstas han aumentado, principalmente desde 1960. La relación entre esta tendencia y posibles efectos del cambio climático sobre mayor concentración de precipitación podría ser una línea de análisis a tomarse en cuenta. Mientras que, las tormentas de duración moderada (cinco días) presentan una posibilidad de fluctuación multidecadal, habiendo cambiado su trayectoria de aumento a partir de 1980. El Cuarto Reporte del IPCC (2007b) aún reserva hacer pronunciamientos sobre la relación entre frecuencia de estos eventos y el cambio climático indicando que se podrá identificar mejor cuando se aclare si el patrón de frecuencia sale de su oscilación histórica en las décadas y años próximos.

Respecto a la relación entre intensidad de eventos y cambio climático, la evidencia es más sólida. Se estima que los océanos han absorbido alrededor de 20 veces más calor que la atmósfera durante el último medio siglo, provocando temperaturas más altas en aguas superficiales y profundas (Barnett y otros, 2005; Levitus, Antonov y Boyer, 2005). Ambos factores contribuyen a que los ciclones tropicales se presenten con mayor intensidad sobre el océano (Hansen, 2005). Esta hipótesis se sustenta en investigaciones que identifican una relación positiva entre la intensidad de los ciclones tropicales y la temperatura superficial de los océanos (Emanuel, 1987; Holland, 1997; Henderson-Sellers y otros, 1998; Zeng, Wang y Wu, 2007). Como ya se ha mencionado, las temperaturas superficiales del océano Pacífico y el Mar Caribe, aguas que influyen en el clima de Centroamérica, han ido en aumento durante los últimos cien años. Y con respecto al futuro, una revisión de la literatura internacional, sugiere que la intensidad de los huracanes podría aumentar entre 5 a 10% durante este siglo. (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID, DANIDA, 2011a).

El índice de riesgo climático global de la organización *German Watch* califica el impacto de los eventos extremos (tormentas, inundaciones, extremos de temperatura y olas de calor y frío) en un *ranking* de 183 países, en el cual el país con el número más bajo es el más vulnerable. Los resultados del período 1992-2011 indican que Honduras es el país con mayores impactos recibidos, Nicaragua el tercero, la República Dominicana el décimo, Guatemala el décimoprimer, El Salvador el décimoquinto, Belice el vigésimo sexto y Costa Rica el sexagésimo segundo. Considerando el aumento de eventos extremos en los últimos años, el mismo indicador para el período 2004-2011 arroja que los países de la región centroamericana a menudo resultan entre los diez primeros lugares de riesgo: República Dominicana segundo en 2004, Guatemala primero y Honduras séptimo en 2005, Nicaragua tercero en 2007, Belice noveno en 2008, El Salvador primero en 2009, Guatemala segundo y Honduras quinto en 2010, El Salvador cuarto y Guatemala noveno en el 2011 (Harmeling, 2012).

Una tercera línea de análisis, está relacionada a la lluvia. Mientras que los expertos internacionales consideran que ha sido más fácil analizar su atribución en el caso de extremos de temperatura, hacerlo para eventos hidrometeorológicos ha resultado muy complejo y con mayor incertidumbre. En su reporte especial sobre eventos extremos, el IPCC indica que cambios en extremos pueden ser asociados a cambios sufridos en la media, varianza, forma de las distribuciones de probabilidad o todos estos indicadores juntos. Finalmente, observa que la variabilidad natural seguirá siendo un factor importante en extremos futuros, adicional al efecto de los cambios asociados a actividades antropogénicas (IPCC, 2011).

En relación al análisis de la variabilidad de la precipitación en la región se ha propuesto que se utilicen los registros diarios de precipitación acumulada en 24 horas durante el período de 1970-2011 datos aportados por las principales estaciones meteorológicas distribuidas en los territorios de los países centroamericanos (el período puede variar dependiendo de la estación). A partir de esta variable se analizaron datos de los acumulados diarios de precipitación, el acumulado anual con referencia a las etapas del ENOS (Niño, neutral y Niña), número de días lluviosos, acumulación de lluvia en tormentas

de corta (menor de dos días), mediana (cinco días) y larga duración (diez días) para analizar intensidades y eventos de precipitación extrema registrados en cada estación meteorológica. Actualmente se cuenta con análisis de tres estaciones seleccionadas para El Salvador, siete para Honduras y ocho para Guatemala. A continuación se presentan los resultados de cuatro de ellas: Ilopango en El Salvador, Tegucigalpa y Tela en Honduras, e Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) en la Ciudad de Guatemala en el mismo país.

EL SALVADOR: ESTACIÓN ILOPANGO

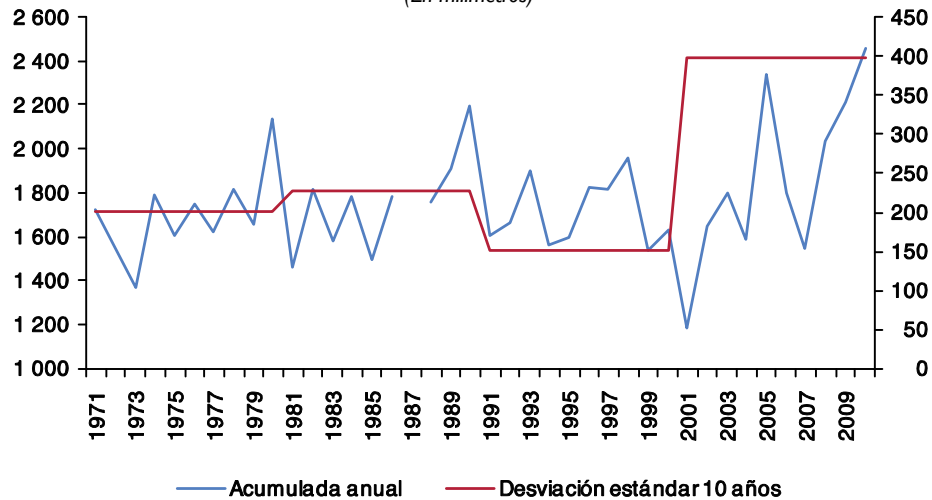
Ilopango se encuentra a 10 km al este de la ciudad de San Salvador, se caracteriza por estar ubicado en terrenos en planicie y alomados de la vertiente del Pacífico, posee un clima cálido y pertenece al tipo de tierra caliente o sabana tropical caliente, con un promedio de precipitación de 1,765 mm anual. Su latitud norte es 13° 41' y longitud oeste 89° 07' en una elevación de 615 metros sobre el nivel del mar (msnm).

En el gráfico 10 se muestra en azul la precipitación acumulada anual en la estación Ilopango, mientras que la línea roja permite observar la desviación estándar de la serie por períodos de diez años. Así, es posible apreciar que la desviación estándar por década ha aumentado progresivamente, excepto en la década de los noventa en la cual disminuyó. Lo anterior implica un incremento en la variabilidad de la precipitación anual por década durante el período 1971 a 2010.

La posible existencia de tendencias o aumentos en variabilidad climática se analiza en base a diferentes pruebas estadísticas. Estas pruebas determinan si los cambios en la media o varianza de la precipitación, registrados durante el período histórico 1971 a 2010, son estadísticamente significativos. La inferencia estadística basada en el uso de estas pruebas está sujeta al cumplimiento de supuestos como independencia, normalidad y homogeneidad, los cuales en la mayoría de los casos son difíciles de probar, por tanto, los resultados de estas pruebas deben ser tomados con reserva.

Los resultados de la prueba de igualdad en la varianza por década en la precipitación indican que los cambios han sido significativos. Es decir, la precipitación acumulada anual registrada en la estación Ilopango ha mostrado una mayor variabilidad durante el período 1971 a 2010.

GRÁFICO 10
EL SALVADOR, ILOPANGO: PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANUAL Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR, 1971 – 2010
(En milímetros)



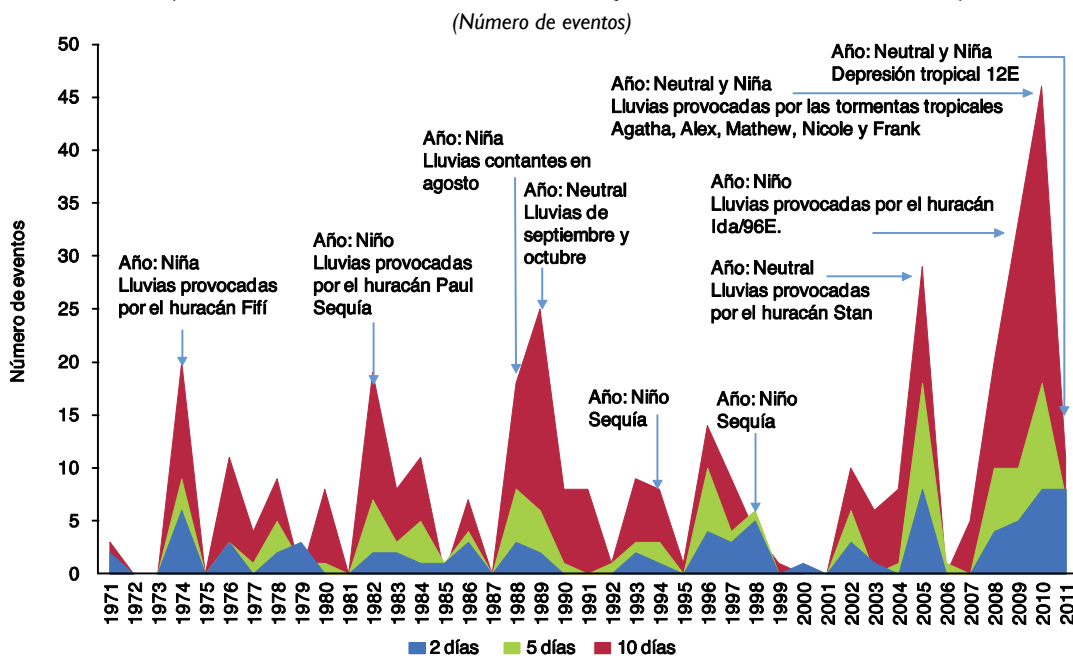
Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el MARN.
Nota: No se incluyó el año 1987 por registros diarios incompletos en ese año.

De acuerdo a los resultados de distintas pruebas es posible concluir que el cambio en la media de precipitación acumulada anual no es estadísticamente significativo, aunque ésta variable muestra un incremento durante la última década. Al mismo tiempo, el promedio de número de días de lluvia se mantuvo estable, lo que sugiere que durante la última década se tuvo una cantidad mayor de precipitación, durante el mismo número de días pero con una variabilidad significativamente mayor.

Un análisis más, consistió en observar el comportamiento de la intensidad de las lluvias y su evolución en el tiempo. Utilizando los registros de precipitación diaria en la estación meteorológica, se midió todos los días del año la acumulación a dos, cinco y diez días de lluvia consecutiva, es decir sumando la cantidad de lluvia en días consecutivos (sin importar que la lluvia fuera cero) para los 365 días del año. El conteo se traslapa, debido a que el primer registro de lluvia consecutiva de dos días es la suma del primer día con el segundo, el segundo registro de lluvia consecutiva es la suma del segundo y tercero, y así sucesivamente, de igual forma para los eventos de cinco y diez días. Se toma un umbral de 100, 150 y 200 mm de precipitación para contabilizar los días que sobrepasaron el umbral para dos, cinco y diez días de lluvia respectivamente, eso da un referente de los eventos de corta, media y larga duración, los resultados se muestran en el gráfico 11 y en el cuadro 1.

El gráfico 11 muestra como los eventos con lluvia mayor a 100 mm por dos días consecutivos variaban históricamente entre 0 a 5 eventos, pero con un aumento en los últimos diez años. En cuanto a los eventos de cinco días de lluvia consecutiva superior a 150 mm, han fluctuado hasta diez eventos anuales, teniendo una tendencia positiva de lluvia acumulada superior marcada en máximos a partir de 2005. Finalmente, la incidencia de eventos de duración de diez días y superiores a 200 mm tiene una clara tendencia positiva en cuanto a frecuencia y máximos en los últimos diez años esto principalmente ocasionado por huracanes y tormentas tropicales.

GRÁFICO 11
EL SALVADOR, ILOPANGO. NÚMERO DE EVENTOS QUE SOBREPASAN UMBRALES, 1971-2011



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el MARN.

Nota: Los eventos de sequía son eventos registrados en EM-DAT (2011).

No se incluyó el año 1987 debido a registros diarios incompletos en ese año y el año 2011 incluye información hasta el 31 de octubre.

Los umbrales corresponden a 100, 150 y 200 mm acumulados en 2, 5 y 10 días consecutivos.

El cuadro 1 refleja como los eventos de corta duración (dos días) superiores a 100 mm se mantuvieron relativamente constantes durante 1971 a 2000, y en la última década se han duplicado. Los eventos de mediana duración (cinco días) han presentado mayor variabilidad en la década de 1981 a 1990, aumentaron respecto a la década anterior, para disminuir en la siguiente década y duplicarse en la última década. En cuanto a los eventos de larga duración (diez días), mostraron la misma tendencia en las primeras décadas que los de mediana duración, pero para la última década llegaron a 168 días, tres veces mayor al presentado en los años setenta. Este último resultado es indicativo del gran número de eventos extremos que se han presentado en la región y que han traído mayor lluvia de la estacional, como los huracanes Isidore (2002), Stan (2005), Ida/E96 (2009), Agatha, Alex y Matthew (2010) e incluso la depresión tropical 12E de 2011.

CUADRO I
EL SALVADOR, ILOPANGO: NÚMERO DE EVENTOS QUE SOBREPASAN UMBRALES, 1971 - 2011

(Número de eventos)

	2 días de lluvia	5 días de lluvia	10 días de lluvia
1971-1980	16	20	55
1981-1990	14	35	97
1991-2000	16	27	55
2001-2011	37	71	168

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el MARN.

Nota: No se incluyó el año 1987 debido a registros diarios incompletos en ese año y el año 2011 incluye información hasta el 31 de octubre. El período 2001-2011 incluye un año más.

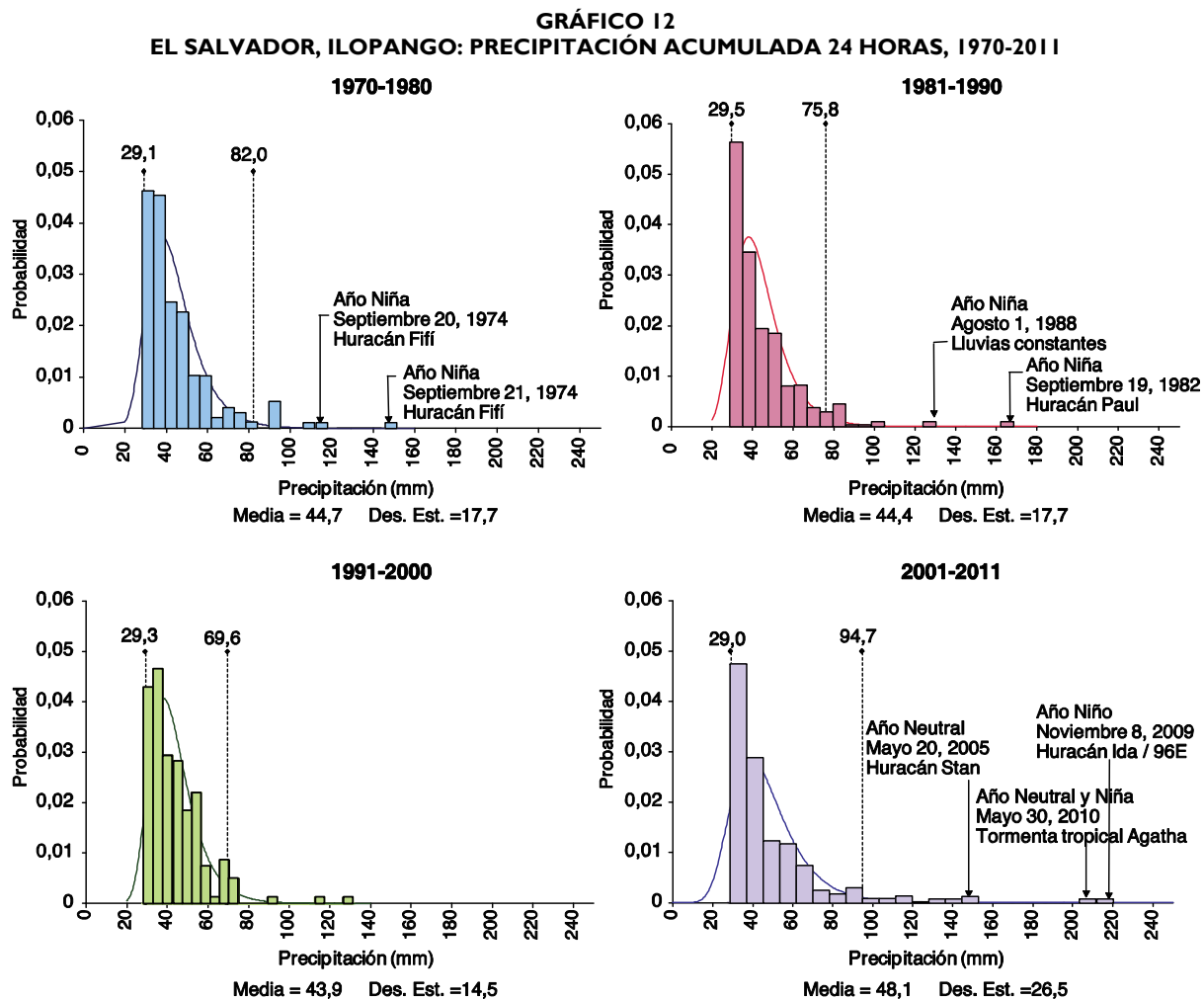
Los umbrales corresponden a 100, 150 y 200 mm acumulados en 2, 5 y 10 días consecutivos.

Los estudios realizados recientemente analizan tanto ocurrencia como comportamiento de los eventos extremos con precipitación diaria en distintas partes del mundo; por ejemplo Guhathakurta y otros (2010), Guhathakurta, Sreejith y Menon (2011), y Shukla, Trivedi y Kummar (2010) analizan el comportamiento de los extremos de los niveles de precipitación considerando un conjunto representativo de estaciones en la India y aproximando el comportamiento de ésta variable bajo una distribución de extremos generalizados, Chu y otros (2009) analizan los días con lluvia acumulada de 24 horas por encima de un umbral determinado del 90 y 99 percentil para el caso de Hawái utilizando una distribución de extremos generalizados. Otros estudios incluyen Coles, Pericchi y Sisson (2003) para el caso de Venezuela, Overeem (2009) en los Países Bajos, y Park y Jung (2002) para el caso de Corea del Sur, entre otros. Este análisis tiene como antecedente un análisis estadístico realizado por Lemus y Nerys (2011) de El Salvador.

En esta sección se analiza el comportamiento de los eventos diarios que han presentado un mayor nivel de precipitación. Para este análisis se seleccionaron por década los eventos que han sobrepasado niveles de precipitación diaria mayores o igual al 95% de las observaciones. Estos valores se ajustaron al comportamiento de una distribución de extremos de niveles generalizados. El gráfico 12 muestra la distribución de frecuencia de los eventos y la línea continua muestra el ajuste a la distribución. En general, durante el período 1971 a 2011 se puede apreciar que no ha existido un incremento en la intensidad de los eventos extremos localizados en el extremo derecho de la distribución. Durante la década de los setenta el evento que registró mayores niveles diarios de precipitación ocurrió los días 20 y 21 de Septiembre de 1974 con el Huracán Fifi, donde los registros alcanzaron los 120 y 150 mm diarios, respectivamente, es decir un total de 270 mm acumulados en 48 horas.

Durante la década de los ochenta los niveles de mayor precipitación se alcanzaron con el Huracán Paul en 1982 y en agosto de 1988 durante un período de lluvias constantes; durante estos eventos los registros de precipitación alcanzaron los 170 y 130 mm, respectivamente. Durante la década de los noventa no fue posible identificar lluvias extremas asociadas a eventos específicos, sin embargo los registros máximos registran valores de 120 y 131 mm. Finalmente durante la última década se presentaron los mayores registros diarios de precipitación durante el período 1971 a 2011. Estos fenómenos se encuentran asociados a la tormenta tropical Agatha (2010), el Huracán Ida / E96 (2009) y el Huracán Stan (2005), durante la cual los registros de precipitación alcanzaron máximos históricos de 220, 210 y 150 mm, respectivamente.

Analizando las cuatro secciones del gráfico 12, es posible apreciar un incremento en la variabilidad de los fenómenos diarios de precipitación extrema, donde los registros máximos por década sobrepasan de valores entre 120 y 150 mm durante los setenta a extremos de 210 y 220 mm durante la última década. Mientras que no se aprecia un cambio significativo en el valor promedio de los eventos extremos históricos diarios, la desviación estándar se ha modificado de un valor 9,9 mm a 12,8 mm, de acuerdo al ajuste de la distribución de extremos generalizados. Durante la década de los noventa se aprecian los menos eventos extremos de precipitación diaria.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el MARN.

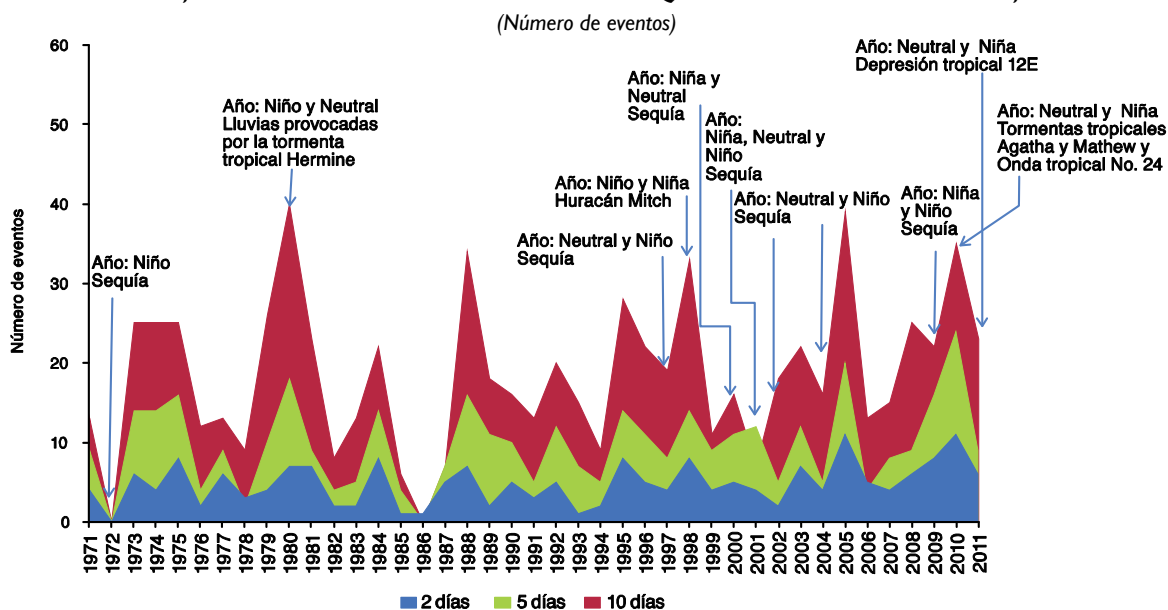
Nota: La última década incluye cifras hasta Octubre de 2011.

HONDURAS: ESTACIÓN TEGUCIGALPA

Tegucigalpa se encuentra en latitud norte 14° 06' y longitud oeste 87° 13', ubicada en el Departamento Francisco Morazán, localizado en una cadena montañosa a una altura de 935 metros sobre el nivel del mar (msnm) y 1,463 msnm en un área rodeada por bosques de pinos. La ciudad tiene un clima tropical, aunque templado por la altitud por lo que es menos húmedo que los valles más bajos y las regiones costeras.

Los resultados de diversas pruebas sugieren que los registros anuales de precipitación en la estación Tegucigalpa han mostrado un comportamiento estable en lo referente a la precipitación acumulada anual, promedio de diez años, durante todo el período 1971 a 2011. Del mismo modo tanto la variabilidad de la precipitación y el número de días lluviosos, los resultados obtenidos se muestran en el gráfico 13 y el cuadro 2, en un promedio de diez años, no muestran variaciones significativas. La estación de Tegucigalpa se caracteriza por tener los registros diarios de menor precipitación en relación a otras estaciones del territorio hondureño. Por esta razón se decidió utilizar umbrales de 50, 75 y 100 mm acumulados en dos, cinco y diez días consecutivos de lluvia para definir tormentas de corta, mediana y larga duración. Se puede apreciar que, el número de tormentas de corta, mediana y larga duración ha aumentado. En particular destaca el incremento durante la última década de estudio.

GRÁFICO 13
HONDURAS, TEGUCIGALPA: NÚMERO DE EVENTOS QUE SOBREPASAN UMBRALES, 1971-2011
(Número de eventos)



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados del Servicio Meteorológico Nacional de Honduras.

Nota: El año 2011 incluye información hasta el 31 de octubre.

Los umbrales corresponden a 50, 75 y 100 mm acumulados en 2, 5 y 10 días consecutivos.

CUADRO 2
HONDURAS, TEGUCIGALPA: NÚMERO DE EVENTOS QUE SOBREPASAN UMBRALES, 1971-2011
(Número de eventos)

Período	2 días de lluvia	5 días de lluvia	10 días de lluvia
1971-1980	44	96	188
1981-1990	40	80	147
1991-2000	45	96	186
2001-2011	68	124	235

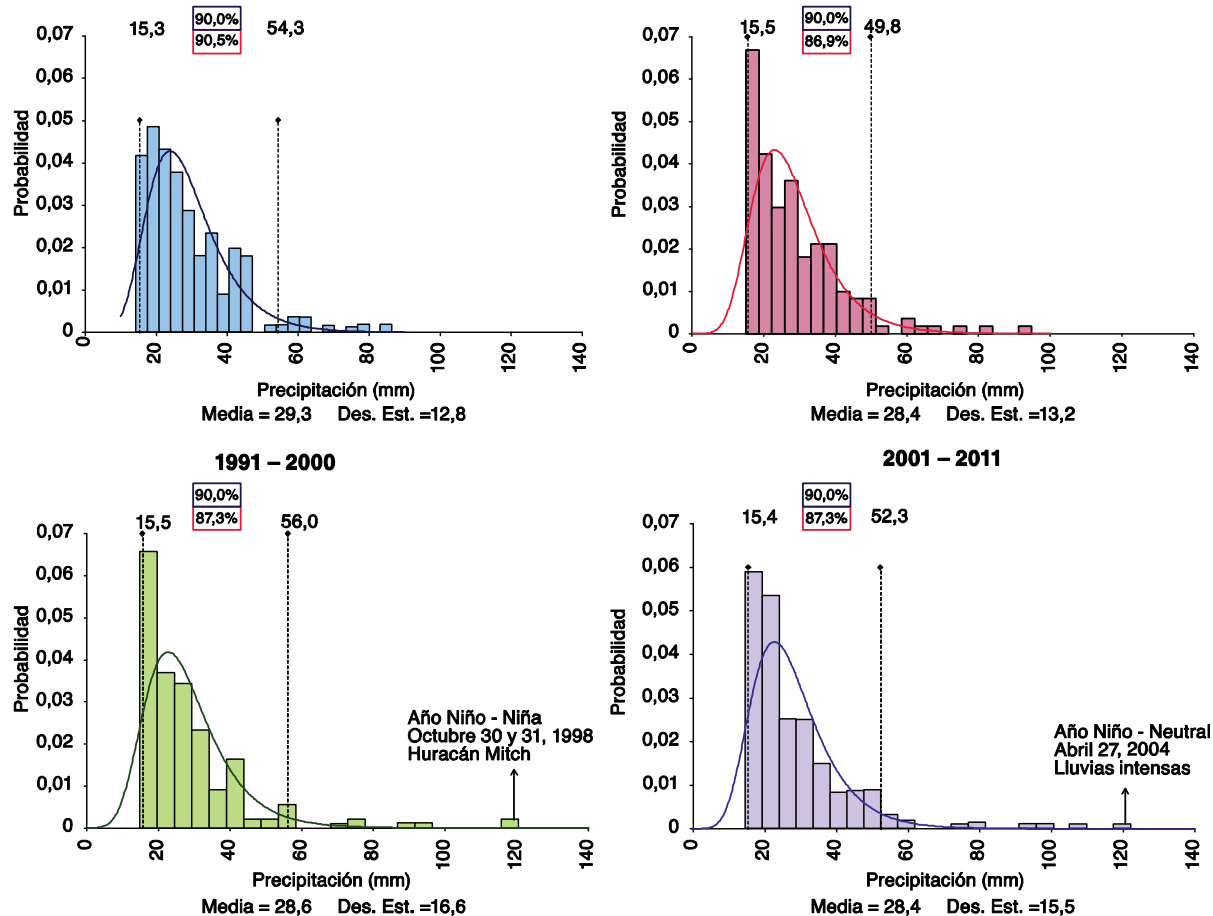
Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados del Servicio Meteorológico Nacional de Honduras.

Nota: El año 2011 incluye información hasta el 31 de octubre. El período 2001-2011 incluye un año más.

Los umbrales corresponden a 50, 75 y 100 mm acumulados en 2, 5 y 10 días consecutivos.

Una parte importante del análisis consistió en estudiar la intensidad y el número de eventos de precipitación extrema registrados en las estaciones meteorológicas. Para lo anterior se seleccionaron los eventos por década que han presentado niveles de precipitación diaria mayores o iguales al 95% de las observaciones para cada estación y se ajustaron al comportamiento de una distribución de extremos generalizados. Los resultados muestran que la cantidad e intensidad de los registros extremos de precipitación acumulada en 24 horas se han mantenido estables en las estaciones Catacamas, Choluteca, La Ceiba y Yoro, mientras que en las estaciones Santa Rosa de Copán, Tegucigalpa y Tela los registros máximos han aumentado, esto se aprecia como un alargamiento de la cola derecha de la distribución. Los niveles diarios de precipitación en la estación Tegucigalpa son bajos, comparados con otras estaciones en su territorio, véase gráfico 14. Una característica relevante de los registros extremos de precipitación en la estación La Ceiba, es que ninguno se encuentra asociado a algún fenómeno hidrometeorológico extremo como pueden ser huracanes o tormentas tropicales, en este caso todos los registros extremos de los niveles se asocian a períodos de precipitación intensa en la región.

GRÁFICO 14
HONDURAS, TEGUCIGALPA: PRECIPITACIÓN ACUMULADA 24 HORAS, 1971 - 2011



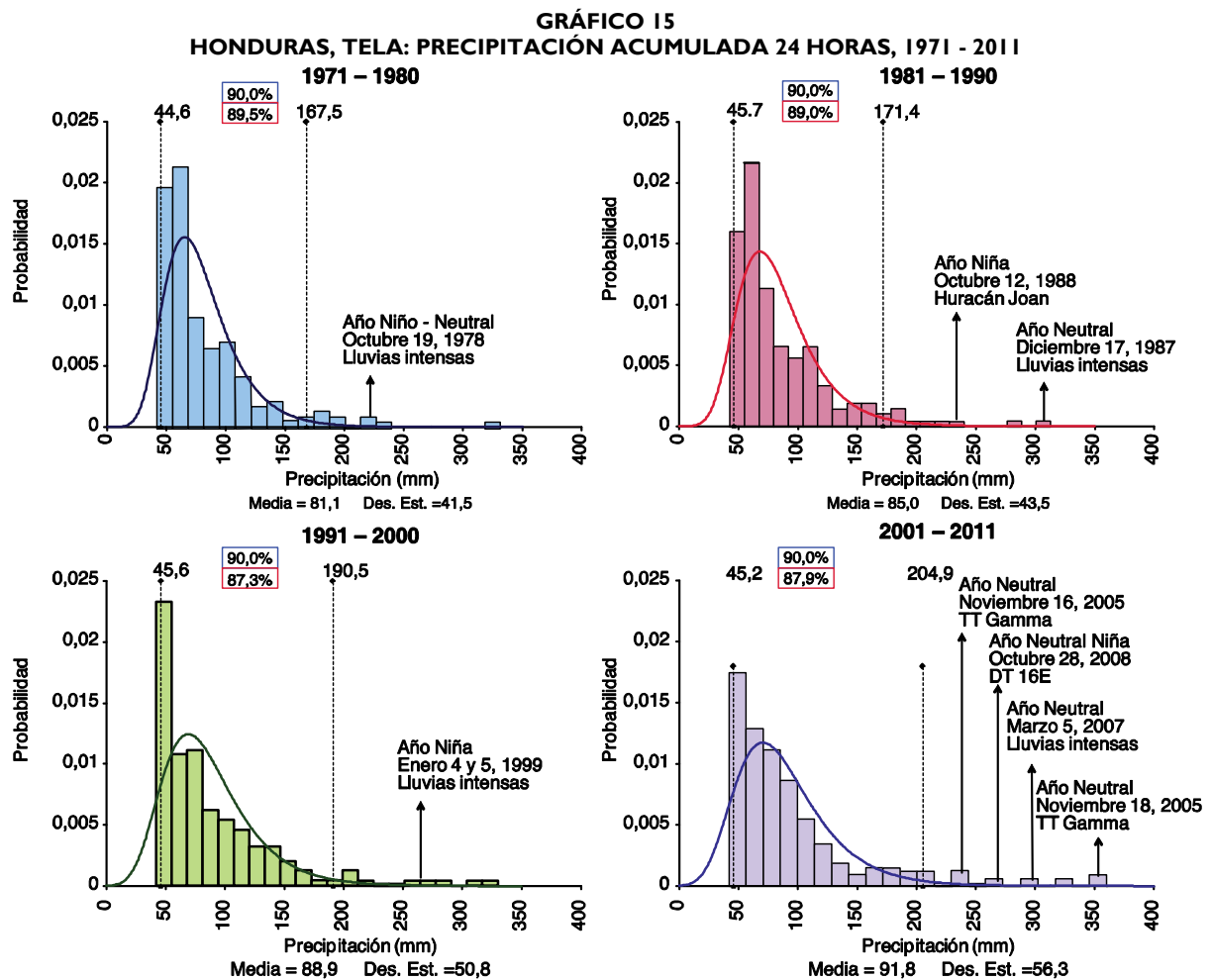
Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados del Servicio Meteorológico Nacional de Honduras.

Nota: La última década incluye cifras hasta Octubre de 2011.

HONDURAS: ESTACIÓN TELA

Tela se ubica en el departamento de Atlántida en la costa del Océano Atlántico. Se encuentra en la latitud norte 15° 78' y longitud oeste 87° 45' a 3 msnm. Posee un clima tropical lluvioso a excepción de

diciembre a marzo. Presentó una precipitación acumulada promedio anual de 2.925 mm en el período 1971 a 2010. En la estación de Tela resulta de especial relevancia el aumento en el nivel medio de los registros superiores o igual al 95% de lo observado, véase gráfico 15. Durante la década de los setenta el valor medio fue de 81,1 mm. Este valor pasó a 85 mm durante los ochenta, 88,9 mm durante los noventa y para la última década fue de 91,8 mm. También llama la atención el incremento en la variabilidad de los registros, medido por la desviación estándar de las observaciones. Durante los setenta ésta cifra fue de 41,5 mm, aumentando a 43,5 mm y 50,8 mm para las décadas ochenta y noventa, respectivamente. Durante la última década se tiene una desviación estándar de 56,3 mm. Es decir, durante la última década el valor medio y la desviación estándar representan el nivel máximo en 40 años. Por último, resulta interesante el incremento del rango que contiene al 90% de las observaciones incluidas en el gráfico 15. Este rango se ha ampliado considerablemente durante el período de estudio y ha pasado de un valor de 44,6 – 167,5 mm durante la década de los setenta, a 45,2 – 204,9 mm en la última década.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados del Servicio Meteorológico Nacional de Honduras.

Nota: La última década incluye cifras hasta Octubre de 2011.

GUATEMALA: ESTACIÓN INSIVUMEH

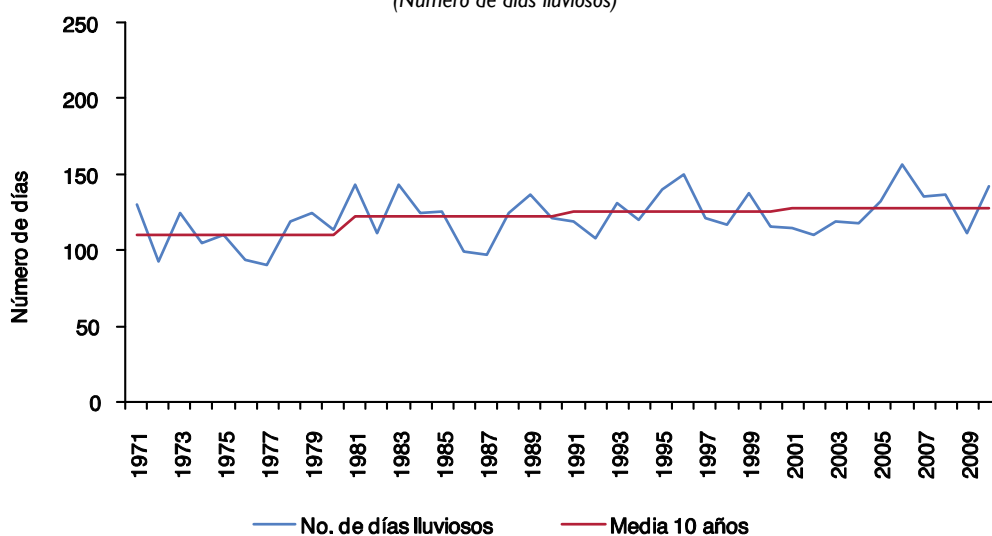
La estación del INSIVUMEH se localiza en la ciudad de Guatemala, en la región centro del país, ubicada en la latitud norte 14° 35' y longitud oeste 90° 32', a una altura de 1,502 msnm. La ciudad de Guatemala está ubicada en el valle de la Ermita, tiene un clima subtropical de tierras altas y casi primaveral a lo largo

del año. Con un rango de precipitación durante el período de 1970 a 2011 va de los 900 mm a los 2.000 mm, con un promedio de 1,196 mm en el período. Los resultados de diversas pruebas estadísticas sugieren que se ha incrementado el promedio de lluvia acumulada por década, igualmente, el número de días lluviosos ha tenido cambios en el tiempo (véase gráfico 16), cambios que estadísticamente son significativos.

El número de eventos de duración de dos, cinco y diez días por encima de los umbrales propuestos se presentan en el cuadro 3. En todos los casos se observa un incremento significativo en el número de eventos, sobre todo en la última década. El número de estos eventos en la última década es considerable, debido al Huracán Stan (2005), la tormenta tropical Agatha (2010) e incluso por la depresión tropical 12E (2011).

Eventos con lluvia acumulada para dos, cinco y diez días se muestran en el gráfico 17. En el caso del umbral mayor a 100 mm obtenido en dos días consecutivos, el máximo es de cinco eventos. Desde 2005 se han presentado con mayor frecuencia la acumulación de precipitación. Respecto a los eventos de cinco días de lluvia consecutiva superiores a 150 mm, han fluctuado considerablemente. La mayor acumulación de lluvia consecutiva en dos, cinco y diez días ocurrió en 2010 y fue resultado de las tormentas tropicales Agatha y Hermine.

GRÁFICO 16
GUATEMALA, INSIVUMEH: NÚMERO DE DÍAS LLUVIOSOS Y SU MEDIA, 1971-2011
(Número de días lluviosos)



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el INSIVUMEH.

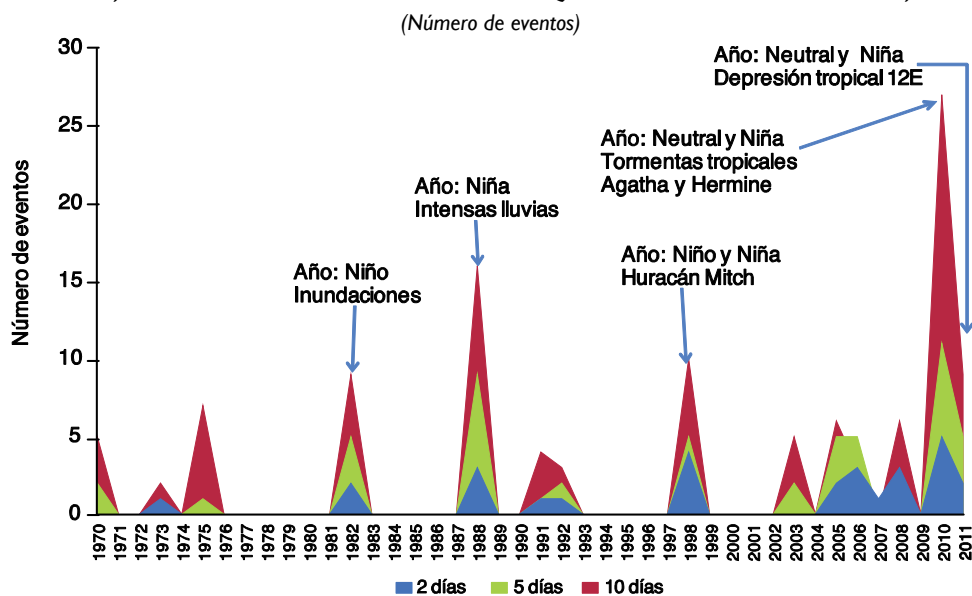
CUADRO 3
GUATEMALA, INSIVUMEH: NÚMERO DE EVENTOS QUE SOBREPASAN UMBRALES, 1971-2011

Período	2 días de lluvia	5 días de lluvia	10 días de lluvia
1971-1980	1	1	9
1981-1990	5	14	25
1991-2000	6	8	17
2001-2011	10	30	56

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el INSIVUMEH.

Nota: La información de 2011 incluye datos hasta el 31 de octubre. El período 2001-2011 incluye un año más. Los umbrales corresponden a 100, 150 y 200 mm acumulados en 2, 5 y 10 días consecutivos.

GRÁFICO 17
GUATEMALA, INSIVUMEH: NÚMERO DE EVENTOS QUE SOBREPASAN UMBRALES, 1970-2011



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el INSIVUMEH.

Nota: Los eventos de sequía son eventos registrados en EM-DAT (2011). La información de 2011 incluye datos hasta el 31 de octubre.

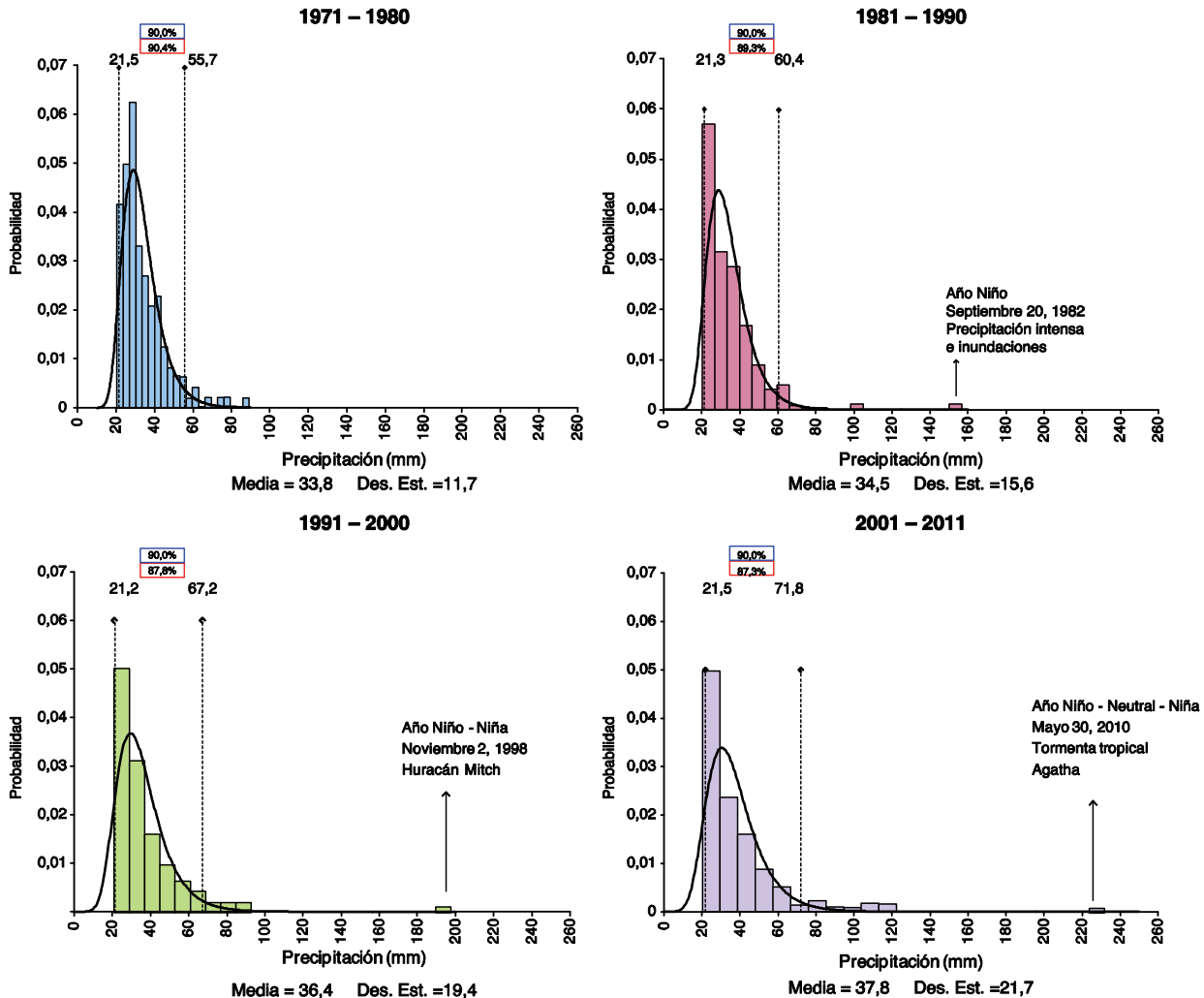
Los umbrales corresponden a 100, 150 y 200 mm acumulados en 2, 5 y 10 días consecutivos.

Los eventos diarios que han mostrado un nivel de precipitación mayor o igual al 95% de las observaciones se ajustaron al comportamiento de una distribución de extremos generalizados. El gráfico 18 muestra la distribución de frecuencia de los eventos por década y la línea continua indica el ajuste de la distribución. El análisis del período 1971 a 2011 muestra un incremento en la intensidad de los eventos extremos, el cual se puede observar en el extremo derecho de la distribución. En la década de los setenta se registraron niveles de precipitación máximos de 90 mm. Durante la década de los ochenta el mayor nivel de precipitación se alcanzó el dos de septiembre de 1982, el cual está relacionado con intensa precipitación e inundaciones. Para la década de los noventa las lluvias extremas se asociaron al Huracán Mitch y se presentaron el dos de noviembre de 1998. El nivel de precipitación acumulada fue de 200 mm. En la última década, el mayor registro diario de precipitación ocurrió el 30 de mayo de 2010 y estuvo asociado a la tormenta tropical Agatha, alcanzando un registro de precipitación histórico de 220 mm. Las cuatro secciones del gráfico 18 indican, que tanto la media como la varianza de los fenómenos diarios de precipitación extrema se han incrementado, los registros máximos por década aumentaron de menos de 100 mm en los años setenta a extremos de 220 mm durante la última década.

En resumen, Centroamérica está generando evidencia sobre un significativo aumento en la frecuencia de eventos extremos, como inundaciones, tormentas y huracanes. El aumento de las temperaturas en su territorio y en los dos océanos vecinos, lo cual según la ciencia debe generar una mayor evaporación, eventos más extremos de precipitación acumulada así como una mayor intensidad de huracanes y justamente evidencia de esto es la intensidad en las lluvias que la región está experimentando. Grupos de expertos internacionales están estableciendo métodos que permitan estimar la complementariedad el efecto del cambio climático y los eventos extremos, aún a veces para un evento particular. Así que para Centroamérica, la hipótesis de que parte del aumento en los eventos extremos es atribuible al cambio climático más allá de la variabilidad natural del clima es

digna de consideración y se propone seguir preparando este tipo de análisis técnico requerido a expertos de la región y socios internacionales.

GRÁFICO 18
GUATEMALA, INSIVUMEH: PRECIPITACIÓN ACUMULADA 24 HORAS, 1971-2011



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionadas por el INSIVUMEH.

Nota: La última década incluye cifras hasta Octubre de 2011.

El cambio climático pudiera considerarse solamente como un fenómeno que nos afectaría en un futuro lejano y no atendible dadas las restricciones presupuestarias profundizadas por la actual recesión global aunada a las presiones de las urgencias sociales y económicas ya existentes. Pero la evidencia de cambios en el clima y los actuales crecientes impactos de eventos extremos como la depresión tropical 12E evidencian que la toma de medidas debe ser urgente, mientras que la amenaza creciente de aún mayores impactos y costos en el futuro nos exigen que estas medidas de reconstrucción sean hechas de forma diferente que en el pasado, con cambios en normas de infraestructura, con esfuerzos para proteger las cuencas hidrológicas y las barreras costeras naturales como los manglares y una mejor gestión del recurso hídrico, que contemple cambios en el diseño y ubicación de hogares, infraestructura social y comunidades, entre muchas otras posibles medidas. Esta inversión reduciría la vulnerabilidad y los costos asociados a los próximos eventos extremos y permitiría al mismo tiempo generar mayor resiliencia a los peores impactos que progresivamente se prevén por el cambio climático.

4. IMPACTOS POTENCIALES EN ARIDEZ Y MESES SECOS

En el marco de esta iniciativa, el estudio realizado sobre impactos potenciales en la aridez y meses secos busca estimar el potencial efecto del cambio climático en la aridez y el patrón de meses secos en la región que repercutirían en la producción agrícola, generación hidroeléctrica, consumo humano de agua y ecosistemas con altos requerimientos de humedad, como el bosque tropical húmedo montano bajo (CEPAL, COSEFIN, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2012b). Los análisis presentados se beneficiaron de la colaboración con los socios de la iniciativa del Mecanismo Mundial de la Convención de Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (MM-CNULD) en la selección de la metodología y la preparación de los estudios exploratorios.

En Centroamérica existe una zona más árida que el resto, el “corredor seco” el cual, junto con otras partes de la región, han sido seriamente afectadas por períodos de sequía. El corredor seco abarca regiones de todos los países, pero su mayor porción territorial está ubicada en la vertiente del océano Pacífico (MARENA, 2001; Ramírez, 1983; CEPAL, 2002). Entre los años 1974 y 2004, la mayor concentración de eventos de sequía se registraron en Guatemala, Honduras, Nicaragua, la costa pacífica de Costa Rica y la costa atlántica de Panamá. Las sequías más severas han ocurrido en los territorios del Oriente, en los Departamentos de Alta Verapaz y parte de El Petén en Guatemala, el norte del Departamento de Cortés y la parte norponiente de Gracias a Dios en Honduras, el Departamento de Rivas en Nicaragua, el norte de la Provincia de Guanacaste en Costa Rica. Las sequías se asocian con procesos de degradación ambiental, los que, combinados con condiciones climáticas adversas, incrementan su recurrencia y sequedad. El fenómeno El Niño suele causar daños y pérdidas considerables en todos los países de la región, lo que podría intensificarse por los efectos ya pronosticados del cambio climático (PNUMA, PNUD, EIRD y Banco Mundial, 2010).

MAPA 5
CENTROAMÉRICA: ÁREAS DENTRO DEL CORREDOR SECO



Fuente: Estrategia Regional de Cambio Climático, CCAD y SICA 2010, (de P. Ramírez, 2007).

Una sequía particularmente severa ocurrió en 2001 con reducción significativa de la lluvia entre los meses de junio y agosto, impactos en la producción agrícola e hidroeléctrica, disponibilidad de agua para consumo humano y seguridad alimentaria, entre otros. En la evaluación de este fenómeno se recomendó que las estrategias de adaptación a sequías deben incorporar las amenazas del cambio climático a mediano y largo plazos (CEPAL y CCAD, 2002).

La sequía es un fenómeno extremo caracterizado por escasez de lluvia relativo al promedio histórico de una zona geográfica. Su impacto es evidente en el ambiente mediante la aceleración del proceso de desertificación, aumentando el riesgo de incendios y limitando la disponibilidad de agua para usos doméstico e industrial. A diferencia de las inundaciones, cuyos impactos se perciben en un breve período de tiempo, los efectos de las sequías severas pueden ser difíciles de medir durante meses o años (White y Walcott, 2009). La diversidad de tipologías climáticas dificulta la comparación de sequías a escala global. Las investigaciones de Fleig y otros (2006), Van Lanen y Tallaksen (2007) y Sheffield y otros (2009), entre otros, muestran las dificultades de utilizar un solo indicador de sequía a escala global.

La sequía meteorológica se caracteriza por falta de precipitación, la cual se presenta comúnmente con una evapotranspiración potencial superior a lo normal por un largo período en una gran extensión de terreno (Tallaksen y Van Lanen, 2004). Se habla de sequía agrícola cuando la humedad del suelo no es suficiente para permitir el desarrollo de determinados cultivos. Ya que cada cultivo tiene características fenológicas propias, no es posible adoptar un indicador único que sea válido para un área geográfica. (Marcos, 2001). La sequía hidrológica generalmente se refiere a condiciones en las que los niveles de diferentes cuerpos de agua son inferiores a lo normal (Tallaksen y Van Lanen, 2004 y Fleig, 2004). La sequía constituye un riesgo cuando se presenta en regiones geográficas semiáridas, subhúmedas y húmedas (caso del área de estudio) que normalmente no están sujetas al déficit hídrico de suelo y subsuelo en forma sostenida durante el período de crecimiento de las plantas. En las regiones hiperáridas y áridas, en cambio, la precipitación pluvial es nula o muy escasa. La sequía socioeconómica supone una disminución de la disponibilidad de agua al punto de producir daños a la economía o a la población. La aridez y la sequía pueden ocurrir en una misma zona geográfica, pero son fenómenos distintos. En términos generales se le define como “tiempo seco de larga duración” (Diccionario de la Real Academia Española, 2012). Puede ocurrir con cierta frecuencia como parte de la variabilidad climática natural, pero su intensidad y duración pueden ser modificadas por la actividad humana, especialmente por la deforestación, la degradación de ecosistemas y el cambio climático (Wilhite y Buchanan-Smith, 2005). Cuando la temperatura, la precipitación o fenómenos como El Niño sufren cambios permanentes, la zona afectada puede experimentar cambios en su nivel de aridez o en su patrón de meses secos más allá de una sequía entendida como evento extremo. No obstante, los cambios de este tipo pueden ser percibidos como prolongación e intensificación de condiciones de sequía habituales. En este sentido, los análisis deben ampliarse para abarcar las posibles tendencias de aridez futura.

Este estudio analiza la evolución de la aridez y el patrón intraanual de meses secos por país, departamento y regiones geoclimáticas, considerando la diversidad de climas y su desagregación para el diseño de acciones apropiadas. Con referencia al período histórico, estima los cambios potenciales para los cortes 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100, con dos escenarios de cambio climático: uno más pesimista (A2) y otro menos pesimista (B2). Extiende el análisis previo de temperatura y precipitación por países y temporalidad anual, disponible en el primer capítulo del Reporte Técnico publicado en 2011 (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011a) y el estudio *La economía del cambio climático en Centroamérica: Impactos potenciales en los patrones intraanuales y espaciales del clima de esta misma*

serie técnica 2012; ambos preparados por la CEPAL con un equipo técnico, revisados y aprobados por el Comité Técnico Regional (CTR) de la ECCCA, en consulta con expertos de la región.

Los indicadores de aridez y meses secos fueron calculados con la “Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe” (CAZALAC y PHI/UNESCO, 2005), como recomendado por el MM/CNUCLD. El índice de aridez es utilizado para delimitar las diferentes zonas climáticas por su sequedad según los criterios de Hassan y Dregne (1997) y los del Atlas Mundial de Desertificación (UNEP, 1997). Este índice expresa la relación insumo/pérdida de humedad. El primer factor es la precipitación media y el segundo es la pérdida es la evapotranspiración en un mismo período (CAZALAC y PHI/UNESCO, 2005). Los resultados se presentan a nivel de departamento, país y cuatro regiones geoclimáticas acordadas con el CTR, meteorólogos nacionales y la UC/CEPAL. Por tratarse de escenarios a largo plazo que integran diversas “capas” de análisis con incertidumbres y dificultades metodológicas, los resultados deben interpretarse como tendencias y magnitudes relativas, no como predicciones ni como cifras exactas.

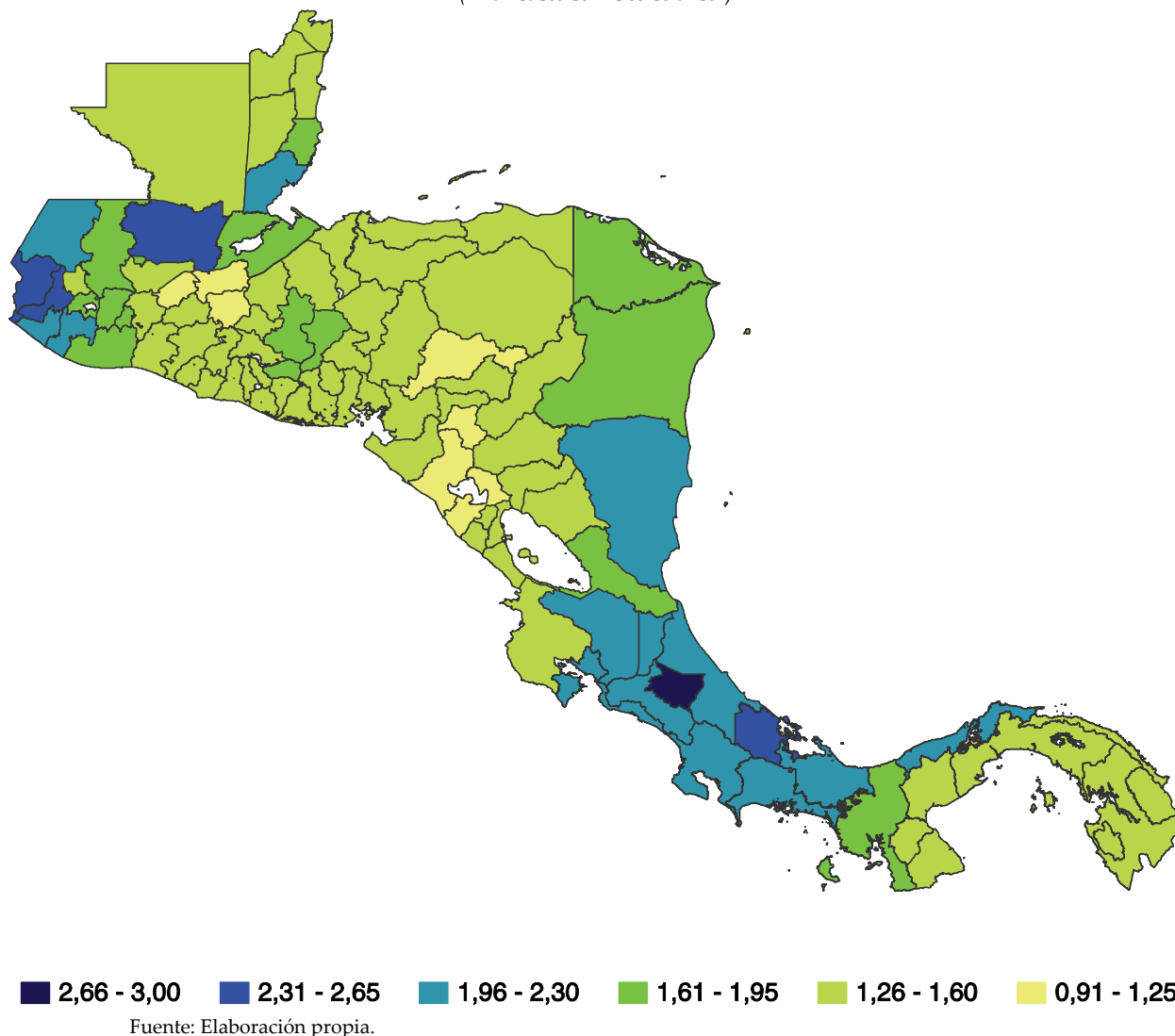
El estudio utiliza las variables de temperatura media mensual (°C) y precipitación acumulada mensual (mm) por país, departamento, distrito o provincia, según la denominación de cada país. En el análisis histórico por departamento y regiones geoclimáticas se utiliza la temperatura media y la precipitación acumulada anuales promediadas por el período 1950 a 2000, según la base de datos de WorldClim. Para estimar los escenarios al corte 2100 se utilizaron los promedios de los modelos ECHAM4 y HADCM3 (para B2) y ECHAM4 y HADGEM (para A2). Para identificar la tendencia con mayor claridad se calcularon promedios de diez años para cada año de corte: 2020 (promedio 2016 a 2025), 2030 (promedio 2026 a 2035), 2050 (promedio 2046 a 2055), 2070 (promedio 2066 a 2075) y 2100 (promedio 2091 a 2100). Para distinguir los niveles de humedad dentro de la región centroamericana se optó por clasificar los resultados del índice de aridez en seis categorías a partir de un valor de 0,91 hasta 3,00, con un intervalo de 0,34 unidades del índice de aridez. Los departamentos comprendidos en la primera categoría en el rango de 0,91 a 1,25 se clasifican como regiones subhúmedas-húmedas, mientras que las demás categorías se clasifican como regiones húmedas en distintos grados, véase mapa 6.

Los niveles de temperatura y precipitación del período 1950 a 2000 generan un índice de aridez de 1,6 para Centroamérica y todos sus departamentos, lo que la cataloga como una región húmeda, según la clasificación internacional adoptada. Sin embargo, se puede apreciar que las regiones con mayor valor del índice son parte del Altiplano Occidental guatemalteco, la mayor parte del territorio de Costa Rica y la región oeste de Panamá, que comprende las Provincias de Bocas del Toro, Chiriquí y la Comarca Ngöbe-Buglé. Los niveles de aridez también varían por región geoclimática: el del Altiplano Occidental guatemalteco es el menor con un valor del índice de aridez de 1,96, seguido por la región Atlántico (1,62), Centro (1,54) donde se presenta la mayor diversidad, y Pacífico (1,53). Los departamentos más áridos, con niveles del índice de aridez más bajos y clasificados como subhúmedos-húmedos (en el rango del índice de 0,91 a 1,25), son los Departamentos de León (1,23), Estelí (1,20) y Managua (1,14) en Nicaragua, El Paraíso (1,21) en Honduras y Chiquimula (1,14), El Progreso (1,11) y Zacapa (1,05) en Guatemala. Aunque hay diferentes clasificaciones, estos departamentos generalmente están asociados al corredor seco de Centroamérica. Otros departamentos asociados a este corredor están en el siguiente rango del índice de 1,26 a 1,60 unidades.

De acuerdo a los escenarios de cambio climático, es probable que la temperatura promedio aumente 2,5 °C en el escenario B2 y 4,2 °C en A2 hacia el corte 2100 respecto al promedio histórico

1980 a 2000. La precipitación disminuiría en 10,5% con B2 y 28,4% con A2.³ De esta forma, el cambio climático causaría alteraciones en las condiciones de humedad de la región. El mapa 7 muestra la evolución de los resultados del cálculo del índice de aridez para los departamentos de Centroamérica.

MAPA 6
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE ARIDEZ POR DEPARTAMENTO, PROMEDIO 1950–2000
 (En unidades del índice de aridez)



En el escenario menos pesimista (B2) al corte 2020, la mayoría de los departamentos experimentarían ligeros aumentos de aridez. Solo en 19% de los departamentos habría una ligera reducción de aridez, con un incremento del índice en el rango de 0 a 0,05. En contraste, en el escenario más pesimista (A2), los resultados sugieren que en la mayor parte del territorio de Centroamérica habría mayor aridez con cambios ligeros. En los Departamentos de Alta Verapaz (región Centro) y Huehuetenango, Quetzaltenango, Quiché y San Marcos (Altiplano Occidental

³ Valores reportados para el promedio de los resultados de los modelos de circulación general HADCM3, GFDL R30 y ECHAM4 para B2 y HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM4 para A2. Véase CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011.

guatemalteco) el aumento de aridez sería mayor alcanzando el rango de -0,21 a -0,40 en el cambio del índice.

Los resultados para la década 2030 muestran una tendencia a mayor aridez respecto al período histórico. Con el escenario B2, solamente tres departamentos presentarían una ligera disminución de aridez, Totonicapán, Zacapa y El Progreso en Guatemala, mientras que en el resto de Centroamérica la aridez aumentaría en el rango -0,01 a -0,20. Con el escenario A2, la aridez aumentaría respecto al período histórico con cambios en el rango de -0,01 a -0,20. En Guatemala se incrementaría el número de departamentos con aridez creciente en el rango de -0,21 a -0,40, incluyendo los Departamentos de Baja Verapaz, Chimaltenango, Izabal, Sacatepéquez, Sololá y Totonicapán, además de los cinco departamentos que perfilan este rango para el corte al 2020. El Distrito de Toledo en Belice también tendría aumento de aridez en este rango.

Hacia el corte 2050, en el escenario B2, todo el territorio de Centroamérica experimentaría aumento de aridez en el rango de -0,01 a -0,20 respecto al período histórico. Bajo el escenario A2, 42% de los departamentos experimentarían un aumento de aridez en el rango de -0,21 a -0,40 unidades. Estos departamentos se localizan en la mayor parte del territorio de Guatemala, la región Atlántico de Belice, Atlántico y Centro de Honduras, Centro de El Salvador, Atlántico y Centro de Nicaragua, Centro y Pacífico de Costa Rica y Pacífico en Panamá. Además, Alta Verapaz, Huehuetenango, San Marcos y Quetzaltenango en Guatemala, Heredia y Limón en Costa Rica y Bocas del Toro en Panamá tendrían aumento de aridez en el rango de -0,41 a -0,60; son. La Provincia de Cartago en Costa Rica tendría el mayor aumento de aridez (rango de -0,61 a -0,80).

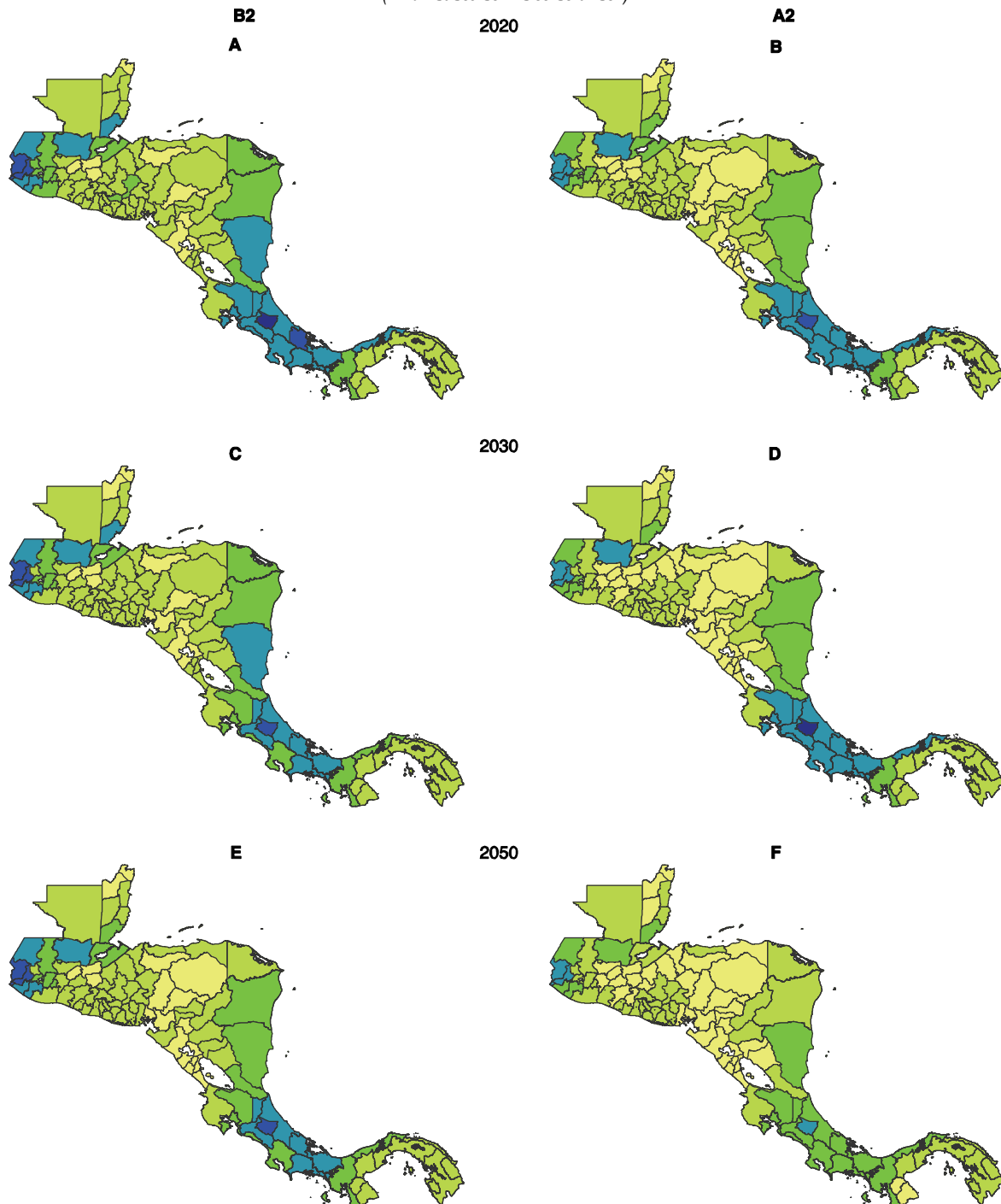
Durante la segunda mitad del presente siglo se aceleraría el aumento de aridez en ambos escenarios climáticos. En B2, para el corte 2100, 61% de los departamentos registraría un aumento de aridez en el rango de -0,01 a -0,20 unidades; 31% experimentaría un aumento en el rango de -0,21 a -0,40, principalmente en la región Atlántico, y en menor medida en las regiones Centro, Altiplano Occidental guatemalteco y la costa Pacífico de Guatemala, Costa Rica y Panamá. Las regiones con mayor aumento de aridez serían las de Centro y Atlántico de Costa Rica, y Bocas del Toro, Chiriquí y la Comarca Ngöbe-Bugle en Panamá, con disminuciones en el rango de -0,41 a -0,60 (5% de los departamentos). La provincia con mayor aumento de aridez en el escenario B2 es Cartago, Costa Rica, en el rango de -0,61 a -0,80.

En el escenario A2 las condiciones serían más severas. Para el corte 2100 se espera que únicamente 12% de los departamentos tengan rangos bajos de aumento de aridez, de -0,01 a -0,20 unidades. Tres de ellos se ubican dentro del corredor seco en la región Atlántico de Guatemala; los otros son El Paraíso en Honduras; Estelí, León, Managua, Masaya y Rivas en Nicaragua, y Los Santos y Darién y las comarcas de esta región en Panamá. 54% de los departamentos tendrían aumento de aridez en el rango de -0,21 a -0,40; 22% tendrían aumentos en el rango de -0,41 a -0,60; 8% tendrían aumentos en el rango de -0,61 a -0,80 y 4% tendrían aumentos en el rango de -0,81 a -1,00. Los departamentos con mayor aumento son Alta Verapaz (-0,85), San Marcos (-0,86) y Quetzaltenango (-0,90) en Guatemala, y la Provincia de Cartago (-1,00) en Costa Rica.

Así, para el corte 2100, Centroamérica podría experimentar niveles de precipitación y temperatura que resultarían en un valor promedio del índice de aridez de 1,4 en el escenario menos pesimista (B2) y 1,2 en el escenario más pesimista (A2). Esto significa un cambio de 0,2 y 0,4 unidades menos (mayor aridez) respecto al período 1950–2000. En el escenario B2, el Departamento de Quetzaltenango del Altiplano Occidental de Guatemala podría experimentar la menor aridez de la región con un valor máximo de 2,09, mientras que el Departamento de Zacapa de la región Atlántico

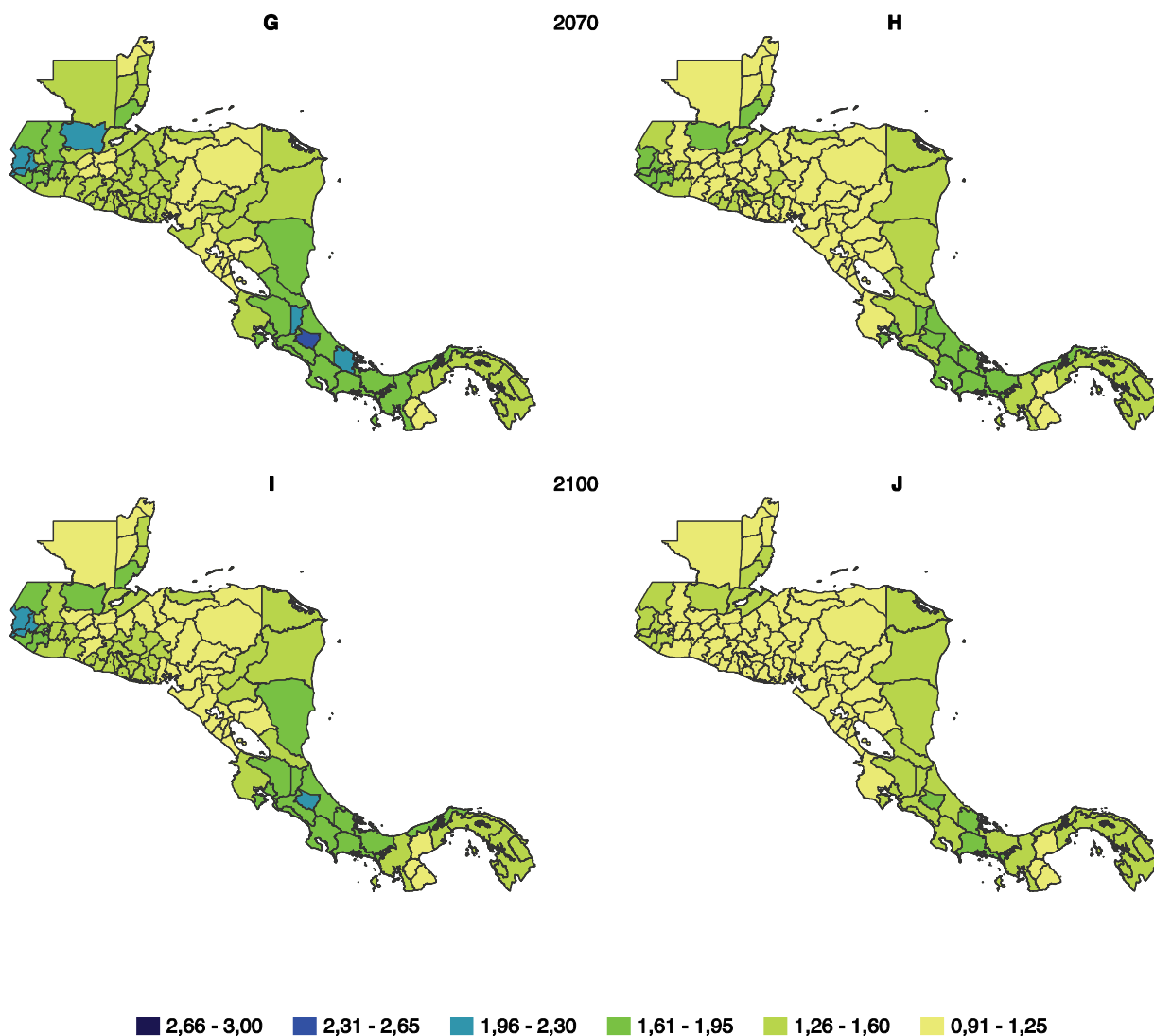
del mismo país podría enfrentar la mayor aridez con un valor mínimo de 1,01. En el escenario A2, la Provincia de Cartago en Costa Rica experimentaría la menor aridez con un valor de 1,78, y el Departamento de Zacapa en Guatemala el mayor nivel de aridez con un valor de 0,96.

MAPA 7
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE ARIDEZ POR DEPARTAMENTO, ESCENARIOS B2 Y A2, CORTES A 2100
 (En unidades del índice de aridez)



(continúa)

(continuación Mapa 7)



Fuente: Elaboración propia.

Los países con mayor humedad en la región Atlántico serán Panamá y Costa Rica con valores entre 1,51 y 1,75; los más áridos serían Guatemala y Belice con un rango de 1,06 a 1,41, dependiendo del país y el escenario. En la región Pacífico, los países con mayor humedad serían Guatemala y Costa Rica con valores entre 1,35 y 1,61, mientras que los de mayor aridez serían Honduras y Nicaragua con valores en el rango de 1,05 a 1,14. En la región Centro, el país con mayor humedad sería Costa Rica con valores de 1,58 y 1,80, mientras que el más árido sería Belice con valores de 1,09 y 1,20. Para el Altiplano Occidental guatemalteco, los resultados sugieren un valor de 1,69 en el escenario B2 y 1,26 en el escenario A2.

En general se puede observar que los departamentos que sufrirían el mayor aumento de aridez serían los que históricamente han sido más húmedos. Por el contrario, los departamentos con mayores niveles de aridez en el período 1950 a 2000 resultarían con el menor aumento de aridez durante el siglo actual. Al mismo tiempo, en términos absolutos los departamentos con menor aridez históricamente seguirían siendo los de menor aridez. Así se mantendría la distribución relativa de regiones con mayor y menor aridez, habría un aumento generalizado de aridez, más severo con el escenario más pesimista (A2) y más pronunciado en las regiones de mayor humedad. Como resultado, hacia el final del siglo, la

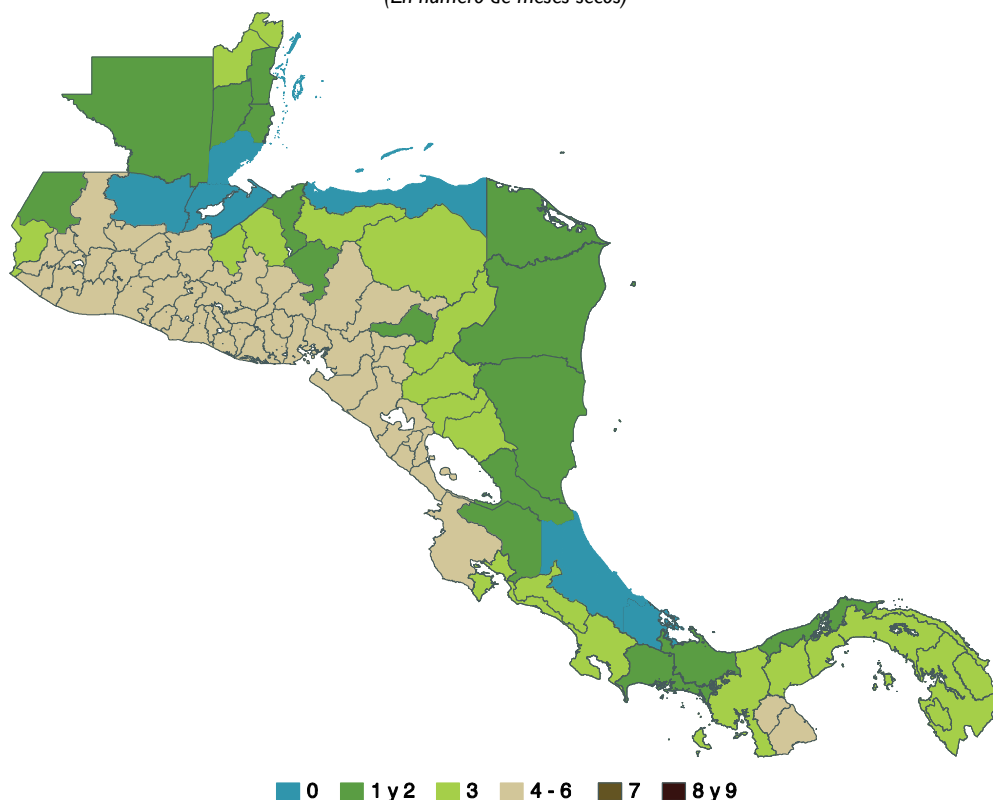
variación del índice entre las regiones climáticas se reduciría, especialmente con el escenario A2, bajo el cual las cuatro regiones tendrían un valor del índice de aridez cercano a 1,2. Esto implicaría condiciones de aridez promedio cada vez más homogéneas en gran parte de la región, similares a las zonas más áridas del arco seco centroamericano en el período histórico.

Los resultados presentados en la sección anterior sugieren que en las próximas dos décadas podrían ocurrir tendencias de mayor aridez, con algunas zonas limitadas experimentando menor aridez, seguido por una fluctuante pero progresiva acumulación de mayor aridez, especialmente en el escenario A2. Tales cambios podrían traer mayores riesgos dependiendo de la distribución intraanual de la precipitación, incluyendo el inicio, duración, estabilidad y fin de la temporada de lluvias y en la canícula. Así en esta sección se presentan estimaciones de cambios potenciales en estas variables intraanuales. En particular, se analiza el número de meses secos que ocurren en un año por departamento y región geoclimática, comparando el promedio histórico de 1950 a 2000 con los escenarios de cambio climático B2 y A2 para los cortes 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100. Un mes seco es aquel en el que la precipitación es menor al 50% de la evapotranspiración del mismo mes (CAZALAC y PHI/UNESCO, 2005). El análisis incluye consideraciones de cambios en el patrón intraanual (mes por mes) de la temporada seca por regiones y países.

En el período histórico, la región Pacífico es la que ha tenido el mayor número de meses secos por año, entre cuatro y seis, principalmente en Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua. En contraste, la región Atlántico presentaba el menor número. De hecho, en el Distrito de Toledo, en Belice, los Departamentos de Alta Verapaz e Izabal en Guatemala y Atlántida en Honduras y la región Atlántico de Costa Rica normalmente no hayan experimentado meses secos como norma histórica. El resto de esta región tiene entre uno y dos meses secos. Las regiones Centro y Altiplano Occidental guatemalteco presentan climas más diversos con entre uno y seis meses secos. Como promedio histórico, ningún departamento registra más de seis meses secos al año. El mapa 8 ilustra el número de meses secos por año en cada departamento como promedio del período 1950 a 2000, agrupado en seis rangos. Como se puede apreciar, la región Pacífico es la que ha tenido el mayor número de meses secos por año, entre cuatro y seis, principalmente en Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua. En contraste, la región Atlántico presentaba el menor número. De hecho, en el Distrito de Toledo, en Belice, los Departamentos de Alta Verapaz e Izabal en Guatemala y Atlántida en Honduras y la región Atlántico de Costa Rica normalmente no hayan experimentado meses secos como norma histórica. El resto de esta región tenía entre uno y dos meses secos. Las regiones Centro y Altiplano Occidental guatemalteco presentaban climas más diversos con entre uno y seis meses secos. Como promedio histórico, ningún departamento registraba más de seis meses secos por año.

En Centroamérica, la precipitación varía en forma significativa en su acumulado año con año, y su distribución intraanual varía geográfica y temporalmente. Estos tipos de cambios pueden ser especialmente dañinos (IPCC, 2007b). De acuerdo con los resultados de otro estudio de esta Serie técnica, "La economía del cambio climático en Centroamérica: Impactos potenciales en los patrones intraanuales y espaciales del clima", es probable que ocurran cambios en los patrones de precipitación mensual a consecuencia del cambio climático. Estos cambios son diferentes en los escenarios B2 y A2, y están relacionados con el inicio, duración y fin de la temporada de lluvias y de la canícula. Estos patrones determinarían en gran medida las condiciones climáticas de la región durante los períodos de siembra y cosecha. Otros cambios, como la mayor concentración de la precipitación, pueden provocar inundaciones y aludes y complicar el manejo del agua, el control de riego, la prevención de erosión hídrica y la agricultura de secano.

MAPA 8
CENTROAMÉRICA: MESES SECOS AL AÑO POR DEPARTAMENTO, PROMEDIO 1950–2000
 (En número de meses secos)

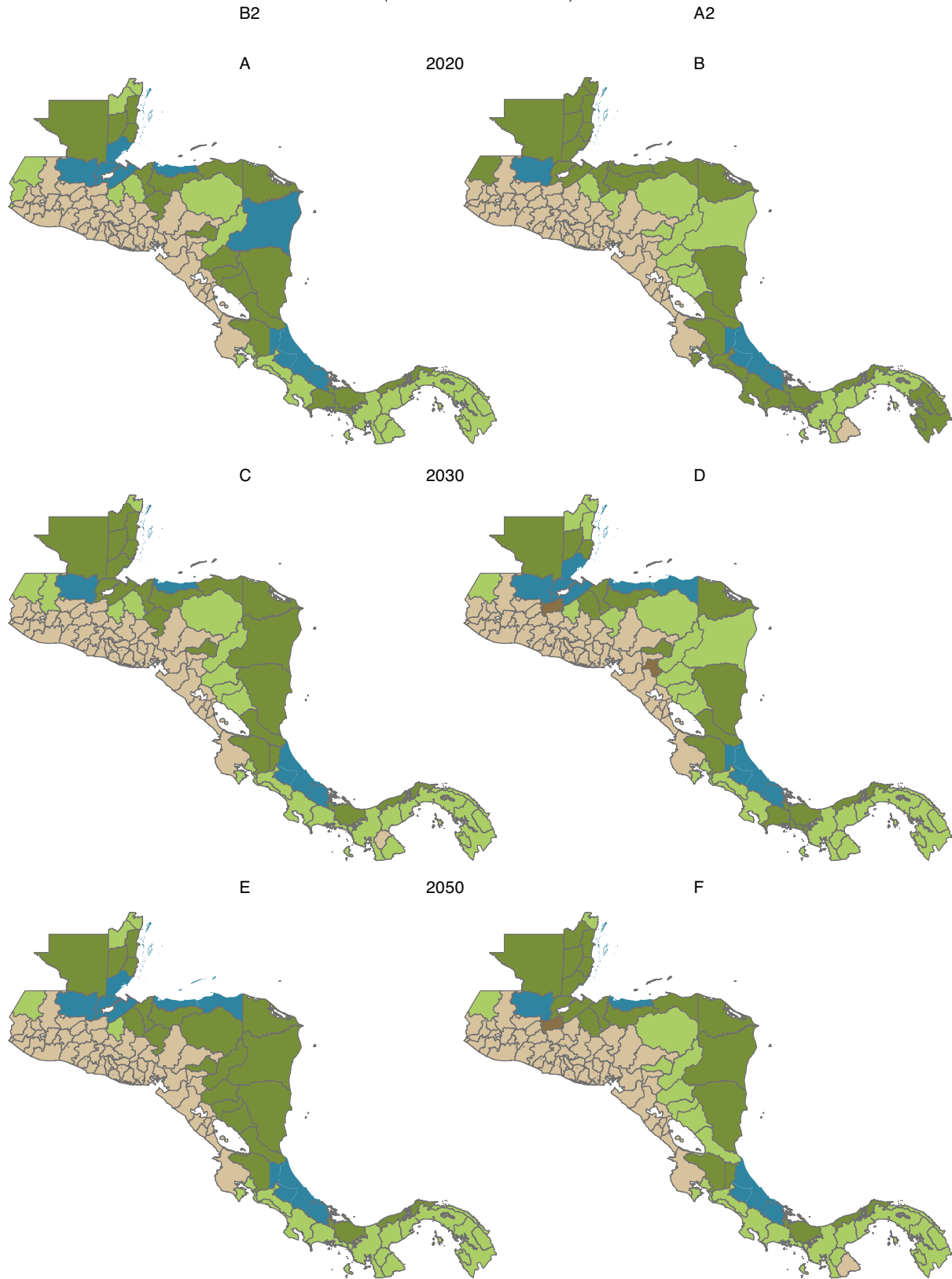


Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, se espera que ocurran cambios en el patrón de meses secos en Centroamérica con el cambio climático. Utilizando la información mensual de temperatura media y precipitación acumulada en los departamentos para los cortes 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100,⁴ estimados en función de los escenarios de emisiones B2 y A2 del IPCC, se estimó el patrón de la temporada seca y su duración y extensión, usando el indicador de mes seco (véase el mapa 9). Durante las próximas décadas, la mayor parte de los departamentos experimentarían cambios menores en el número de meses secos en ambos escenarios, principalmente a causa de fluctuaciones de precipitación hasta el período del corte de 2030. Puede ocurrir una mayor variabilidad tanto de aumento como reducción de meses secos en las próximas décadas. Considerando que la variabilidad actual, tanto interanual como intraanual, genera serios impactos en la región, es de suma importancia mejorar la capacidad de adaptación y gestión de riesgo a corto plazo. A partir del corte de 2050 se evidencia una tendencia más generalizada de aumento de meses secos y una progresiva diferenciación entre los dos escenarios, siendo A2 el más severo. Los esfuerzos a corto plazo de responder a la variabilidad climática y los eventos extremos, serían clave para disminuir las pérdidas a corto plazo y preparar a la región por los cambios severos acumulativos que podrían venir a mediano plazo.

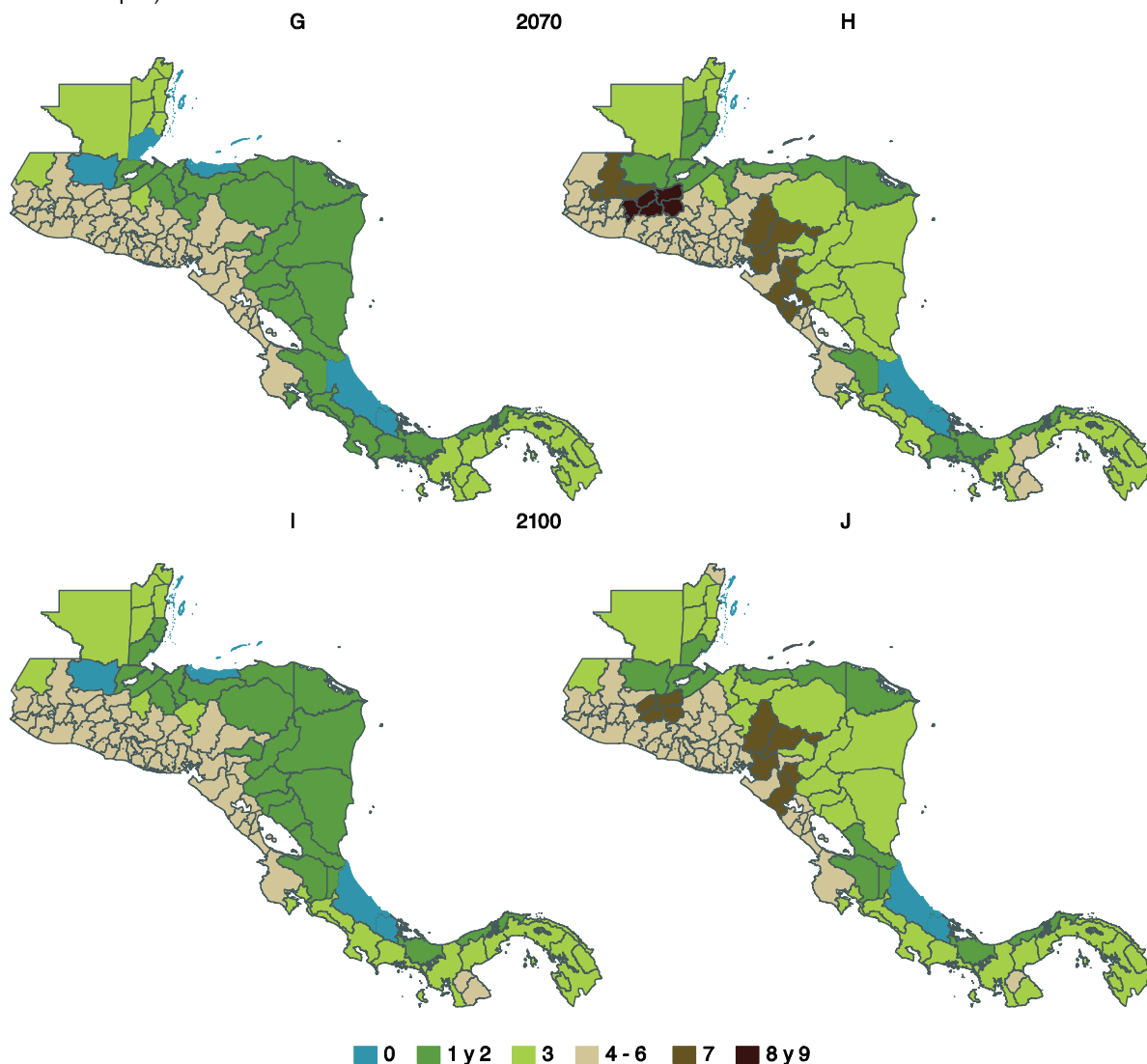
⁴ Los años de corte 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100 se refieren a información promedio de un período de diez años: 2016-2025 (corte 2020), 2026-2035 (corte 2030), 2046-2055 (corte 2050), 2066-2075 (corte 2070) y 2091-2100 (corte 2100).

MAPA 9
CENTROAMÉRICA: MESES SECOS AL AÑO POR DEPARTAMENTO, ESCENARIOS A2 Y B2,
CON CORTES A 2100
(En número de meses secos)



(continúa)

(continuación Mapa 9)



Fuente: Elaboración propia.

En general, en el escenario B2 hasta el corte de 2050, la mayoría de los departamentos experimentarían cambios limitados en aumento o reducción de meses secos. A más largo plazo, más de una quinta parte de los departamentos experimentarían aumento del número de meses secos. Al corte 2100, 28% del territorio de la región sufriría un aumento de meses secos, 27% experimentarían menos meses secos y 45% condiciones parecidas a las históricas. En el escenario A2 los cambios serían más notables, al corte 2050 los cambios retomarían un sendero más severo: el número de meses secos aumentaría en 34% del territorio, se reduciría en 6% y se mantendría relativamente estable en 60% respecto del promedio histórico. Para el corte 2100, 53% del territorio de la región sufriría un aumento de meses secos, 8% experimentarían menos y 39% condiciones parecidas a las históricas. Bajo este escenario, las Provincias de Limón y Cartago en Costa Rica y la de Bocas del Toro en Panamá serían las únicas sin meses secos al final del siglo. Destaca el incremento de aridez en la mayor parte de los departamentos de la costa Atlántico, principalmente en los que ahora tienen entre uno y dos meses secos, los cuales pasarían a tener tres. Destaca también el incremento del número de meses secos en regiones de Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua a partir del corte 2070. Se espera que los Departamentos de Zacapa, Chiquimula, El Progreso y Jalapa en el corredor seco guatemalteco, los Departamentos de Choluteca, El Paraíso y

Francisco Morazán en Honduras, y León y Estelí en Nicaragua tengan temporadas secas de siete meses en contraste con los patrones históricos de seis meses en los departamentos de Guatemala y cinco en los de Honduras y Nicaragua.

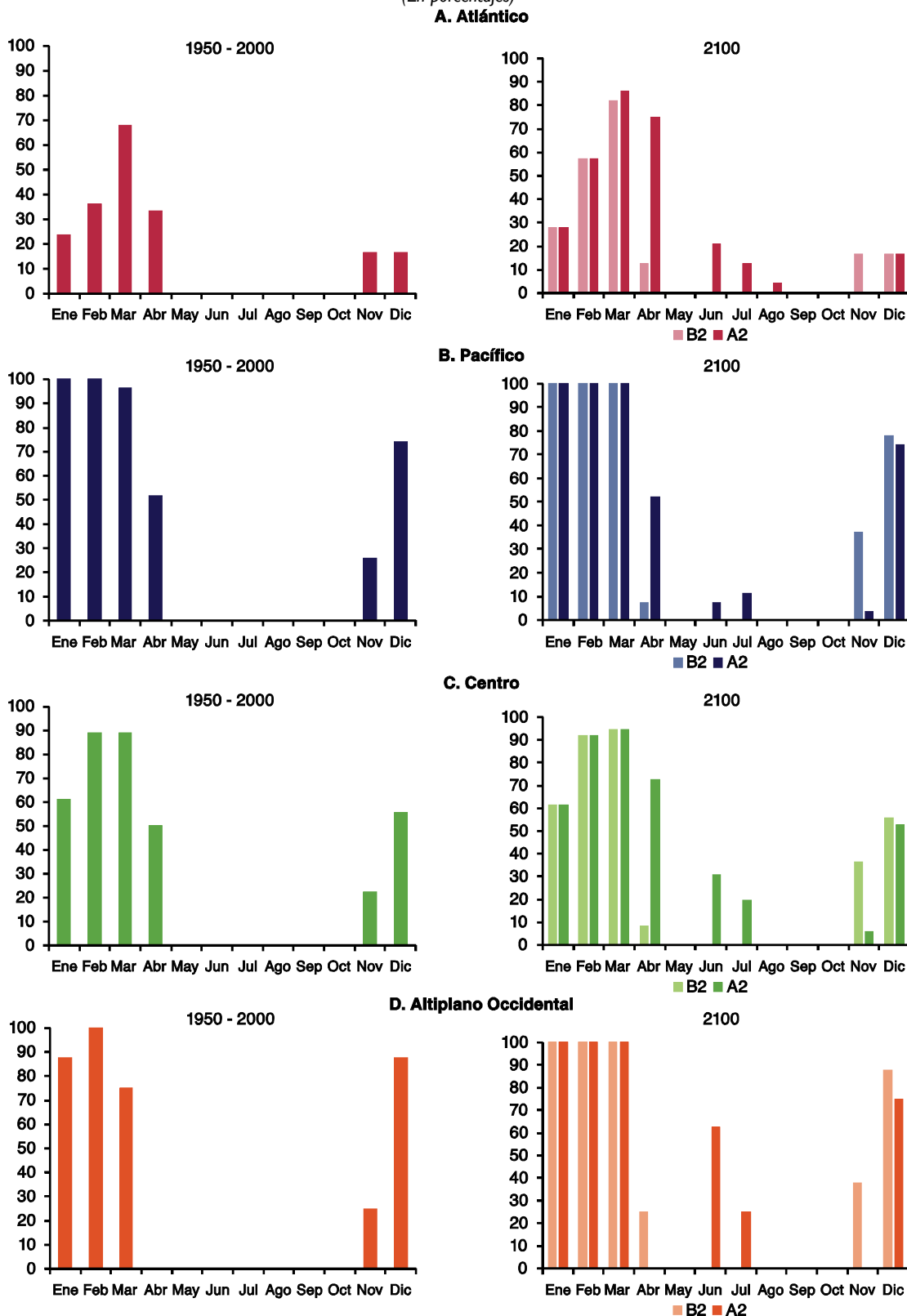
En cuanto al patrón intraanual de meses secos, en el escenario B2 se prevé que el inicio y el final de la temporada de lluvias se adelantarían. En el escenario A2, el inicio y el final de la temporada de lluvias se retrasarían. Los cambios del patrón intraanual de meses secos serían más notorios en Guatemala, Honduras y Nicaragua por la posible ocurrencia de meses secos en partes de sus territorios en junio, julio y agosto bajo el escenario A2. Durante estos meses ocurre regularmente la canícula, la cual históricamente no ha resultado en reducciones de humedad tan notorias para definirse como meses secos. Estos cambios podrían ser muy importantes por su impacto en los ciclos de producción agrícola y las reglas de operación de las hidroeléctricas. El gráfico 19 presenta el patrón estimado de la temporada seca en las regiones geoclimáticas identificadas para el corte 2100 con los escenarios B2 y A2, comparado con el patrón promedio del período 1950 a 2000. En la región Atlántico con el escenario B2, se estima un incremento del número de departamentos en condición de mes seco durante febrero y marzo, y una disminución en abril. Con el escenario A2 se espera un incremento del número de departamentos con características secas durante marzo y en abril una ligera disminución respecto a B2, mientras que en noviembre ninguno presentaría tales características al corte 2100. En la región geoclimática Pacífico con el escenario B2, el cambio más representativo para el corte 2100 sería una notable disminución de los departamentos con características de mes seco en abril. En el escenario A2 se espera una disminución del número de departamentos en tal condición durante noviembre. Destaca la anomalía de un pequeño número de departamentos con características secas en junio y julio. Este fenómeno ocurriría en los Departamentos de León y Managua en Nicaragua y en Choluteca en Honduras.

En resumen, este estudio demuestra que los dos escenarios de cambio climático generan diferentes impactos en aridez y meses secos a nivel de país, departamentos y regiones geoclimáticas. No obstante, si las emisiones globales siguen con su tendencia actual de alza, el escenario más probable sería el más pesimista (A2). Considerando la variabilidad de las condiciones y la tendencia acumulativa de aridez prevista en las próximas décadas, las sociedades centroamericanas necesitan volverse gestoras audaces del recurso hídrico, asegurando su uso sostenible y eficiente para beneficio de la población y la producción. Aún sin cambio climático, la demanda de agua aumentará significativamente en la región. Con el cambio climático se estima una disminución de la humedad y de la disponibilidad total de agua renovable, particularmente en los cinco países al norte de Costa Rica.

Los escenarios de aridez y meses secos indican la urgencia de blindar la seguridad alimentaria, particularmente el abasto de granos básicos, y transitar hacia una agricultura más sostenible. Esto es un gran reto, pero encararlo es necesario para proteger a la población pobre, tanto pequeños productores como consumidores urbanos. Finalmente, los cambios previstos en aridez tendrán implicaciones para la viabilidad de los ecosistemas de la región y el impacto de eventos extremos como los incendios. Estos ecosistemas dependen de climas relativamente húmedos, aunque con variaciones, por ejemplo, entre diferentes tipos de bosques tropicales húmedos y secos. Proteger y restaurar estos ecosistemas es un reto importante de desarrollo aún sin cambio climático. La información georeferenciada y desagregada por departamentos y regiones geoclimáticas, dividida temporalmente en años corte y por patrones intraanuales, es una herramienta útil para afinar los análisis de impactos potenciales en sectores. Su especificación a menores escalas es importante para formular acciones de adaptación en zonas geográficas particulares. Es importante recalcar que la región estaría mejor provista del conocimiento requerido si expande y fortalece su red de estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas y profesionales en climatología y hidrología.

GRÁFICO 19
CENTROAMÉRICA: DEPARTAMENTOS CON MES SECO POR REGIÓN GEOCLIMÁTICA PROMEDIO 1950-2000
Y ESCENARIOS B2 Y A2, 2100

(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

4. IMPACTOS POTENCIALES EN LA GENERACIÓN DE HIDROELECTRICIDAD

En el marco de ésta iniciativa, se realizó el estudio sobre impactos potenciales en la generación de hidroelectricidad cuyo objetivo es estimar el efecto que tendrá el cambio climático sobre la generación de energía hidroeléctrica utilizando los escenarios climáticos desarrollados para la iniciativa (CEPAL, CEL, MARN, COSEFIN, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2012). Se investigó la producción de energía en dos plantas hidroeléctricas seleccionadas por sus respectivas autoridades: Cerrón Grande en El Salvador, que utiliza las aguas del río Lempa, y Chixoy en Guatemala, que utiliza las aguas del río Chixoy. Este estudio es parte de una serie técnica con análisis preparados con la participación de diversos equipos de expertos coordinados por la CEPAL y revisados y aprobados por el Comité Técnico Regional (CTR) de la ECCCA, en consulta con expertos de la región.

La información disponible para la simulación de ambas cuencas fue proporcionada por el Instituto Nacional de Electrificación de Guatemala (INDE) y la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL). La simulación de caudales se realizó mediante una estimación de caudales, considerando el balance hídrico de cada cuenca. Se utilizó el programa de Simulación del Potencial de Recursos Hidroenergéticos (WAPPO, por sus siglas en inglés), que se basa en funciones de los principales parámetros del ciclo hidrológico e integra información meteorológica, geomorfológica e hidrológica. El balance de aguas muestra la interacción entre los parámetros determinantes del ciclo hidrológico y sus variaciones. De acuerdo con los resultados, la precipitación es la variable determinante en el efecto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua. La temperatura aumenta la evapotranspiración de la cuenca, pero tienden a producir cambios menores en el balance hídrico.

Para efectos de este estudio sobre la generación hidroeléctrica, se realizaron los cálculos con el promedio de los resultados de tres modelos de circulación general para cada escenario del IPCC: HADCM3, GFDL R30 y ECHAM4 para B2 y HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM4 para A2. El cálculo de los cambios de temperatura y precipitación fueron estimados para 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100 promediando los valores de estas anomalías para los departamentos que son parte de las cuencas. Por tratarse de escenarios a largo plazo que integran diversas “capas” de análisis con incertidumbres y dificultades metodológicas, los resultados deben interpretarse como tendencias y magnitudes relativas, no como predicciones ni como cifras exactas.

Para facilitar la discusión de resultados se elaboraron los gráficos 20 y 21 y cuadros 4 a 7, disponibles al final de este capítulo, donde se resumen los resultados de las simulaciones hidrológicas y las simulaciones de la operación de los embalses en los escenarios B2 (menos pesimista) y A2 (más pesimista). En la primera columna de los cuadros se identifica el período considerado, en la segunda se describen los escenarios de cambio climático, la tercera describe el balance hidrológico de las cuencas, la cuarta muestra los resultados del análisis de evaporación de los embalses y el porcentaje de aumento según los escenarios de cambio climático, la quinta muestra los caudales correspondientes a cada escenario de cambio climático y el porcentaje de la diferencia

respecto a la situación actual, la sexta describe la energía generada y el porcentaje de la diferencia respecto a la situación actual.

En el escenario A2, en la cuenca del río Chixoy de Guatemala se estima un incremento gradual de la temperatura a 2100 de 4,9 °C y una disminución gradual de la precipitación de aproximadamente 30%, con respecto al promedio del período 1961 a 1990. Esta disminución se observaría de forma más acelerada durante la segunda mitad del siglo. Como resultado se pierde mayor proporción de la lluvia en la evapotranspiración llegando a más de 90% en 2100. No obstante, el volumen total de la evapotranspiración se reduce en 12%, incluyendo la evaporación directa y la transpiración de la vegetación. Con escenario B2 el incremento de la temperatura sería de manera gradual a lo largo del período hasta un valor aproximado de 3,0 °C al corte 2100. Durante la primera parte del período de estudio la precipitación sería mayor al promedio histórico en un 4,6% y 4,0% (cortes 2020 y 2030). Este incremento sería cada vez menor y para 2100 se estima un valor de precipitación 0,1% inferior al promedio histórico. Con B2 se estima un incremento de la fracción de precipitación que se pierde por evapotranspiración, llegando a más de 80% en 2100. En este caso, el volumen total de de la evapotranspiración aumenta en 10%.

Para la cuenca del río Lempa con A2 se estima un incremento de temperatura de 4,8 °C a 2100. Del mismo modo, la precipitación disminuiría de forma gradual y en 2100 se estima 30% menor que la observada durante el promedio histórico 1961 a 1990, una tercera parte de esta disminución se daría durante el período 2070 a 2100. Como resultado se estima un incremento en la proporción de lluvia que se pierde por evapotranspiración llegando a 88% en 2100. Mientras tanto, el volumen total de la evapotranspiración se reduce en 17% a 2100. Con B2 el incremento de temperatura sería de 3,0 °C y la precipitación sería aproximadamente 4% mayor a su valor histórico, hasta 2070. Para el corte 2100 se estima un valor de precipitación 2% menor que su valor histórico. Con este escenario se estima un incremento en la fracción de precipitación que se pierde por evapotranspiración, alcanzando 77% al final del siglo, no obstante, la evapotranspiración se mantiene bastante estable.

La mayor parte de este incremento de la relación entre la evapotranspiración y la precipitación se debe a la disminución de la lluvia, lo que resulta en mayor pérdida de agua por evaporación, transpiración, infiltración, etc. Una conclusión es que la precipitación es el parámetro que determina en mayor medida la disponibilidad de agua en ambas cuencas. El incremento de la proporción de lluvia que se pierde por evapotranspiración es una conclusión realista, pues el fenómeno podría estar ocurriendo ya, lo cual resultaría en un incremento de la demanda de agua para otros usos. Esto resultaría en una disponibilidad menor de caudales para generación de energía.

El modelo de simulación hidrológica asume una situación estacionaria de las cuencas, sin modificaciones. Es deseable utilizar modelos que incluyan este parámetro. En este sentido, el uso de modelos más sofisticados que incorporen otros parámetros como uso del suelo y población debe ser considerado, tomando en cuenta las experiencias de la región. Estos modelos requieren información desagregada no siempre disponible, además de entrenamiento especializado.

Por otra parte, en las simulaciones se han asumido condiciones promedio de la distribución del agua. Sin embargo, la realidad es que en años secos o húmedos la distribución del agua puede ser muy diferente a la distribución media. Durante años secos, el período de estiaje puede ser muy severo y prolongado, mientras que en años húmedos la temporada de lluvias puede ser muy intensa en momentos determinados, como la ocurrencia de ciclones tropicales. Estas condiciones tienen efecto sobre la disponibilidad de agua y deben ser estudiadas con mayor profundidad.

Antes de emprender una simulación con un modelo hidrológico que incorpore otros parámetros, debe considerarse que el cambio de uso de suelo podría no variar en forma sustancial la disponibilidad de agua, aunque podría modificar su distribución. Los vegetales, incluidos los bosques, consumen agua, pero al mismo tiempo regulan su flujo en las cuencas y protegen el suelo. Probablemente el cambio de uso del suelo de bosque a uso agrícola y ganadero, como es la tendencia en la región centroamericana, tenga un efecto más sensible en la erosión de las cuencas que en la disponibilidad de agua. Por otra parte, el efecto del aumento de la población en la calidad del agua es mayor que sobre su cantidad, excepto cuando se transportan volúmenes importantes a las ciudades.

Los resultados de la simulación de la operación de los embalses en las condiciones de los escenarios de cambio climático indican que los caudales se reducen o se incrementan en proporción similar a la precipitación si las diferencias de precipitación respecto de las condiciones actuales no son muy grandes, aunque las pérdidas por evapotranspiración aumenten por el aumento de la temperatura.

De acuerdo con las simulaciones de las cuencas con los escenarios de cambio climático, los caudales de la presa de Chixoy se reducirían gradualmente hasta en un 83% en el corte 2100 con el escenario más pesimista (A2). En la presa de Cerrón Grande los caudales se reducen a largo plazo hasta en 70%, con notable variación inter-anual. En el escenario B2, los efectos en Chixoy se relacionarían más con el aumento de la temperatura que con la disminución de la precipitación. En 2100 los niveles de precipitación cambiarían poco frente al período histórico de referencia. Pero un aumento de temperatura de 3 °C se traduciría en una reducción del 28% del caudal para ese año. En el caso de Cerrón Grande, una reducción de 2% de la precipitación y un aumento de temperatura de 3 °C podrían reducir el caudal en 15%.

Debido a que en las simulaciones se ha asumido una distribución promedio del agua, su disponibilidad puede ser menor debido a que la distribución puede variar mucho, especialmente en años secos. Las plantas hidroeléctricas a filo de agua o con embalses de regulación diaria no fueron consideradas en este estudio, pero es evidente que resultarían muy afectadas en un escenario de reducción de caudales por la falta de capacidad de almacenamiento en la temporada de agua abundante. Por otra parte, es evidente que el deterioro de las cuencas y la disminución de su capacidad de almacenamiento por la sedimentación de los embalses afectan la disponibilidad presente de agua y la afectarán con más severidad en el futuro. Estos elementos no han sido considerados en el estudio, pero sus efectos serán muy importantes, por lo que se requiere estimarlos.

De acuerdo con los escenarios de cambio climático, las pérdidas de los embalses por evaporación aumentarían a lo largo del siglo, fenómeno principalmente relacionado con la alza progresiva de la temperatura. En el embalse de Chixoy, bajo el escenario más pesimista (A2), la evaporación incrementaría progresivamente hasta en 41% (de 0,33 m³/s a 0,47 m³/s) para el corte 2070 pero para el corte 2100 disminuiría a un valor de 0,40 m³/s debido al menor ingreso de agua al embalse. Con B2 se observaría un incremento progresivo de la evaporación, especialmente a partir de 2050, hasta un valor máximo de 0,47 m³/s en 2100. En Cerrón Grande las pérdidas por evaporación ya son mucho mayores que en Chixoy y aumentarían progresivamente a lo largo del período, especialmente a partir de 2050. Con A2 se espera que alcance un valor máximo de 4,97 m³/s a 2100, es decir un incremento del 22% con respecto a su valor histórico. En el escenario menos pesimista (B2) la pérdida sería menor, alcanzando hasta 8% con un valor máximo de 4,39 m³/s en 2100. En términos absolutos, las pérdidas adicionales por evaporación serían mayores en el embalse de Cerrón Grande, de 0,9 m³/s con A2 y 0,32 m³/s con B2, en comparación con los 0,14 m³/s en Chixoy con ambos escenarios.

La producción de energía de ambas plantas sigue de cerca el comportamiento del caudal. La energía producida por la planta de Chixoy se reduce prácticamente en la misma proporción que el caudal, pero el incremento del caudal no se traduce en un aumento proporcional de energía. En la planta de Cerrón Grande, pequeños incrementos o decrementos del caudal medio anual se traducen en incrementos o decrementos proporcionales de energía. En la planta del Chixoy, incrementos mayores de caudal producen incrementos menores de energía. Esto se debe a que la potencia disponible en Cerrón Grande permite aprovechar prácticamente todo el caudal disponible para generación. Decrementos mayores del caudal anual medio se traducen en decrementos proporcionales de producción de energía en ambas presas.

Las estimaciones de generación de energía varían según el escenario considerado y los años de corte 2020, 2030, 2050, 2070, y 2100. En el escenario más pesimista (A2) se estiman reducciones superiores al 20% en ambas plantas para el corte 2020 respecto a la generación promedio de los períodos de referencia (1979 a 2008 para la planta de la cuenca del Chixoy y 1984 a 2009 para la cuenca del Lempa). A partir del corte 2050, las reducciones serían superiores al 40% en ambas hidroeléctricas. Para la hidroeléctrica del Chixoy, en el escenario A2, se esperan reducciones aproximadas de 25% en 2020, 37% en 2030, 47% en 2050, 70% en 2070 y 83% en 2100. Para la hidroeléctrica del Lempa, en el mismo escenario, se esperan reducciones de 22% en 2020, 34% en 2030, 41% en 2050, 57% en 2070 y 71% en 2100. En el escenario menos pesimista (B2), en cambio, se espera un incremento de entre 4% y 6% en ambas plantas para el corte 2020 respecto al período histórico de referencia. A partir de esta fecha, los estimados se vuelven negativos hasta llegar a una disminución de 26% en Chixoy y 17% en Lempa a 2100.

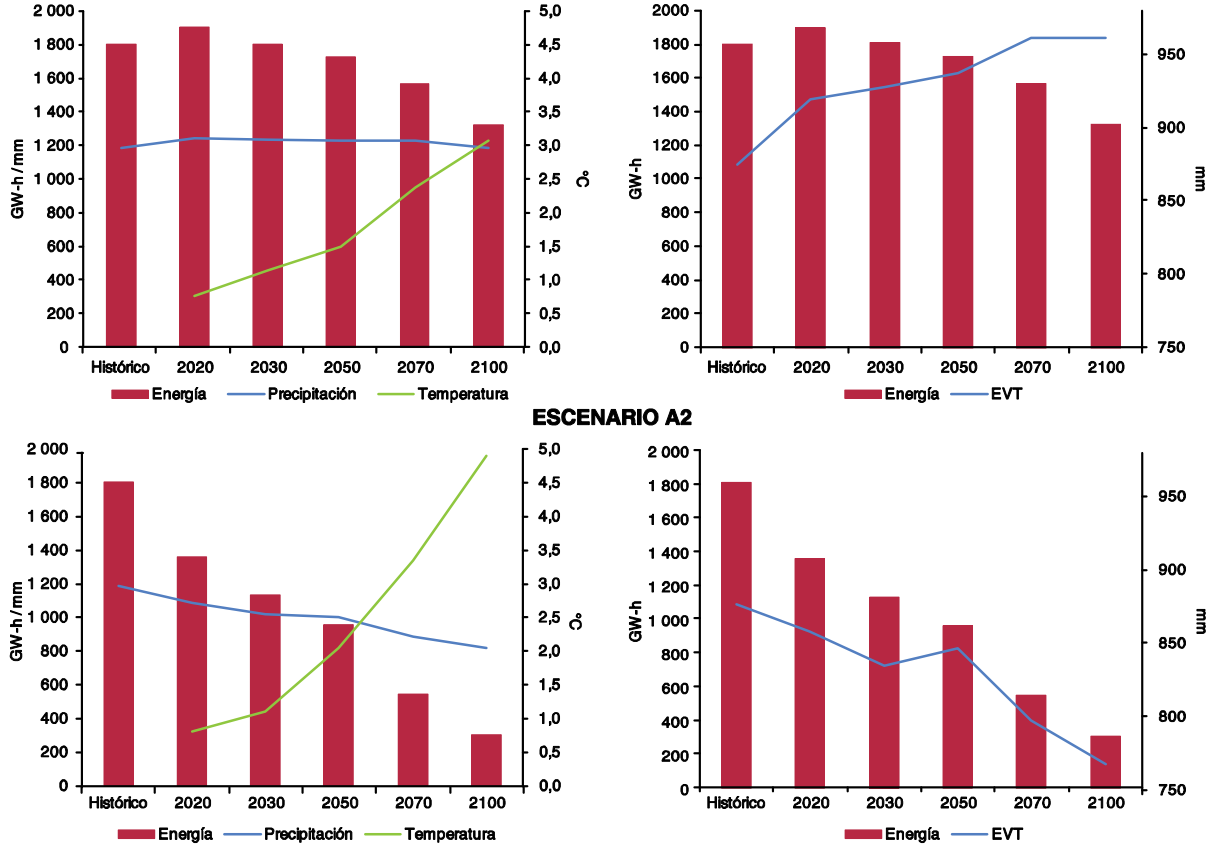
La energía generada es máxima los meses en los que el caudal que ingresa a los embalses es mayor que el caudal turbinado. En ambas presas, el período de llenado dura cinco meses, entre junio y octubre. Este patrón cambiaría en la planta de Cerrón Grande en las condiciones de sequía extrema de ambos escenarios en el corte de 2100. En este caso, las plantas generarían más energía durante el período de vaciado del embalse debido a que el llenado del embalse se beneficiaría.

Aunque la pérdida de generación de energía por la disminución de caudales debido al aumento de temperatura no es sensible a nivel anual, su efecto puede ser importante durante el estiaje. Este factor afecta la generación de todo tipo de plantas hidroeléctricas, pero su efecto será mayor en las plantas que operan a filo de agua y en los embalses de regulación diaria debido a la falta de regulación de los caudales en el período de agua abundante y a que los estiajes serán más severos a causa de temperaturas más elevadas. Esto daría como resultado que la producción de energía disminuya, en especial en las plantas a filo de agua y las de embalse de regulación diaria. El mismo efecto se observaría en la energía firme de las plantas. Aunque esto puede estar presentándose en la actualidad, su efecto no es sensible debido a que el período actual es húmedo, como lo indican las series históricas.

En los gráficos 20 y 21 sintetizan los resultados, muestran la relación entre las variables climáticas y la generación eléctrica. En el escenario más pesimista (A2) el mayor incremento de temperatura y menor precipitación resulta en reducciones de la evapotranspiración a diferencia del escenario menos pesimista (B2). Bajo el escenario A2 los cambios extremos en temperatura y precipitación resultan en menor evapotranspiración en las cuencas y un menor caudal para generar energía en ambas plantas. Bajo el escenario B2 en Chixoy se esperaría cierta estabilidad en la precipitación, aumento en temperatura y en evapotranspiración lo que ocasionaría un menor caudal

para generación de energía. Por su parte Cerrón Grande experimentaría un escenario de evapotranspiración y generación de energía relativamente estable.

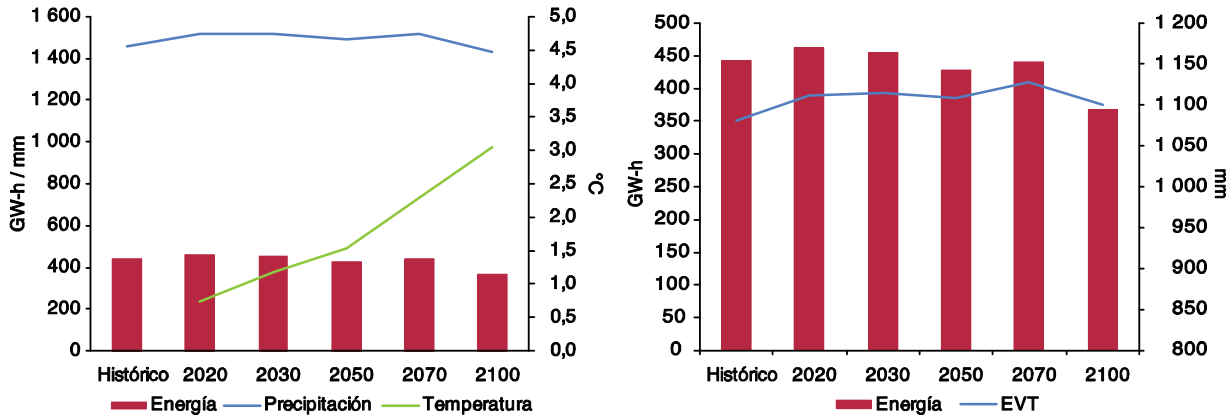
GRÁFICO 20
PLANTA CHIXOY: RESULTADOS DE SIMULACIONES, 2020 A 2100
ESCENARIO B2



Fuente: Elaboración propia.

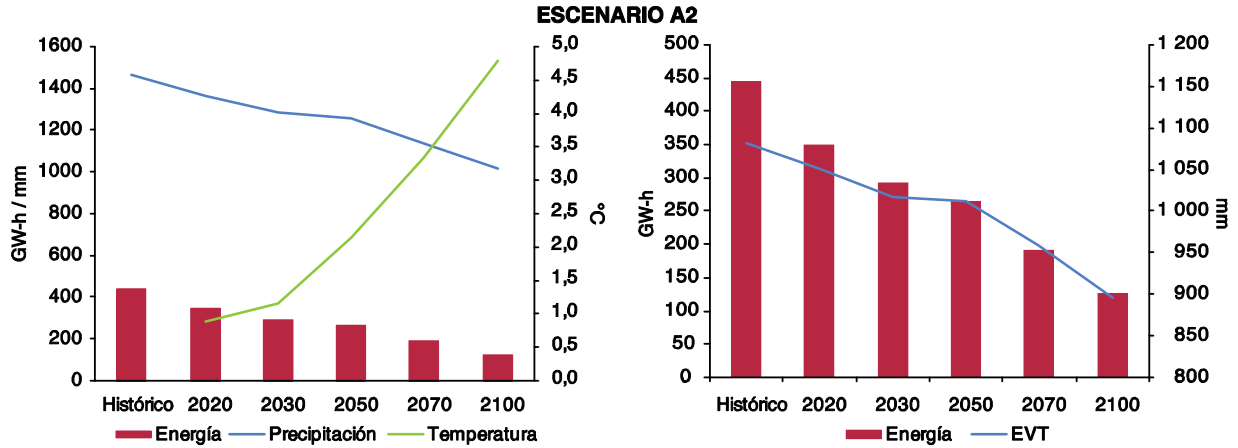
Nota: Período histórico de referencia, promedio 1979–2008, EVT = evapotranspiración, energía y precipitación se refieren al eje izquierdo, EVT y temperatura al eje derecho.

GRÁFICO 21
PLANTA CERRÓN GRANDE: RESULTADOS DE SIMULACIONES, 2020 A 2100
ESCENARIO B2



(continua)

(continuación Grafico 21)



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Período histórico de referencia, promedio 1979–2008, EVT = evapotranspiración, energía y precipitación se refieren al eje izquierdo, EVT y temperatura al eje derecho.

La generación de energía disminuirá gradualmente por la pérdida de capacidad de almacenamiento a causa de la sedimentación de los embalses. Este es un factor muy importante que debe ser considerado en los planes de generación futura.

En resumen, el progresivo aumento de temperatura previsto, mayor en A2 que en B2, estará afectando la producción hidroeléctrica por la evapotranspiración en la cuenca y la evaporación en el embalse. Es importante observar que el alza de temperatura de la atmósfera podría contribuir a episodios de lluvias más intensas; y el aumento de la temperatura de la superficie del mar a mayor intensidad de huracanes. No obstante, el mayor riesgo se relaciona con la lluvia, cuyo patrón en la región ya demuestra gran variabilidad en su acumulado anual y en su distribución intraanual. Los escenarios futuros sugieren un posible aumento en la variabilidad de la lluvia acumulada anualmente con una reducción progresiva en el promedio anual especialmente en la segunda mitad del siglo. No obstante, el modelaje de la lluvia contiene varias incertidumbres aun por resolverse. Esta situación actual y futura, indica una cierta ventana de oportunidad a corto plazo, que se va a ir cerrando si no se aprovecha, para fortalecer la gestión de las cuencas, los embalses y las plantas existentes y el diseño de las nuevas iniciativas de gestión integral del recurso hídrico y adaptación a la variabilidad climática y los impactos del cambio climático. A continuación, se presenta un resumen de las recomendaciones emanadas de este estudio.

En la actualidad, la máxima generación de energía ocurre durante los meses en los que el caudal que ingresa a los embalses es mayor que el caudal turbinado. En ambos casos, los embalses tardan en llenarse aproximadamente cinco meses, de junio a octubre. Este patrón se modificaría en ambas hidroeléctricas en las condiciones de reducción general de la precipitación del escenario A2. En el escenario B2, el patrón se modificaría solo en la planta Cerrón Grande los últimos años del presente siglo. Esta estimación supone que las reglas de operación dan prioridad al llenado del embalse sobre la generación durante la época de lluvia. Así, las plantas generarían más energía durante el período de vaciado del embalse, entre noviembre y mayo, si bien el total generado en el año sería menor.

La generación de energía disminuiría gradualmente también por la disminución de la capacidad de almacenamiento de los embalses debido a su sedimentación. Este es un factor muy importante a considerar en los planes de generación futura. Se recomienda estudiarlo para calcular la

pérdida de capacidad de generación, elaborar planes de sustitución de generación o de recuperación de los embalses, incluyendo recuperación de bosques en las cuencas y otras acciones de manejo integral de las mismas.

Para poder adaptarse a las condiciones cambiantes, es sumamente importante contar con la información necesaria para la toma de decisiones. La información disponible permitió el desarrollo del trabajo, lo cual muestra la preocupación de las autoridades por la planificación de la operación de las plantas. Sin embargo, algunos aspectos de la información hidrometeorológica pueden ser mejorados. Respecto de la medición de la precipitación pueden mencionarse dos aspectos relevantes: el número de estaciones y su localización. En ambos casos se recomienda mejorar la cobertura de las estaciones meteorológicas en las cuencas para alcanzar el mínimo recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Primero, hay muy pocas estaciones en las cuencas, lo cual dificulta identificar el patrón de variación de la lluvia a lo largo de las cuencas de grandes extensiones para el tamaño de los países. Segundo, la mayor parte de las estaciones se localizan en las partes bajas de las cuencas, por lo que es muy difícil identificar el patrón de variación de la lluvia en altitudes mayores. Para cerrar el balance de aguas, las curvas que relacionan la precipitación con la altitud se basan en el hecho de que las estaciones hidrométricas registran mayor precipitación a elevaciones mayores.

En el caso del embalse de Cerrón Grande sería importante contar con información de la evaporación de tanque en sitios cercanos al embalse. La inclusión del parámetro de evaporación en el cálculo del balance permitirá contar con la información para reducir este tipo de pérdidas en la operación de los embalses.

En este estudio el efecto del cambio climático ha sido evaluado a partir de los promedios móviles de cambios en la temperatura y la precipitación, en los que los años de corte corresponden a la información promedio de períodos de diez años. En el corto plazo se recomienda realizar un análisis de la variabilidad climática anual histórica y estimada en los escenarios de precipitación durante las próximas dos décadas para prever posibles cambios en variabilidad entre años más secos y más húmedos.

Para mejorar los resultados del balance de aguas, en el corto plazo se recomienda utilizar modelos que incluyan el uso del suelo y el incremento de la población, considerando sus efectos probables y los recursos para enfrentarlos. Igualmente, se recomienda analizar el efecto del incremento de temperatura sobre la generación de energía en períodos secos. Este efecto podría estar presentando ya y merece atención para diseñar medidas de adaptación urgentes.

Los análisis operativos deberán considerar también la función de los proyectos de futuros embalses en la adaptación al cambio climático, tanto para la operación rutinaria del embalse y la planta como medidas de emergencia frente a exceso o ausencia de caudal, con consideraciones no solamente de cada planta sino sobre el manejo de cada cuenca.

Se recomienda mejorar la eficiencia de todos los sistemas que utilizan agua ante la menor disponibilidad eventual del recurso y adoptar un manejo adecuado de las cuencas para evitar la erosión de los suelos y la sedimentación de los embalses, así como la regulación del ciclo hidrológico. Para esto se requieren proyectos de reforestación y conservación de bosques y prácticas adecuadas de uso del suelo y el agua de riego.

Respecto a los caudales disponibles, se recomienda optimizar la operación de los sistemas de aprovechamiento de agua, incluyendo los de las plantas hidroeléctricas. De la misma manera se

considera recomendable implementar sistemas de almacenamiento estacional para compensar el efecto de la reducción de caudales en el período de estiaje.

Se recomienda incluir el parámetro de evaporación en el cálculo del balance de los embalses. Los resultados de las simulaciones sugieren que la operación adecuada de los embalses podría reducir este tipo de pérdidas, por lo que se recomienda su investigación.

Para mejorar los niveles de generación de energía en ambas cuencas se recomienda revisar en el corto plazo los modelos de operación de los embalses de las plantas para optimizar la generación de energía ante los escenarios tendenciales de reducción de caudales y ante probables aumentos en la variabilidad de las mismas aun a corto plazo. Se recomienda estudiar el proceso de colmatación de los embalses para cuantificar la disminución de capacidad de generación de las plantas hidroeléctricas, preparar planes de sustitución de generación de energía y recuperar embalses.

Se recomienda aplicar este análisis a otras hidroeléctricas de la región, particularmente las consideradas estratégicas. Será importante estudiar el efecto de los escenarios de cambio climático en la generación de energía de plantas que operan a filo de agua o con embalses de regulación diaria, en especial el efecto en la generación durante el estiaje.

En los estudios futuros deberá discutirse la adaptación de los proyectos de embalses futuros en la adaptación al cambio climático. Tales son los casos del proyecto El Tigre (binacional con Honduras) en la cuenca del Lempa y los proyectos aguas arriba (Serchil) en la cuenca del Chixoy. A fin de asegurar el abastecimiento de agua para generar energía y otras actividades relacionadas con los recursos hídricos se recomienda considerar la construcción de embalses, por lo menos, de regulación estacional.

Deberá considerarse que el Chixoy es afluente del Usumacinta (binacional con México), el cual carece de infraestructura de embalses. Por otra parte, el Usumacinta–Grijalva desemboca en Villa Hermosa, Tabasco, México, muy afectada por inundaciones y amenazada por el posible aumento del nivel del mar.

CUADRO 4
PLANTA CHIXOY: RESULTADOS DE SIMULACIONES, ESCENARIO B2, 2020 A 2100
 (En porcentajes, grados Centígrados, milímetros, metros cúbicos por segundo y Gigawatts-hora)

Año	Escenarios CC		Balance		Evaporación		Caudal		Energía			
	P (%)	T (°C)	P (mm)	EVT (mm)	EVT/P (%)	(mm)	(m³/s)	(%)	(m³/s)	(%)	(GW-h)	(%)
Histórico			1 186	875	74	97,3	0,33	54,99			1 805	
2020	5	0,77	1 241	919	74	102,8	0,41	24	57,00	4	1 899	5
2030	4	1,14	1 234	928	75	105,5	0,42	27	54,18	-1	1 806	0
2050	4	1,50	1 230	937	76	108,2	0,43	30	51,79	-6	1 727	-4
2070	3	2,37	1 226	961	78	114,8	0,45	37	46,92	-15	1 565	-13
2100	0	3,06	1 186	961	81	120,2	0,47	42	39,79	-28	1 328	-26

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Período histórico de referencia, promedio 1979–2008; P = precipitación, T = temperatura, EVT = evapotranspiración, EVT/P = la fracción de la precipitación que se convierte en evapotranspiración.

CUADRO 5
PLANTA CERRÓN GRANDE: RESULTADOS DE SIMULACIONES, ESCENARIO B2, 2020 A 2100
 (En porcentajes, grados Centígrados, milímetros, metros cúbicos por segundo y Gigawatts-hora)

Año	Escenarios CC		Balance		Evaporación		Caudal		Energía			
	P (%)	T (°C)	P (mm)	EVT (mm)	EVT/P (%)	(mm)	(m³/s)	(%)	(m³/s)	(%)	(GW-h)	(%)
Histórico			1 460	1 081	74	119,1	4,07	107,90			443	
2020	4	0,74	1 519	1 111	73	121,3	4,13	2	112,88	5	463	4
2030	4	1,17	1 517	1 115	74	122,8	4,19	3	111,39	3	456	3
2050	2	1,53	1 488	1 108	74	124,2	4,24	4	105,37	-2	429	-3
2070	4	2,29	1 518	1 128	74	127,8	4,36	7	108,05	0	441	-1
2100	-2	3,04	1 431	1 100	77	132,5	4,39	8	91,58	-15	369	-17

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Período histórico de referencia, promedio 1984–2009; P = precipitación, T = temperatura, EVT = evapotranspiración, EVT/P = la fracción de la precipitación que se convierte en evapotranspiración.

CUADRO 6
PLANTA CHIXOY: RESULTADOS DE SIMULACIONES, ESCENARIO A2, 2020 A 2100
(En porcentajes, grados Centígrados, milímetros, metros cúbicos por segundo y Gigawatts-hora)

Año	Escenarios CC		Balance		Evaporación		Caudal		Energía			
	P (%)	T (°C)	P (mm)	EVT (mm)	EVT/P (%)	(mm)	(m³/s)	(%)	(m³/s)	(%)	(GW-h)	(%)
Histórico			1 186	875	74	97,3	0,33	54,99			1 805	
2020	-8	0,81	1 086	856	79	103,1	0,40	22	40,70	-26	1 359	-25
2030	-14	1,10	1 024	833	81	105,2	0,41	24	33,82	-39	1 130	-37
2050	-15	2,05	1 007	845	84	112,4	0,43	32	28,76	-48	961	-47
2070	-25	3,34	889	796	90	122,4	0,47	41	16,39	-70	544	-70
2100	-31	4,89	818	766	94	135,0	0,40	22	9,22	-83	305	-83

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Período histórico de referencia, promedio 1979-2008; P = precipitación, T = temperatura, EVT = evapotranspiración, EVT/P = la fracción de la precipitación que se convierte en evapotranspiración.

CUADRO 7
PLANTA CERRÓN GRANDE: RESULTADOS DE SIMULACIONES, ESCENARIO A2, 2020 A 2100
(En porcentajes, grados Centígrados, milímetros, metros cúbicos por segundo y Gigawatts-hora)

Año	Escenarios CC		Balance		Evaporación		Caudal		Energía			
	P (%)	T (°C)	P (mm)	EVT (mm)	EVT/P (%)	(mm)	(m³/s)	(%)	(m³/s)	(%)	(GW-h)	(%)
Histórico			1 460	1 081	74	119,1	4,07	107,90			443	
2020	-7	0,89	1 364	1 051	77	121,8	4,19	3	86,55	-20	348	-22
2030	-12	1,16	1 282	1 017	79	122,8	4,24	4	73,30	-32	291	-34
2050	-14	2,15	1 253	1 012	81	127,1	4,40	8	66,85	-38	263	-41
2070	-22	3,33	1 135	959	84	135,2	4,63	14	48,75	-55	191	-57
2100	-31	4,78	1 014	896	88	164,7	4,97	22	32,76	-70	126	-71

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Período histórico de referencia, promedio 1984-2009; P = precipitación, T = temperatura, EVT = evapotranspiración, EVT/P = la fracción de la precipitación que se convierte en evapotranspiración.

5. IMPACTOS POTENCIALES EN LOS ECOSISTEMAS

Centroamérica tiene gran diversidad de ecosistemas, incluyendo sus bosques tropicales. En 2005, éstos cubrían aproximadamente 45% del territorio de la región y contenían alrededor de 7% de la biodiversidad del planeta (CEPAL/CCAD/ SICA/UKAID/DANIDA, 2011a; INBio, 2004). Los bosques tropicales son los más ricos en biodiversidad y biomasa porque la energía del sol ecuatorial hace proliferar la vida en medio de abundantes nutrientes. Cada parte del bosque contribuye a sostener la vida. La tierra está poblada de innumerables cantidades de microbios, insectos y hongos esenciales para el reciclaje de materia orgánica y la supervivencia de las especies. Los ecosistemas cumplen una función en la regulación del clima ya que ayudan a mantener la composición gaseosa de la atmósfera. (Salzman, 1998). Como sumideros de carbono, los bosques secuestran el CO₂ de la atmósfera y, por lo tanto, mitigan el efecto invernadero a nivel mundial. Los ecosistemas regulan el clima regional y local directamente a través de su participación en el ciclo hidrológico. El agua absorbida por las plantas a través de las raíces se evapora a través de las hojas. En consecuencia, la temperatura del aire y la humedad pueden cambiar si el cambio climático afecta esta contribución de los ecosistemas.

Centroamérica cuenta con este activo, un verdadero tesoro, el cual proporciona múltiples productos y servicios, compensa hasta cierto punto el limitado acceso vía el mercado de la población de bajos ingresos a bienes básicos y proporciona protección ante desastres como inundaciones y oleadas. En muchas zonas existe una relación estrecha entre los bosques y los pueblos indígenas, no sólo en sus actividades productivas, sino en su identidad, cultura e historia.

Por desgracia, estos bosques son muy frágiles. La evidencia disponible indica que la influencia de las actividades humanas en los ecosistemas es significativa, modificando su disponibilidad, estructura y comportamientos sistémicos (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Junto con sus reservas de plantas y animales, los bosques del mundo están amenazados como nunca antes. Se estima que entre 2000 y 2010, 13 millones de hectáreas de bosque fueron convertidas cada año a otros usos o se perdieron por causas naturales en el mundo (FAO, 2010). No todos los bosques afectados han desaparecido por completo. Muchos han sido fraccionados por las carreteras y el desarrollo humano, cambios que amenazan la salud y la supervivencia de las plantas y los animales nativos. En la actualidad hay gran cantidad de especies y ecosistemas amenazados. Su capacidad de recuperación natural, sin influencia humana, no parece una opción viable ya que su resiliencia se ha reducido notablemente en los últimas décadas (IPCC, 2007c). Asimismo, la mayoría de los impactos del cambio climático tienden a intensificar las tendencias degradantes (IPCC, 2007c, Parmesan y Yohe, 2003). Así resulta difícil identificar y aislar los efectos particulares del cambio climático sobre los ecosistemas; se sugiere incluso que estos impactos pueden tener un efecto más que proporcional al sumarse al resto de los factores que ya inciden negativamente.

En Centroamérica, aún sin cambio climático, estas presiones probablemente se intensificarán por lo menos hasta que la población humana se estabilice alrededor de 2070 y hasta transitar a una economía más eficiente en el uso de los recursos naturales, y menos contaminante. Al mismo tiempo,

el aumento de eventos extremos registrados en las últimas décadas, especialmente los hidrometeorológicos como las sequías, los huracanes y las inundaciones, a menudo empeora la destrucción de los ecosistemas en las zonas afectadas. Por ejemplo, el huracán Félix afectó una extensa zona boscosa en la Región Autónoma del Atlántico Norte de Nicaragua en 2007 (CEPAL/CCAD/SICA/UKAID/DANIDA, 2011a).

En este contexto, el cambio climático emerge como un gran riesgo adicional al aumentar la temperatura, modificar los patrones de precipitación y probablemente reducir su volumen a mediano plazo. Es probable también que la humedad se reduzca y que el alza de temperatura de la superficie marina aumente la destructividad de huracanes y tormentas tropicales.

La literatura especializada ha identificado posibles impactos del cambio climático en los ecosistemas naturales: cambios en los patrones de evaporación, alteración de la cobertura nubosa a nivel de la vegetación, perturbación de los ecosistemas de montaña, disminución de los pisos tropical y montano y aumento del piso premontano, aparición del bosque muy seco tropical y del bosque seco premontano. Podrían ocurrir también pérdidas de hábitat por la mayor incidencia de incendios forestales, sequías, inundaciones y cambios en los sedimentos del suelo en tierras bajas. En consecuencia pueden propagarse especies invasoras y nuevos vectores de enfermedades.

Otra vertiente del análisis busca evaluar el impacto directo del cambio climático en la biodiversidad. Entre los estudios realizados se pueden mencionar tres que abarcan toda la región con diferentes métodos. El estudio “Impactos potenciales del cambio climático en la biodiversidad de Centroamérica, México y República Dominicana” (CATHALAC y USAID, 2008) hace un análisis georeferenciado de la riqueza de especies de la región. Para el análisis climático utiliza datos climatológicos y escenarios de alta resolución de SERVIR, PRECIS y WorldClim con tres modelos y los escenarios B2 y A2. Con estos datos se construye un Índice de Severidad del Cambio Climático (CCSI, por sus siglas en inglés), que mide la distancia del desplazamiento de la zona de confort natural de las especies. De acuerdo con este análisis, bajo el escenario A2, en la década de 2020, las costas del Caribe, desde Honduras a Panamá y República Dominicana, ricas en biodiversidad, se verán significativamente afectadas por el cambio climático. En la década de 2080, todos los ecosistemas y las especies de Centroamérica y la República Dominicana podrían quedar fuera de su zona de confort natural.

El estudio “Estado actual y futuro de la biodiversidad en Centroamérica” fue elaborado por el Programa estratégico de monitoreo y evaluación de la biodiversidad de la CCAD, radicado en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (PROMEBIO, 2010). Su modelación está basada en la metodología GLOBIO3 (Modelo Global de Biodiversidad), desarrollada por la Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos y PNUMA. Considera los factores de presión humana sobre la biodiversidad: uso de suelos, infraestructura, fragmentación de áreas naturales, cambio climático y deposición de nitrógeno. El análisis genera un indicador de la Abundancia Media de Especies (MSA por sus siglas en inglés), que mide la abundancia remanente de la abundancia original. El índice arrojó pérdidas por un 52% y un remanente del 48%. La contribución del cambio climático a la pérdida de biodiversidad fue del 2,5% frente a la contribución de cambio de uso de suelo del 34%. En los escenarios a 2030, el MSA cae entre 43% y 41% en tres escenarios de desarrollo. La contribución del cambio climático aumentó en los tres casos aproximadamente un 4%.

Los estudios basados en el registro de especies tienen que hacer un estimado del total de especies existentes, pues no todas han sido identificadas. Considerando los estudios previos basados en el método de riqueza de especies en Centroamérica, la iniciativa ECCCA optó por otro enfoque. Este

estudio sobre biodiversidad y cambio climático (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011b) utiliza un Índice de Biodiversidad Potencial (IBP), el cual integra variables climáticas y territoriales e indica la mayor probabilidad de encontrar más biodiversidad en un territorio. Las variables son superficie total, superficie con ecosistemas no urbanos y no agropecuarios, latitud, curvas de nivel, temperatura, precipitación y disponibilidad de agua. Así, los territorios con mayor número de curvas de nivel presentan la posibilidad de mayor número de ecosistemas que en territorios con menos curvas de nivel. A temperaturas más altas, mayor actividad biológica, como lo muestra la mayor biodiversidad y concentración de selvas a lo largo del Ecuador. Con los resultados de las proyecciones de temperatura y precipitación de los modelos de circulación general HADCM3 y HADGEM1 para los escenarios B2 y A2 respectivamente, se observa que el IBP se reducirá significativamente en todos los países, más en el escenario A2. A nivel regional, la simulación estima una reducción del índice en más de 13% solamente con cambio de uso de tierra (CUT), comparado con una pérdida de 18% (en CUT y B2) y 36% (en CUT y A2) al 2050. Para el 2100 la disminución alcanzaría un 33% y un 58% con los dos escenarios de cambio climático. La reducción estimada de la biodiversidad potencial a 2100 por país en el escenario B2 va desde un 50% en Nicaragua a aproximadamente un 22% en Belice. En el escenario A2 las reducciones son entre el 70% y el 75% para Guatemala, Nicaragua, El Salvador y Honduras, y entre el 38% y el 43% para los tres países restantes.

Los potenciales impactos en los ecosistemas no solo vendrían directamente del cambio climático, sino también de la reacción de la población humana a él. Por ejemplo, si los rendimientos de granos básicos y otros productos disminuyen, la presión para expandir la superficie agrícola a costa de los bosques aumentará. Las medidas de los actores económicos deberían orientarse a reducir estas presiones y facilitar la adaptación de los ecosistemas al cambio climático, pero es difícil suponer que lo harán sin antes establecer políticas públicas, incentivos económicos, y acuerdos multisectoriales orientados a la sostenibilidad. En las negociaciones internacionales de cambio climático, los bosques están en el centro de varios debates técnicos y políticos, no solamente por la deforestación y degradación, su relación con las emisiones de gases de efectos invernaderos (GEI) y su efecto sumidero de carbono, sino por su gran importancia en los medios de vida y culturas de poblaciones rurales y comunidades indígenas y en esfuerzos de mejorar la sostenibilidad de actividades económicas, como la agricultura y la generación hidroeléctrica. Por lo mismo, es importante avanzar en el análisis de los impactos del cambio climático sobre ellos, sus necesidades de adaptación y su vital papel en la adaptación de las sociedades.

Además de las amenazas de la deforestación, la degradación y el cambio climático, los esfuerzos de proteger los bosques enfrentan un tercer reto. El incuestionable valor económico de los bosques como proveedores de bienes y servicios para la sociedad no se refleja en los precios de mercado y en muchos casos no se refleja en absoluto. Cuando un actor económico destruye o contamina un ecosistema, se genera una externalidad negativa que no se contabiliza como pérdida económica. Dada esta situación, no se puede esperar que estos servicios sean incorporados al mercado a tiempo para incentivar decisiones correctas de uso y preservación. Las señales de la productividad agrícola, disponibilidad de agua y otras llegarán cuando los activos se hayan agotado, lo que ocurrirá aun sin cambio climático.

En las últimas décadas ha habido importantes esfuerzos por mejorar nuestra comprensión del aporte de los ecosistemas y estimar su valor económico. Varios países de la región han establecido sistemas de pago por servicios ambientales y las Áreas Naturales Protegidas suman más de 550. Se han desarrollado estudios importantes sobre los riesgos del cambio climático, en particular sobre los bosques y su biodiversidad. Se ha progresado con métodos para estimar las pérdidas ambientales

por impactos de eventos extremos. Estos costos han sido estimados en catorce evaluaciones de eventos mayores en Centroamérica en las últimas décadas. Y en 2011, los Ministros de Ambiente acordaron robustecer la metodología de estas evaluaciones.

También es importante valorizar los ecosistemas en forma extramercado, considerando los conocimientos científicos y los valores culturales relacionados. Esta forma de valorización también contribuye a motivar medidas precautorias ante el hecho de que el mercado no envía las señales correctas. Los análisis de valorización económica son útiles pero tienen limitaciones porque no siempre es fácil asignar valor monetario a determinados servicios, especialmente los valores intrínsecos invaluable, como los culturales y de regulación y existencia. El reto de una apropiada valorización de los ecosistemas, en un sentido amplio, se vuelve más urgente por la amenaza de cambio climático.

En el marco de estos tres retos, el presente estudio tiene el objetivo de desarrollar escenarios de la distribución geográfica potencial de los ecosistemas boscosos de Centroamérica en el futuro (CEPAL, COSEFIN, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2012c). En primera instancia, se estima la pérdida de área disponible a estos ecosistemas provocada por la presión humana sin el cambio climático, utilizando un escenario de cambio de uso de tierra a 2100 preparado por expertos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) para la iniciativa La economía de cambio climático en Centroamérica. (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011a) Este escenario estima que la superficie dedicada a actividades agrícolas aumentaría en aproximadamente 30% durante este siglo, afectando a la extensión de bosques y de pastizales, sabanas y arbustales con reducciones de 33% y 83% respectivamente. Estos cambios ocurrirían principalmente en las próximas cuatro décadas.

El estudio comienza por representar los ecosistemas de la región con el método de Zonas de Vida de Holdridge (ZVH). Éstas son entendidas como “zonas con condiciones climáticas adecuadas para un ecosistema dado” (Holdridge, 1947 y Locatelli e Imbach, 2010). Una ZVH es un grupo de asociaciones vegetales dentro de una división natural del clima, según sus condiciones edáficas y etapas de sucesión, con fisonomía similar en cualquier parte del mundo. Tales asociaciones definen un ámbito de condiciones ambientales que, junto con los seres vivos, forman un conjunto único de fisonomía vegetal y actividad animal. La clasificación ZVH proporciona una base lógica para definir los ecosistemas locales en un marco comparable. Para especificar las condiciones de clima del año base, 2005, se utilizaron los datos de WorldClim (Hijmans y otros, 2005) correspondientes al promedio mensual de precipitación y temperatura del período 1950 a 2000. Así, en 2005 Centroamérica poseía una cobertura natural aproximada de 28,5 millones de hectáreas. En el escenario de cambio de uso de tierra sin cambio climático se estima que esta superficie se reduciría en 11,5 millones de hectáreas a cerca de 16,3 millones de hectáreas en 2050 y subiría a 16,9 millones de hectáreas en 2100. Este cambio provocado por la presión humana implica que todas las zonas de vida boscosas sufrirían reducciones hacia el año 2050 y posteriormente tendrían leves recuperaciones hasta finales del siglo.

De acuerdo con la clasificación ZVH, la región tiene seis zonas de vida boscosa principales. Tienen en común ser bosques tropicales con diferentes niveles de altitud y humedad. Los más extensos son el bosque húmedo tropical (12,6 millones de hectáreas) y el bosque húmedo montano bajo tropical (5,8 millones de hectáreas). Juntos representan cerca del 65% de la cobertura natural de la región circa 2005. El bosque húmedo tropical se ubica en la costa Atlántico, la costa Pacífico de Costa Rica y El Petén de Guatemala. El bosque montano bajo tropical predomina en la región centro de Honduras, Nicaragua, Belice, el Altiplano Occidental y una pequeña parte de El Petén en Guatemala.

En un escenario con cambio de uso de tierra (CUT) sin cambio climático, el bosque húmedo tropical podría reducirse a 7,4 millones de hectáreas a mitad del siglo y recuperarse a 7,8 al final. La estimación de la extensión correspondiente al bosque húmedo montano bajo tropical es de 2,8 millones de hectáreas en 2050 y 2,9 millones de hectáreas en 2100 (véase mapa 10).

Las zonas de bosque seco tropical, bosque muy húmedo montano bajo tropical y bosque muy húmedo tropical representan el 29% de la superficie con cobertura natural de la región. El bosque seco tropical crece principalmente en la costa Pacífico de Nicaragua, El Salvador, Guatemala y la región norte de El Petén en Guatemala y Belice. El bosque muy húmedo montano bajo tropical crece en la región centro de Costa Rica, Panamá y Guatemala. El bosque muy húmedo tropical prolifera principalmente en la Región Autónoma de Atlántico Sur y Río San Juan en Nicaragua, más una pequeña fracción en el Altiplano Occidental guatemalteco.

El bosque seco tropical podría reducirse de 3,2 millones de hectáreas en 2005 a 1,3 millones de hectáreas a la mitad del siglo, para recuperarse hasta 1,9 millones de hectáreas al final del siglo. Las cifras correspondientes del bosque muy húmedo montano bajo tropical son 2,7 en 2005, 2,0 en 2050 y 2,1 millones de hectáreas en 2100. El bosque muy húmedo tropical, que cubría 2,4 millones de hectáreas en 2005, podría disminuir a 1,7 millones de hectáreas y 1,8 millones de hectáreas a la mitad y al final del siglo, respectivamente.

Las zonas de vida con menor superficie son el bosque seco montano bajo tropical, el bosque muy húmedo montano tropical, el bosque pluvial montano bajo tropical, el bosque pluvial montano tropical, el bosque muy seco tropical y el bosque húmedo montano tropical. Juntos representaron menos del 6% de la superficie con cobertura natural de Centroamérica en 2005. El bosque seco montano bajo tropical cubría 1,1 millones de hectáreas en 2005 y podría perder 85% de su superficie durante este siglo, la mayor parte en las próximas décadas. Las zonas restantes representaban casi medio millón de hectáreas en 2005 y podrían perder 58% durante este siglo.

En resumen, el escenario con CUT sin cambio climático indica que la superficie de todas las zonas de vida boscosa se reduciría pero las proporciones de las zonas se mantendrían relativamente constantes. Será importante avanzar en las estimaciones de los grados o estados de conservación de los ecosistemas, tarea muy compleja.

Para estimar el potencial impacto del cambio climático en los ecosistemas, este estudio utiliza dos escenarios de emisiones de GEI, B2 y A2, establecidos por el IPCC y la estimación de sus implicaciones para temperatura y precipitación de la iniciativa ECCCA (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011), en particular los promedios de las rejillas de los modelos HADCM3, GFDL R30 y ECHAM4 para B2 y HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5 para A2. A fin de identificar las tendencias con mayor claridad se establecieron períodos de diez años para cada año de corte: 2020 (promedio 2016 a 2025), 2030 (promedio 2026 a 2035), 2050 (promedio 2046 a 2055), 2070 (promedio 2066 a 2075) y 2100 (promedio 2091 a 2100).

Este análisis estima cómo los posibles cambios de temperatura y precipitación podrían alterar la distribución de las zonas de vida boscosas dentro de la superficie natural dejada por el cambio de uso de tierra. No estima cómo el cambio climático podría afectar las actividades humanas y la consecuente tasa de destrucción de la superficie natural, análisis que requiere estudios sobre potenciales reacciones de las sociedades al fenómeno.

El escenario menos pesimista (B2) prevé una disminución promedio de la lluvia en la mayor parte de la región de 4% y 11% en los cortes de 2050 y 2100, respectivamente, y un incremento de la temperatura promedio de 1,3 °C y 2,5 °C en los mismos cortes.

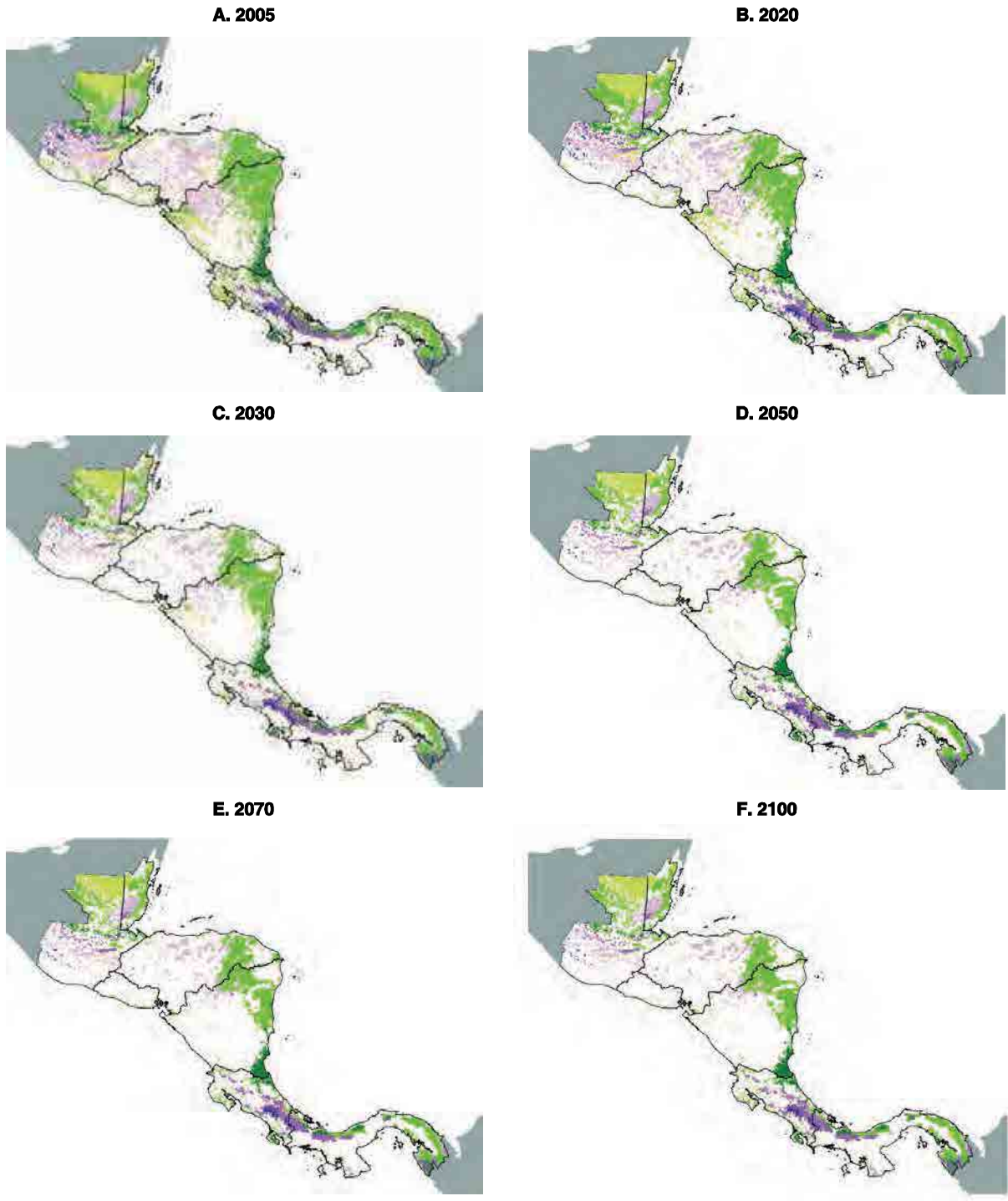
El escenario más pesimista (A2) proyecta un aumento continuo de las emisiones globales de GEI, resultando en un mayor incremento promedio de la temperatura de 1,7 °C y 4,2 °C a 2050 y 2100 respectivamente y una disminución sustancial de la lluvia promedio de 14% en 2050 y 28% en 2100, véanse mapas 11 y 12).

Con respecto a los cambios potenciales en las mayores seis zonas de vida boscosas de Centroamérica bajo B2, se estima que el bosque húmedo tropical seguirá predominando. Su superficie fluctuaría entre aproximadamente 10 millones de hectáreas y 14 millones de hectáreas durante el siglo, terminando en aproximadamente 12 millones de hectáreas en 2100. Su proporción del total aumentaría de 44% en 2005 a poco más de 70% en 2100. En A2 la superficie del bosque húmedo tropical aumentaría ligeramente desde los 12,6 millones de hectáreas en 2005 hasta el corte 2020, pero en el resto del siglo se reduciría hasta terminar en 7,5 millones de hectáreas en 2100, representando 44% del total de la superficie natural, proporción similar a la de 2005. El mayor aumento de superficie sería la del bosque seco tropical, de 3,2 millones de hectáreas en 2005 a 6,6 millones de hectáreas en 2100; su proporción del total aumentaría de 11% a 39%. Estas dos ZVH representarían casi 84% de la superficie natural total. El resto de zonas de vida húmedas sufriría reducciones significativas: el bosque húmedo montano bajo tropical, el bosque muy húmedo montano bajo tropical y el bosque muy húmedo tropical bajarían de 21%, 10% y 9% del total en 2005 a 5%, 3% y 4% al final del siglo.

En resumen, en este escenario el bosque húmedo tropical reduciría su extensión, mientras que la del bosque seco tropical aumentaría. Así, los dos escenarios demuestran patrones diferenciados de ZVH con el tiempo, uno hacia zonas más secas (en A2) y otro hacia zonas más húmedas (en B2). Ambos escenarios estiman un aumento de las zonas húmedas alrededor del corte 2020 y una reducción de la diversidad de zonas de vida con el paso de las décadas. Se prevén variaciones entre países: el bosque húmedo tropical de Belice representaría 90% del total en 2100 con B2, pero con A2 44% podría ser bosque seco tropical. En cambio, Costa Rica experimentaría patrones más similares en los tres escenarios y mantendría una mayor diversidad de ZVH (véase gráfico 22).

La segunda parte de este estudio continúa el esfuerzo de la iniciativa ECCCA de sistematizar la información disponible sobre la valorización económica de ecosistemas y su biodiversidad para estimar valores actuales y pérdidas futuras atribuibles al cambio climático (véase Capítulo 6, CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011a). En este estudio se utiliza la técnica del metanálisis para establecer valores económicos estimados de los bosques tropicales. Consiste en un análisis estadístico de los estudios empíricos disponibles y de sus características comunes y diferencias para obtener una visión integrada de tendencias en la valorización que no siempre son captadas por cada estudio específico. El metanálisis adapta la información original y permite aplicarla a otros contextos ante la escasez de estudios de la región. El estimador del efecto combinado es una media ponderada de los valores identificados en cada estudio. Se dio mayor peso a los estudios desarrollados en la región y menor a los de otras regiones del mundo.

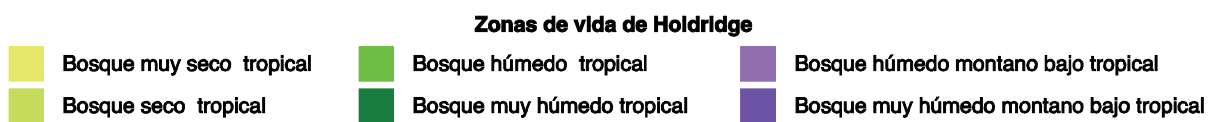
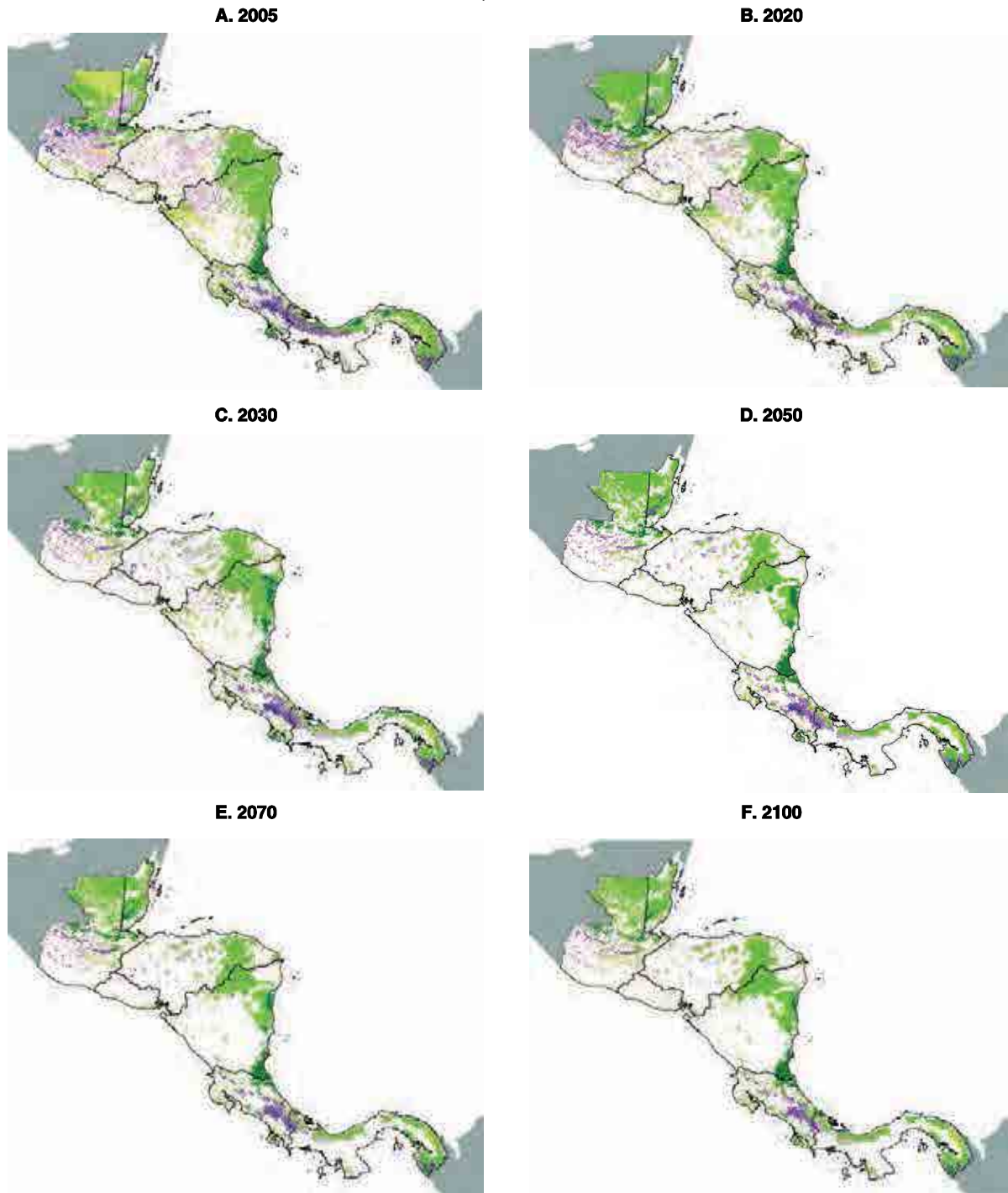
MAPA 10
CENTROAMÉRICA: SUPERFICIE DE ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE, 2005 Y CAMBIO DE USO DE TIERRA, CON CORTES A 2100



- Zonas de vida de Holdridge**
- | | | |
|---|---|--|
| Bosque muy seco tropical | Bosque húmedo tropical | Bosque húmedo montano bajo tropical |
| Bosque seco tropical | Bosque muy húmedo tropical | Bosque muy húmedo montano bajo tropical |

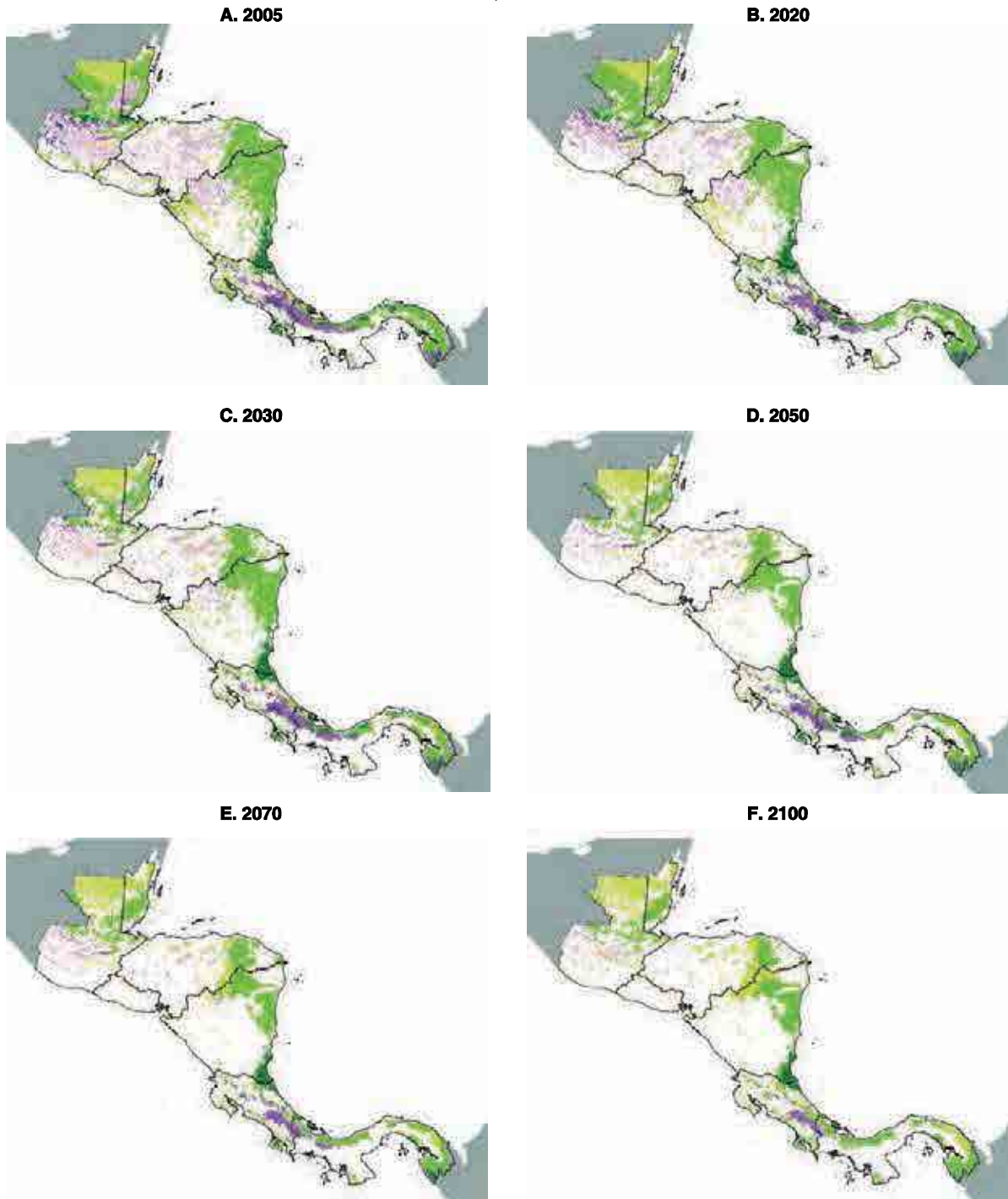
Fuente: Elaboración propia.

MAPA II
CENTROAMÉRICA: SUPERFICIE DE ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE, 2005 Y CAMBIO DE USO DE TIERRA Y
ESCENARIO B2, CON CORTES A 2100









Fuente: Elaboración propia.

MAPA 12
CENTROAMÉRICA: SUPERFICIE DE ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE, 2005 CON CAMBIO DE USO DE TIERRA Y ESCENARIO A2, CON CORTES A 2100

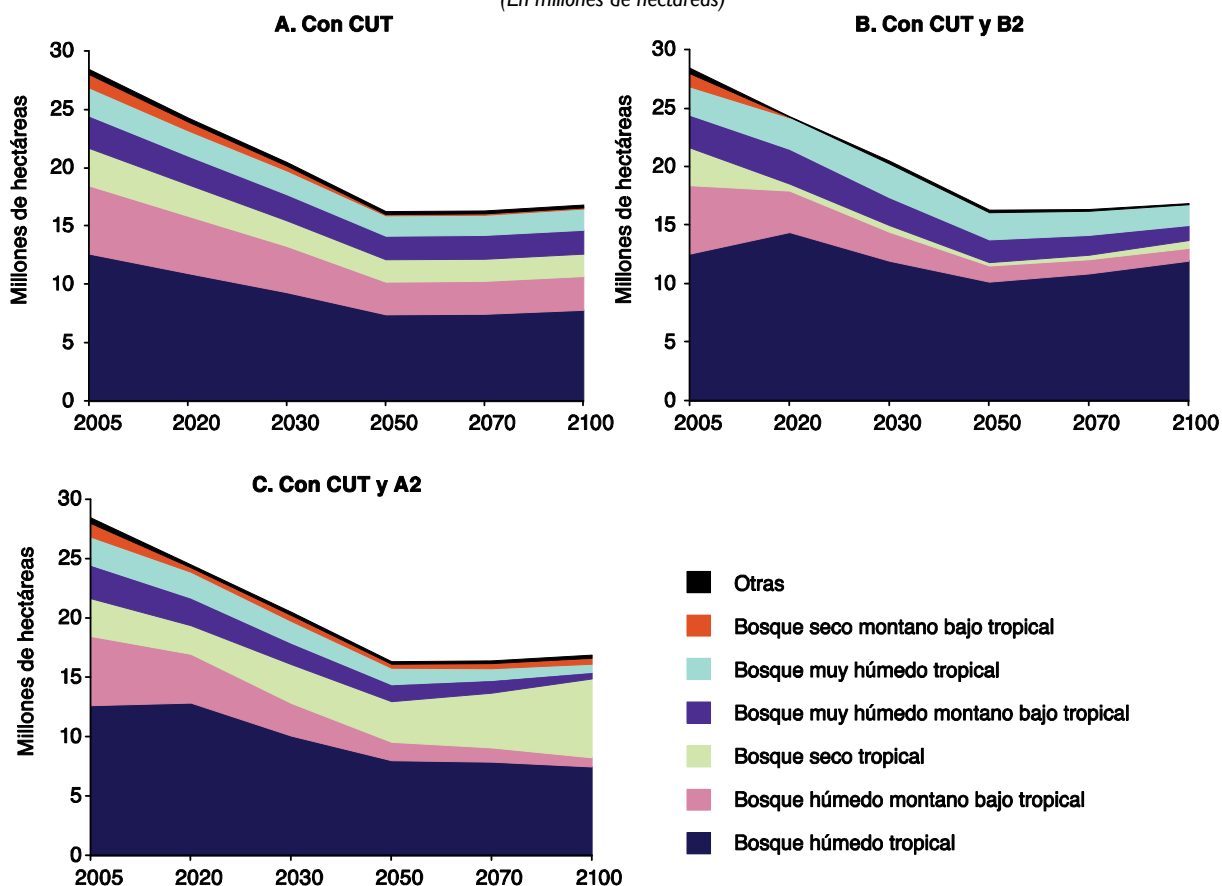


Zonas de vida de Holdridge

 Bosque muy seco tropical	 Bosque húmedo tropical	 Bosque húmedo montano bajo tropical
 Bosque seco tropical	 Bosque muy húmedo tropical	 Bosque muy húmedo montano bajo tropical

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 22
CENTROAMÉRICA: SUPERFICIE DE ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE, 2005 Y ESCENARIOS,
CON CORTESA 2100
(En millones de hectáreas)



Fuente: Elaboración propia.

Se identificaron 80 estudios de valoración económica de servicios ecosistémicos de los bosques tropicales en diversos países. Algunos abarcan más de un servicio, dando un total de 275 observaciones útiles para nuestro propósito. El 22% se refiere a Centroamérica y 23% a América del Sur, mientras que 35% aborda países específicos de otras regiones del mundo y 20% son análisis globales. La mayoría de ellos utiliza el método de valoración contingente (44%), 28% son metanálisis ellos mismos, 14% son análisis de mercado y 10% de costo-beneficio. Cerca de 64% consideran servicios de provisión y regulación; el resto corresponde a servicios de soporte (23%) y culturales (13%). Todas las estimaciones fueron homologadas a valores por hectárea por año en dólares de 2000.

Para cada una de las seis ZVH de bosques tropicales más representativas se realizaron dos ejercicios de metanálisis. El primero estima el valor promedio por hectárea de un servicio ecosistémico “genérico”, véanse los resultados de otro estudio de esta Serie técnica 2012, “La economía del cambio climático en Centroamérica: Impactos potenciales en los ecosistemas”.

El segundo ejercicio estima la suma del valor promedio por hectárea de cada uno de los cuatro tipos de servicios ecosistémicos estudiados: provisión, regulación, soporte o culturales, por cada zona de vida. Así, la valoración económica se divide por tipo de servicio y tipo de zona de vida. A partir de estos valores se obtiene el valor promedio por hectárea de cada tipo de servicio por zona de vida. Sumando estos cuatro promedios, se asume que cada hectárea puede proveer los cuatro tipos

de servicio al mismo tiempo sin degradación de su ecosistema. Se buscó minimizar el riesgo de externalidades negativas, excluyendo el valor de la extracción de madera. Las estimaciones varían entre 330 dólares y 355 dólares por hectárea por año para bosques muy secos y secos tropicales respectivamente; aproximadamente 435 dólares por hectárea por año para el bosque húmedo tropical; 570 dólares para bosque húmedo montano bajo tropical, 1,100 dólares para bosque muy húmedo tropical y poco menos de 1,420 dólares para bosque muy húmedo montano bajo tropical (este último valor es el más alto de los estimados e incluye un solo estudio en la categoría de servicios de soporte que estimó 1,064 dólares por hectárea por año).

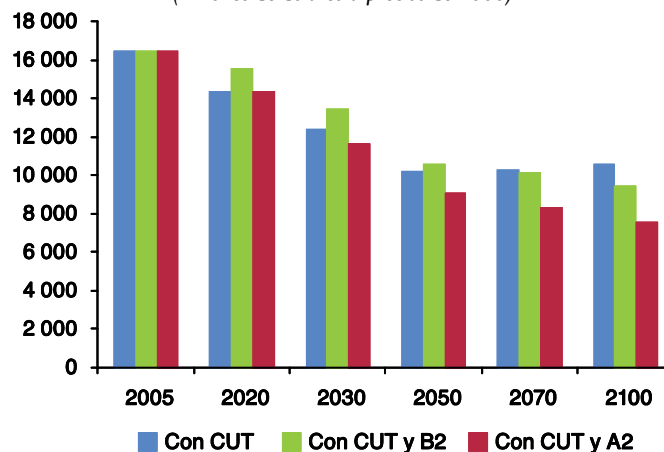
La progresión de menor a mayor valor por hectárea de las ZVH secas hacia las más húmedas es parecida en ambos ejercicios. Pero ambos tienen limitaciones. El primero se basa en el promedio de todos los valores de cada ZVH, como si cada hectárea proporcionara un solo servicio "genérico". El segundo genera valores promedio por cuatro tipos de servicios para cada ZVH, las cuales se suman. Así, cada promedio tienen menos fuentes de referencia. Igualmente, se asume que es posible utilizar los cuatro tipos de servicio al mismo tiempo. Como se mencionó, no se ha logrado identificar y valorizar todos los servicios ecosistémicos, así que los valores presentados deberán considerarse exploratorios con el propósito de representar las pérdidas asociables al cambio climático.

Considerando que la iniciativa ECCCA tiene la finalidad de alertar sobre los potenciales impactos del cambio climático, se estiman las pérdidas de valor del segundo ejercicio por cambios de superficie de las seis ZVH en la región y por país en ambos escenarios de cambio climático. Es importante señalar que las estimaciones de los cambios potenciales en las ZVH al cambio climático presentan un grado de incertidumbre y son difíciles de establecer con precisión tanto con respecto a cambios en su ubicación y extensión. Y es importante recalcar que una parte importante de servicios ecosistémicos no ha sido valorizada. Así que los resultados del estudio deben entenderse como indicaciones de las tendencias, no proyecciones de cifras exactas; y sirven principalmente para contrastar las pérdidas relativas entre el escenario de CUT sin cambio climático y los escenarios menos y más pesimista de este fenómeno.

En resumen, el valor anual estimado de los cuatro tipos de servicios ecosistémicos de las seis ZVH en 2005 fue de aproximadamente 16,5 mil millones de dólares. Manteniendo los valores en dólares de 2000, considerando el escenario con cambio de uso de tierra a los cortes de 2050 y 2100, el valor de los cuatro tipos de servicios se reduciría a 10,3 y 10,6 mil millones de dólares, respectivamente. Agregando el escenario menos pesimista (B2) a los efectos de CUT con los mismos cortes, las sumas serían 10,6 y 10,9 mil millones de dólares, con un aumento de 3% al corte de 2050 debido al aumento de bosques húmedos en este período inicial, y una reducción de 10% a 2100, respecto al escenario únicamente con CUT. Combinando el escenario CUT y el más pesimista de cambio climático (A2) en los mismos cortes, los totales serían 9,1 y 7,6 mil millones de dólares con reducciones de 11% y 29% relativo al escenario CUT. En este escenario, la caída de la valorización se relaciona con la reducción de superficie de bosques más húmedos que tienen un mayor valor por hectárea.

GRÁFICO 23
CENTROAMÉRICA: ESTIMACION INICIAL DEL VALOR DE LAS SEIS PRINCIPALES ZONAS DEVIDA DE HOLDRIDGE, 2005 Y ESCENARIOS, CON CORTES A 2100

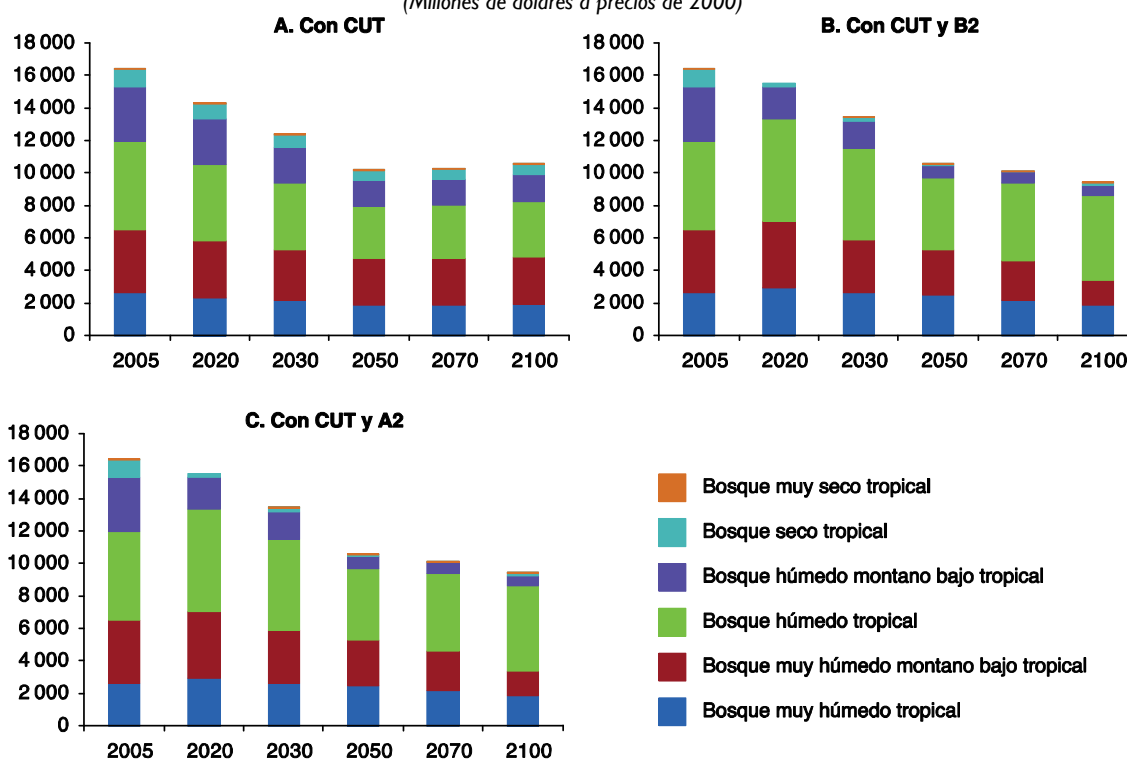
(Millones de dólares a precios de 2000)



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 24
CENTROAMÉRICA: ESTIMACION INICIAL DEL VALOR POR ZONA DEVIDA DE HOLDRIDGE, 2005 Y ESCENARIOS, CON CORTES A 2100

(Millones de dólares a precios de 2000)



Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados podrían interpretarse que el escenario B2 posiblemente beneficie a los servicios ecosistémicos en las primeras décadas de este siglo, pero es importante hacer varias acotaciones. El estudio evalúa las condiciones de temperatura y precipitación relacionadas con las distintas ZVH, pero aún queda por analizar si el conjunto de formas de vida en las ZVH realmente podrán adaptarse a los tiempos y las tasas de cambio en la precipitación y temperatura combinados

con las presiones de CUT. Igualmente, es importante recalcar que las actuales tendencias de emisiones de GEI se acercan más al escenario A2 que el B2, por lo que la probabilidad de darse este efecto es menor. A partir de 2070 en el escenario CUT y B2 y desde el corte 2030 en CUT y A2, se registran pérdidas de este estimado de valor relativo al escenario CUT sin cambio climático.

Finalmente, es importante resaltar que todos los tres escenarios sugieren pérdidas de valor relativo a los estimados de 2005: con CUT se perdería 38% al año 2050 y 36% al año 2100; con CUT y B2 el valor bajaría 36% y 42% a estos mismos cortes; y con CUT y A2 las pérdidas serían de 45% y 54% respectivamente. Estos resultados confirman que reducir la deforestación y avanzar en la protección y la recuperación de ecosistemas naturales es un reto de desarrollo en sí mismo, y sugieren que el cambio climático, especialmente el escenario más pesimista y tendencial de emisiones, traería mayores pérdidas de bosques y de sus servicios ecosistémicos (véanse gráficos 23 y 24).

Este estudio ha estimado los potenciales cambios en ecosistemas con referencia a la clasificación de ZVH, ya que la inclusión de variables de temperatura y precipitación lo hace indicada para modelar impactos de los escenarios de cambio climático. Esto es un primer paso, ya que futuros análisis tendrán la compleja tarea de explorar la capacidad de los ecosistemas y sus especies miembros para evolucionar, “desplazarse” y mantener su integridad bajo estas condiciones cambiantes climáticas. Igualmente, se deberá tomar en cuenta que la degradación y fragmentación por la presión directa de las sociedades complica esta adaptación. Estos trabajos futuros pueden aprovechar análisis sobre el efecto de los cambios de los patrones intraanuales de precipitación, aridez y meses secos, disponible en otra publicación de esta Serie técnica 2012.

La sistematización de los diversos estudios de valorización económica encontrados, realizada por medio del método de metanálisis, proporciona resultados que podrán servir en otros ejercicios de valorización, incluyendo evaluaciones de impactos de eventos extremos. Evidencia la necesidad de incentivar más estudios de los servicios ecosistémicos de la región y opciones de su valorización, especialmente de zonas menos estudiadas como el bosque muy húmedo montano bajo tropical,

La adaptación humana al cambio climático está claramente ligada a la adaptación de los ecosistemas de los cuales depende, especialmente en regiones como Centroamérica. Responder a este reto requerirá incorporar el papel de los servicios ambientales en la valorización de la eficiencia y sostenibilidad de nuestras actividades económicas y tomar medidas fuera del mercado para generar incentivos y marcos regulatorios adecuados. Al respecto, es necesario considerar el principio de precaución y establecer un estándar mínimo, considerando la irreversibilidad de la pérdida biológica, el riesgo y la incertidumbre. Debido a que el cambio climático y la pérdida de hábitats por otros factores interactúan en el paisaje, se recomienda aumentar y fortalecer el sistema de Áreas Naturales Protegidas (más de 550 en la región) y corredores biológicos para abarcar mayor escala bio-geográfica, dar mayor amplitud a la definición de zonas de protección y ordenación del territorio y reforzar la protección de refugios climáticos. Estos esfuerzos pueden complementarse con programas de agricultura sostenible, el aprovechamiento forestal sustentable y el rescate de cultivos criollos y especies silvestres endémicas con resistencia a los efectos climáticos previstos.

6. EVIDENCIA DE LAS ENFERMEDADES SENSIBLES AL CLIMA

Los Ministerios de Salud y el Consejo de Ministros de Salud de Centroamérica y República Dominicana (COMISCA) establecieron en 2012 su iniciativa “Salud y cambio climático” para desarrollar mayor información sobre el impacto potencial del cambio climático en las enfermedades sensibles al clima, con la colaboración de la CEPAL, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y varias instituciones expertas, como el Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de Salud (ICGES) de Panamá, el Instituto de Meteorología (INSMET) de Cuba y el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) de México.

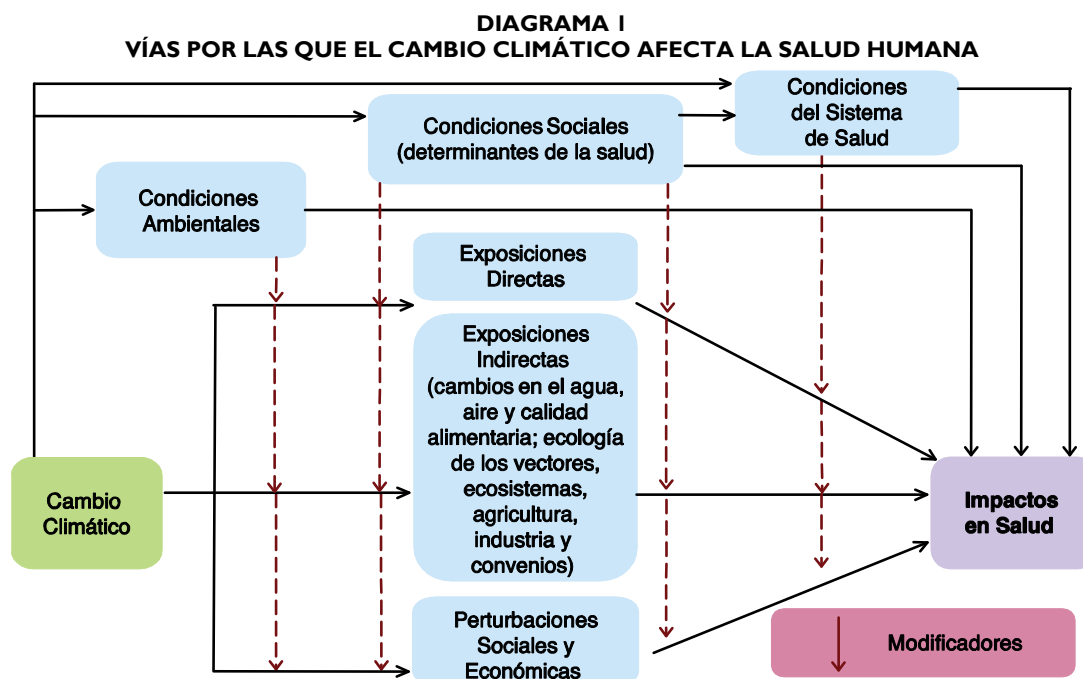
En el marco de esta iniciativa, se preparó un estudio exploratorio para analizar la relación entre el clima y la incidencia de las principales enfermedades de Centroamérica, cuyo resumen se presenta a continuación (CEPAL, COSEFIN, CCAD/SICA, COMISCA, UKAID y DANIDA, 2012). El estudio considera las repercusiones directas e indirectas causadas por fenómenos meteorológicos extremos y por cambios inducidos por el clima. Presenta una revisión bibliográfica del tema en revistas científicas indexadas y en otros documentos no indexados a fin de contar con estos antecedentes para futuras investigaciones. Las enfermedades consideradas son dengue, malaria, enfermedades diarreicas (EDA's), infecciones respiratorias agudas (IRA's), enfermedad de Chagas, leishmaniasis y leptospirosis. Se buscaron análisis que correlacionan la incidencia de estas enfermedades con tendencias o con eventos de temperatura, precipitación y contaminación del aire. El período de análisis seleccionado es 1960 a 2012, utilizando las fuentes de información científica MEDLINE, COCHRANE y LILACS con las bases de datos de Pubmed, Academic Search Premier de EBSCOhost Web y Scielo y a través del buscador google académico. Finalmente se realiza un análisis de la vulnerabilidad del sector salud.

Históricamente, los países centroamericanos han enfrentado efectos directos e indirectos de los fenómenos hidrometeorológicos en la salud. En los últimos años, ha surgido la preocupación por el aumento de la intensidad y la cantidad de estos eventos por el cambio climático. Además de sus efectos inmediatos, los desastres naturales tienen importantes efectos secundarios en la salud pública por las inundaciones, la destrucción de cultivos y la reubicación de afectados en espacios hacinados e insalubres (Noji y Toole, 1997). Lo cual no impide reconocer que hay condiciones de vida, como las de vivienda, infraestructura de salud pública y ambientales que ponen la salud de la población en estado de alta vulnerabilidad aun sin al cambio climático. De los aproximadamente 41 millones de habitantes de Centroamérica, dos terceras partes habitan en asentamientos que combinan pobreza con condiciones insalubres y servicios de saneamiento básico y de salud deficientes (FAO-EITEA, 2008). De hecho, algunas enfermedades asociadas a la pobreza, como malaria, dengue, infecciones parasitarias intestinales, enfermedad de Chagas, leptospirosis y leishmaniasis, también están asociadas a los cambios del clima (Hotez y otros, 2008). Al mismo tiempo, Centroamérica posee un mosaico de nichos ecológicos idóneos para la transmisión de enfermedades asociadas a su orografía y clima, debido a que el istmo está estrechamente limitado por los océanos Atlántico y Pacífico.

Para evaluar la relación clima/salud, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha utilizado estudios epidemiológicos basados en datos cronológicos de temperatura y precipitación así como de enfermedad/mortalidad en poblaciones geográficamente delimitadas (OMS, 2008). Los eventos considerados por la OMS para evaluar el estado de salud de poblaciones atribuidos a las variaciones meteorológicas a corto plazo, incluyen impactos directos del calor y del frío, disponibilidad de alimentos, impactos de eventos hidrometeorológicos, enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica, enfermedades transmitidas por vectores, agua, alimentos y zoonosis.

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) considera que el requisito principal para la adaptación de la salud humana ante el cambio climático es mejorar los sistemas de salud pública, especialmente los sistemas de vigilancia epidemiológica. Para ello es necesario evaluar la capacidad de recuperación y respuesta del sector salud ante los eventos causados por el cambio y la variabilidad climática. Hace falta una amplia evaluación que considere las posibles interacciones entre las diversas variables en los contextos más vulnerables: interculturalidad, infraestructura, pobreza e inequidad. Además de prever las potenciales repercusiones del resto de los sectores en la salud: seguridad alimentaria, desnutrición, migración, diseminación de enfermedades y aumento de la pobreza.

En el Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2007d), el grupo de trabajo “Impactos, adaptación y vulnerabilidad” precisó que los impactos pueden ser directos o indirectos y por múltiples vías y que su asociación con las variables climáticas puede ser modificada por factores ambientales, sociales y propios de los sistemas de salud (Véase el diagrama 1).



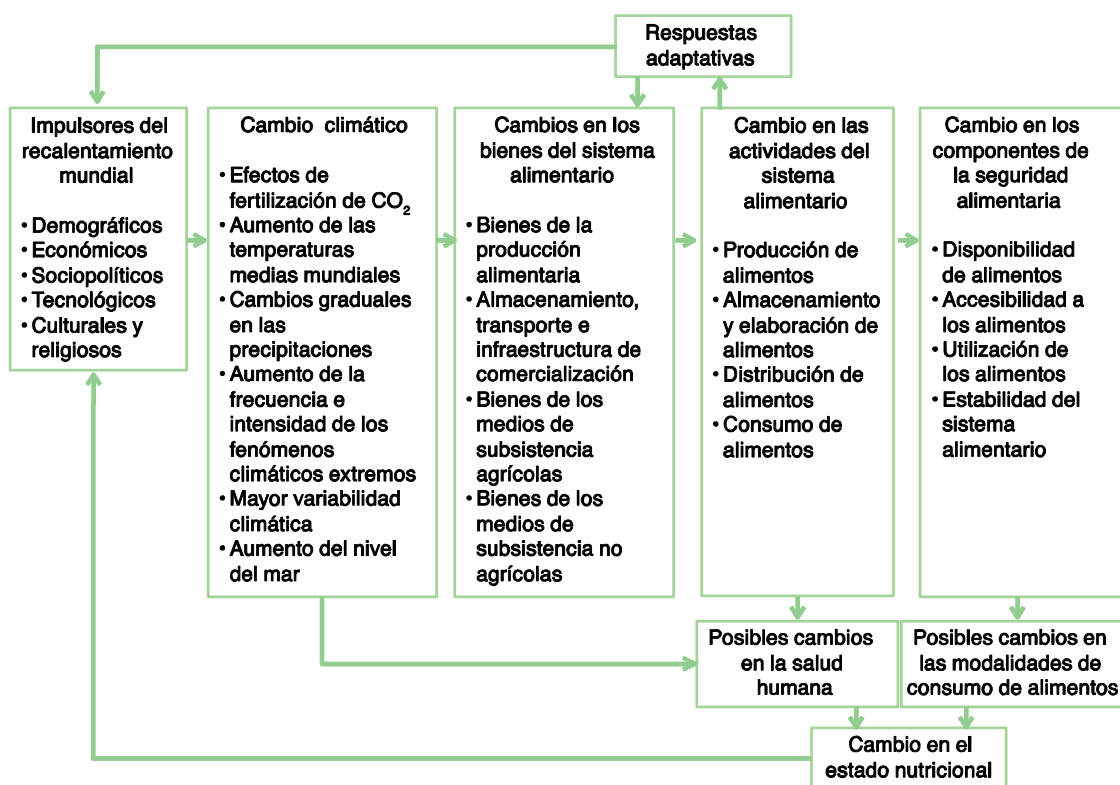
Fuente: IPCC, 2007.

El impacto directo más evidente de los cambios de clima en la morbi-mortalidad está asociado a las temperaturas extremas. La ola de calor del 2003 en Europa trajo consigo una crisis sanitaria, política y social, puso en evidencia las deficiencias del sistema de vigilancia epidemiológica de varios países desarrollados. Tal evento orilló a evaluar el impacto de las temperaturas extremas sobre casos

de morbi-mortalidad en el continente⁵. Los estudios encontraron que, pese a la heterogeneidad de los métodos de análisis, los grupos de edad más afectados por la exposición a altas temperaturas fueron los mayores de 75 años, las personas con enfermedades previas o que vivían solas, los indigentes y las personas de bajo nivel socioeconómico en general. Tales hallazgos sentaron las bases para desarrollar sistemas de alerta temprana a fin de reducir la morbi-mortalidad asociada a las altas temperaturas.

Diversos estudios internacionales han cuantificado los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria global. Las evaluaciones de los efectos del cambio climático en la salud por la disponibilidad de alimentos son incipientes. En el último año se han desarrollado estudios que cuantifican el impacto negativo del cambio climático sobre la producción y rendimiento agrícola en Centroamérica, incluyendo la producción de granos básicos para la seguridad alimentaria, como maíz, frijol y arroz. Dado que la inseguridad alimentaria incluye falta de alimentos y una nutrición inadecuada, se recomienda que los estudios incluyan todos los factores del sistema alimentario (véase el diagrama 2).

**DIAGRAMA 2
EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA**



Fuente: FAO, 2007.

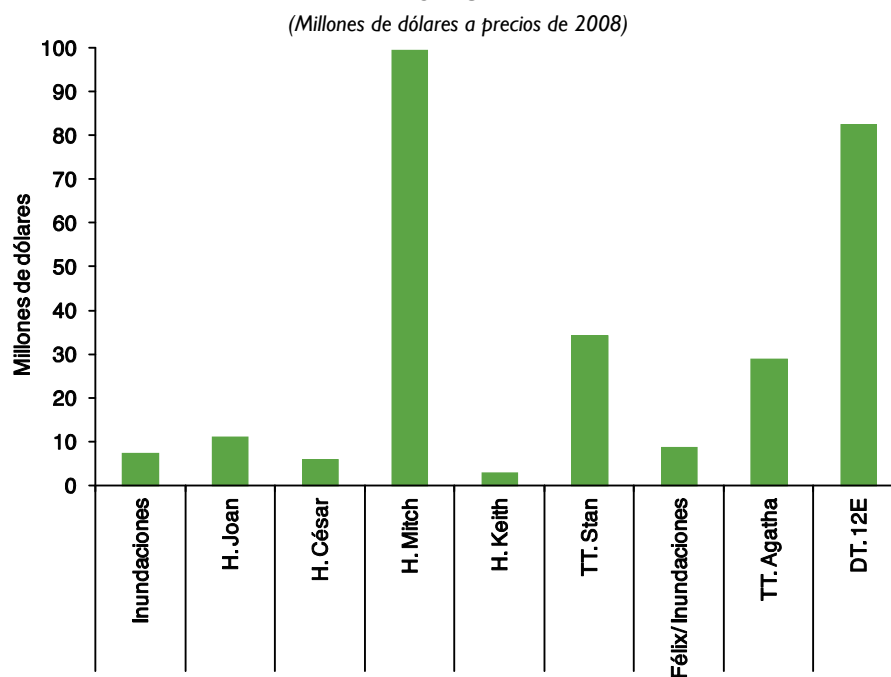
Los impactos indirectos del cambio climático en la salud son mediados por cambios inducidos en procesos biogeoquímicos complejos y en otros riesgos ambientales de la salud. El cambio climático ha sido asociado al aumento en la intensidad de los eventos hidrometeorológicos

⁵ Véase CEPAL, COSEFIN, CCAD/SICA, COMISCA, UKAID y DANIDA, 2012, para consulta de fuentes bibliográficas de estudios referidos a las diversas enfermedades tratadas en ésta sección.

extremos (EHE's), los cuales a menudo causan cuantiosas pérdidas materiales y humanas. El gráfico 25 muestra las pérdidas económicas causadas por los principales desastres en el sector salud en Centroamérica.

El huracán más devastador en Centroamérica ha sido Mitch que en 1998, dejó alrededor de 30.000 muertos y desaparecidos, así como cuantiosas pérdidas económicas, destruyendo viviendas, puentes, caminos y gran parte de las plantaciones de café y plátano (Cupples, 2007). Los daños de EHE's a la infraestructura de comunicación, saneamiento y servicios básicos como luz, agua potable y servicios de atención de salud, así como las inundaciones posteriores pueden generar condiciones para la proliferación de múltiples enfermedades infecciosas, como cólera, dengue y diarreas (Shultz y otros, 2005). La inundación de los cultivos, traen consigo escasez de alimentos y contaminación de los suelos. La población puede desarrollar trastornos de salud mental, como estrés post-traumático y depresión (OMS, 2008).

GRÁFICO 25
CENTROAMÉRICA: PÉRDIDAS ECONÓMICAS CAUSADAS POR LOS PRINCIPALES DESASTRES EN EL SECTOR SALUD



Fuente: CEPAL, varios años.

Uno de los aspectos relevantes del cambio climático es el incremento de la temperatura en ciudades con contaminación atmosférica, debido a que las condiciones climáticas condicionan de manera directa la acumulación y dispersión de contaminantes. Dos de los contaminantes más dañinos son el ozono y el material particulado. Ambos sensibles al clima, en especial el ozono, contaminante secundario formado en la atmósfera por reacciones de contaminantes primarios como los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles en presencia de la luz solar –radiación-. Los altos niveles en ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias, asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica en personas de 65 años y más se ha asociado al incremento de las concentraciones de ozono. Durante distintas olas de calor en Londres durante los años 2003, 2005 y 2006, se encontró un aumento de 6.000 muertes atribuibles a los niveles de ozono y 5.000 relacionadas directamente con el efecto de la temperatura.

En las ciudades de Centroamérica aún no se cuenta con estudios similares por la falta de datos de salud y, en algunos casos, por falta de monitoreo atmosférico. Las ciudades de la región requieren especial atención porque han experimentado un crecimiento poblacional desordenado, el cual, ligado a factores económicos, aumenta los niveles de contaminación. Las principales fuentes de emisión son el obsoleto parque vehicular y el uso de combustibles de baja calidad (Swisscontact, 2000). A fin de mejorar la calidad del aire de las zonas urbanas centroamericanas se han establecido estaciones de monitoreo atmosférico y se han adoptado medidas para reducir las emisiones de contaminantes, como el uso de gasolinas sin plomo. Costa Rica prohibió el uso de gasolina con plomo en 1996 y estableció la inspección anual de emisiones automotrices, logrando reducir los niveles ambientales del metal en un 60% (Onursal y otros, 1997).

Las enfermedades diarreicas agudas (EDA's) presentan un patrón estacional, cuya mayor incidencia ocurre en las temporadas cálidas, las cuales favorecen la propagación de patógenos. Los cambios en los patrones globales de precipitación también contribuyen al brote de estas enfermedades. En países tropicales las infecciones virales ocurren todo el año, aumentando durante la estación seca y los meses más fríos. Las diarreas por bacterias suceden con mayor frecuencia en los meses más cálidos de la estación lluviosa. El fenómeno de El Niño-Oscilación Sur (ENOS) ha sido reconocido como factor influyente en los EHE's los cuales han estado asociados al aumento de ingresos hospitalarios por EDA's. Se ha demostrado que los ingresos a urgencias hospitalarias por infecciones gastrointestinales están relacionados con la turbidez del agua para beber. Otros estudios muestran asociación entre las EDA's y el consumo de mariscos crudos, mal cocidos o alimentos contaminados, cuya mayor incidencia ocurre durante los meses cálidos. Algunos estudios sugieren que el cambio climático puede afectar la salud por sus efectos en la floración nociva de *fitoplancton* o algas en aguas superficiales, estuarios y aguas costeras. Otros estudios reportan que su proliferación podría incrementarse por cambios en la temperatura superficial del mar (TSM), la cual, junto con la fuerza de los vientos, contribuye a la proliferación de *fitoplancton* tóxico y a la intoxicación de humanos por consumo de moluscos.

En Centroamérica persisten las malas condiciones de saneamiento básico, la mala calidad del agua para consumo humano y la contaminación fecal de los alimentos, lo que favorece la diarrea por infección intestinal. La desigualdad económica de Centroamérica se refleja en el acceso al agua y al saneamiento. Por ejemplo, en Nicaragua más de la mitad de la población carece de servicios de saneamiento básico y tiene acceso limitado a la atención sanitaria (BID, 2007).

Las zoonosis son enfermedades transmitidas por animales vertebrados a los humanos, y algunas de ellas presentan patrón estacional. Los cambios en los patrones de temperatura y precipitación afectan la dinámica de la fauna silvestre y en menor proporción la dinámica de la fauna doméstica, influyendo a su vez en la transmisión de enfermedades. Una de las enfermedades zoonóticas más comunes es la leptospirosis. La leptospirosis es causada directamente por espiroquetas patógenas del género *leptospira*, cuyos portadores o vectores son los animales. La infección de humanos ocurre por contacto accidental con animales portadores o con el medio ambiente contaminado, cuya principal fuente es la orina del animal excretor, frecuentemente ratas, perros, bovinos, equinos y porcinos. La mayoría de las infecciones por leptospirosis son enfermedades leves de recuperación rápida. Sin embargo, un pequeño porcentaje de ellas desarrolla diversas complicaciones por la implicación de múltiples sistemas orgánicos, en cuyo caso la tasa de letalidad es de alrededor de 40% (Ashford y otros, 2000). En los últimos años se han producido brotes en Nicaragua, Brasil y la India. Algunos de ellos ocurrieron por inundaciones posteriores a eventos hidrometeorológicos (Vijayachari y otros, 2008).

En las dos últimas décadas ha habido un intenso debate sobre los efectos de las variables climáticas en las enfermedades transmitidas por vector (ETV's). La influencia de la temperatura y la precipitación pluvial en ellas está bien documentada. Las enfermedades de este tipo más estudiadas son el dengue, la malaria, el mal de Chagas y la leishmaniasis.

El virus del dengue es la causa más común de enfermedades por arbovirus a nivel mundial. Su transmisión ocurre por picadura del mosquito *aedes aegypti* mediante cuatro serotipos: DEN-1, DEN-2, DEN-3 y DEN-4. Se distribuye fundamentalmente en los trópicos, donde se estima que hay entre 50 millones y 100 millones de enfermos anualmente (Wong y otros, 2007). El dengue ha tenido un incremento significativo en las últimas décadas en toda América Latina prácticamente, donde ahora pululan los cuatro serotipos. El riesgo de dengue hemorrágico (DH) se ha incrementado en Centroamérica (OMS, 1992).

Al igual que otras ETV's, el dengue presenta un claro patrón estacional: la temperatura y la lluvia fomentan la diseminación de los mosquitos y aumentan la probabilidad de transmisión humana del virus. Hales y otros (1999) investigaron la relación entre incidencia de dengue y eventos de ENOS en 14 países insulares del Pacífico sur mediante correlaciones de los promedios anuales del Índice de Oscilación del Sur (IOS), temperatura local, precipitación y casos de dengue. Encontraron correlación positiva entre el IOS y dengue en diez islas y correlación débil o negativa entre el IOS y dengue en cuatro islas. De manera similar, Gagnon y otros (2001) establecieron una correlación temporal consistente entre eventos ENOS y epidemias de dengue en la Guyana Francesa, Indonesia, Colombia y Surinam. Los datos mensuales de temperatura e hidrología (precipitación y altura de los ríos) del mismo estudio mostraron que las epidemias de dengue en el norte de América del Sur están asociadas con temperaturas más cálidas y menor pluviosidad en años de El Niño. Otros estudios han analizado áreas geográficas pequeñas con datos semanales agregados y se han evaluado las variables temperatura y precipitación como los principales factores del proceso biológico que afecta a la salud.

La malaria es uno de los grandes problemas de salud pública global por su nivel de incidencia, extensión de las áreas de transmisión y costo económico. En el año 2008 hubo 247 millones de casos en el mundo y casi un millón de muertes, principalmente en la población infantil del continente africano (OMS 2010). Es una enfermedad transmitida a los humanos por parásitos del género *plasmodium* mediante la picadura del mosquito *anopheles* infectado. Existen aproximadamente 400 especies de *anopheles*, de las cuales unas 30 o 40 transmiten cuatro especies de parásitos capaces de infectar al hombre.

La abundancia del vector está relacionada con los sitios favorables al desarrollo larvario de mosquitos, lo que a su vez depende de la topografía, hidrología, precipitación pluvial, temperatura y disponibilidad de fuentes de alimento sanguíneo. Lo anterior fue identificado por un estudio desarrollado en Sucre, Venezuela, el cual correlacionó los casos de malaria en un período de 15 años (1986 a 2000) con las variaciones climáticas. Los resultados mostraron que la temperatura, la precipitación y la humedad impactan en la biología y la ecología del vector, abreviando su período de incubación extrínseco (PIE), tiempo necesario para que el patógeno sea infectante (Delgado y otros, 2004). Otros estudios han mostrado que altas temperaturas y lluvia podrían ampliar el radio de transmisión de la enfermedad y modificar sus patrones.

La enfermedad de Chagas es una patología endémica de América Latina que afecta principalmente a los habitantes de zonas pobres de Centroamérica y América del Sur. La enfermedad de Chagas o tripanosomiasis americana es una enfermedad parasitaria causada por el protozoo flagelado *Trypanosoma cruzi*, el cual es transmitido a humanos por la deyección (después de la

picadura) de determinados insectos artrópodos hematófagos de la subfamilia *Triatominae* o por otros medios, como transfusiones sanguíneas y trasplante de órganos, así como por la ingesta de alimentos contaminados o de la madre infectada al feto. El principal vector en Centroamérica es *Triatoma dimidiata*, el cual abunda en Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica, y es el segundo en importancia en Honduras y Colombia, después de la variedad *Rhodnius prolixus* (Dorn y otros, 2007).

El hábitat del vector y sus patrones de dispersión están determinados por factores climáticos y geográficos. El triatoma sobrevive en climas cálidos con temperaturas que oscilan entre los 16 °C y los 32 °C. Algunos estudios muestran que las altas temperaturas podrían acelerar el metabolismo del triatoma, mientras que bajas concentraciones de humedad relativa podrían provocar su deshidratación, lo que aumentaría la frecuencia de su alimentación, pues la sangre aporta una importante cantidad de agua (Carcavallo, 1999). Así, el incremento global de la temperatura afectaría la prevalencia de la enfermedad en zonas endémicas y aún en aquellas donde se considera erradicada (OMS, 2002). La prevalencia del vector en zonas con inviernos fríos se puede atribuir a su capacidad de hospedarse en microclimas más cálidos que la temperatura ambiente, como los hogares y la parte interior de ciertas plantas. La tala de árboles y el aumento de la temperatura pueden fomentar la expansión del reservorio silvestre y de los vectores de *T. cruzi* hacia zonas de mayor concentración humana.

La leishmaniasis es una enfermedad parasitaria causada por más de veinte especies de protozoos del género *Leishmania*. Es transmitida al ser humano y a animales por picadura de insectos hematófagos hembras de la familia *Phlebotominae*, que incluye los géneros *Phlebotomus* y *Lutzomia* en Europa y América Latina, cuya sobrevivencia es mayor en climas cálidos y húmedos (Azpurua y otros, 2010). El ser humano puede ser infectado por parásitos provenientes de reservorios animales o por parásitos tomados por el vector de otro huésped humano. La sintomatología clínica de la leishmaniasis puede presentar las siguientes manifestaciones: cutánea (LC), cutánea americana (LCA), mucocutánea (LMC), cutánea difusa (LCD) y visceral (LV). Las manifestaciones cutáneas también se conocen como leishmaniasis tegumentaria americana (LTA). La leishmaniasis cutánea presenta una forma no ulcerada conocida como leishmaniasis cutánea atípica (Nogueira y otros, 2005). Los agentes más importantes de las LC, LV y LCA en América Latina son *L. braziliensis*, *L. guyanensis*, *L. panamensis*, *L. mexicana* y *L. infantum*, los cuales son transmitidos principalmente por especies caninas a humanos a través de vectores del género *Lutzomia*. Cada especie presenta patrones epidemiológicos y demográficos distintos. Los países más afectados son Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, México, Perú y Venezuela. La LV es endémica en áreas de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua (OPS, 2007).

La evaluación de la vulnerabilidad presente en la variabilidad climática permite la comprensión de las relaciones entre la exposición a factores climáticos y la respuesta a algunas enfermedades sensibles al clima. Sus resultados pueden servir como instrumentos para implementar intervenciones o medidas de adaptación que ayuden a reducir la carga de tales enfermedades. Un ejemplo de lo anterior es el estudio realizado por Ortiz y otros (2006), que evalúa los efectos potenciales de la variabilidad climática sobre diferentes eventos de salud de la población en Cuba. El estudio incluye infecciones respiratorias agudas, enfermedades diarreicas agudas, meningitis bacteriana y viral, dengue y asma bronquial, demostrando que con datos oficiales mensuales se puede ofrecer información apropiada a los tomadores de decisiones.

Los estudios de vulnerabilidad ante el cambio climático deben identificar los procesos que determinan la variabilidad climática para identificar las condiciones que amplifican los riesgos y los

daños. Algunos de los métodos presentados en la literatura reciente para evaluar la vulnerabilidad del sector salud son: *Modeling Framework for Health Impact Assessment of Man- Induced Atmospheric Changes* (MIASMA); Estimación de la carga global de la enfermedad; *UNFCCC Guidelines Methods to Assessing Human Health, Vulnerability and Public Health adaptation to Climate Change*; *Lym Sim*; Índice de vulnerabilidad de los medios de vida; Síndrome de vulnerabilidad a desastres hidro-meteorológicos.

Las investigaciones de daños potenciales a la salud por el cambio climático dependen de que, al observar los efectos del clima con métodos epidemiológicos, se consideren otras variables, como los factores determinantes de la enfermedad y la vulnerabilidad de la población estudiada. Por ello, habría que generar escenarios epidemiológicos asociables al cambio climático, considerando tres variables interrelacionadas: variables climáticas que puedan relacionarse directa o indirectamente con la salud, variables relacionadas con la etiología de cada enfermedad y variables de la vulnerabilidad de la población ante los impactos del cambio climático. También existen estudios que incluyen variables demográficas. Otros desarrollan índices complejos que reflejan las anomalías climáticas en diferentes escalas, por lo que incorporan información ecológica y social para explicar los mecanismos y las relaciones entre las condiciones climáticas y la enfermedad.

Los impactos potenciales de cambio climático en la salud de las sociedades centroamericanas incluyen mayor estrés por calor y cambios en los patrones de enfermedades como malaria, dengue y cólera. La malaria continúa siendo un riesgo serio para la salud en la mayor parte de Centroamérica, incluyendo el 100% del territorio de El Salvador (OPS, 2002). Algunas proyecciones sugieren probables disminuciones de malaria en la temporada de transmisión en áreas donde se prevé un descenso de la precipitación. Para Nicaragua se prevé un incremento de la incidencia de la enfermedad. En Guatemala se investigó el impacto potencial en infecciones respiratorias agudas (IRA's), enfermedades diarreicas agudas (EDA's) y malaria, encontrando que podrían no seguir sus patrones estacionales tradicionales. Otro ejemplo es el sistema de alerta temprana del vector transmisor del dengue en Panamá el cual permite al sector salud dirigir su programa de control y otras actividades para reducir el número de casos. Un estudio reciente sobre Costa Rica consideró al dengue, la malaria, el asma, las cardiopatías, las diarreas y las enfermedades parasitarias, según la vulnerabilidad en sensibilidad, exposición y resiliencia (véanse los recuadros 1, 2 y 3).

RECUADRO I GUATEMALA: EFECTOS DEL CLIMA, SU VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA SALUD HUMANA

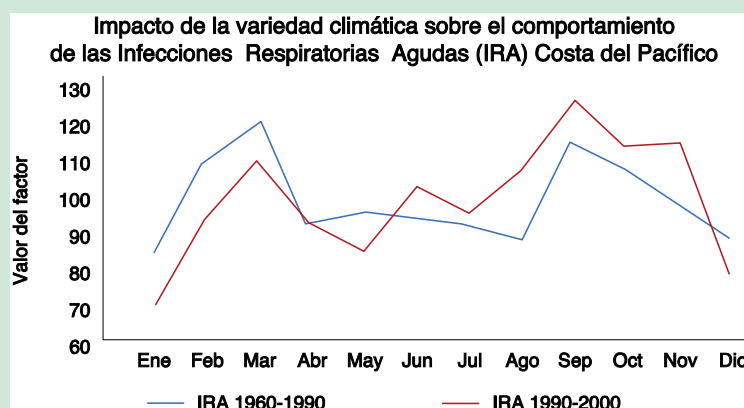
El estudio fue realizado en el marco de la 1ª. Comunicación Nacional sobre Cambio Climático incluyendo una evaluación sobre los impactos potenciales que el fenómeno del cambio climático tiene sobre la salud pública del país. En primer lugar, se consideró que la salud humana es el resultado de las interacciones entre un conjunto de factores como (1) la biología humana, (2) el ambiente, (3) la situación socioeconómica, (4) los hábitos, costumbres, estilos de vida de las personas y comunidades, y, (5) de la situación de infraestructura socio-sanitaria, especialmente la de los servicios de salud.

El estudio se enfocó en tres enfermedades, la enfermedad diarreica aguda (EDA), la infección respiratoria aguda (IRA) y la malaria (MA); siendo estas las más representativas en la población, según los datos oficiales del Ministerio de Salud Pública. Las dos primeras son de carácter infeccioso mientras que la tercera es vectorial.

(continúa)

(continuación Recuadro I)

El estudio demostró que las enfermedades analizadas no seguirán sus patrones estacionales históricos y que aparecerán episodios epidémicos fuera de su temporada normal. Para el caso de las IRA's se analizaron los períodos entre 1960-1990 y entre 1990-2000 considerando número de casos reportados de enfermedades y las variaciones climáticas para cada período. Durante los años comprendidos entre 1960 y 1990 las IRA's tuvieron un comportamiento bimodal, con un fuerte pico en el mes de marzo y otro que alcanza su cima entre los meses de septiembre y octubre. También se aprecia un aumento de su frecuencia al comienzo de la temporada de lluvia (junio y julio) pero también un retraso en la aparición del episodio epidémico típico de finales del verano (línea punteada en azul). Ante los escenarios de cambio climático esta enfermedad no seguirá su respectivo patrón estacional, produciéndose la aparición de episodios epidémicos o reducciones notables en su incidencia fuera de su temporada normal (línea continua roja).



En los años en que se produce la afectación de los eventos ENOS (El Niño-Oscilación Sur) los impactos se acentúan (Glantz, 1998 y Epstein, 1999) al cambiar la frecuencia de ondas frías, así como al variar las características termodinámicas de las masas de aire que los siguen. La presencia de períodos más cálidos y secos es otra de las consecuencias del ENOS en Guatemala.

Los impactos del Cambio Climático sobre la Salud Humana se reflejan por:

Un incremento de los índices de mortalidad y morbilidad.

Un incremento de las Enfermedades Infecciosas y no Infecciosas, transmitidas o no por vectores (malaria, dengue, esquistosomiasis).

Un incremento de los índices de malnutrición y deshidratación por las dificultades en la disponibilidad de agua y alimentos.

Daños a la infraestructura pública de salud, a causa del Cambio Climático.

Efectos psicosomáticos derivados de un Fenómeno Climatológico.

Fuente: Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. (MARN, GEF y PNUD, 2001).

RECUADRO 2
PANAMÁ: SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL DENGUE POR ÍNDICE DE INFESTACIÓN DEL MOSQUITO Aedes Aegypti

El Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud, la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A., el Ministerio de Salud y el Instituto Nacional de Estadística y Censo, asesorado por la Unidad de Clima y Salud del Instituto de Meteorología de la República de Cuba, han desarrollado un instrumento que permite orientar los esfuerzos de control del vector del mosquito que transmite el dengue. Han elaborado el índice de infestación del mosquito (INDINF), aplicando el modelo estadístico-matemático del Índice de Bultó o IB (modelo bioclimático de predictibilidad de Cuba) para hacer pronósticos a 3 meses de la probable infestación de este mosquito, *Aedes aegypti*, en el distrito de Panamá.

El INDINF es un índice observacional, descriptivo, retrospectivo, que conjuga variables históricas entomológicas y climáticas y el uso de tecnologías de la información geográfica. Se utilizaron series de tiempo de variables entomológicas (índice de infestación del mosquito) y variables climáticas (presión atmosférica, precipitación pluvial, temperatura máxima del aire, temperatura mínima del aire, oscilación térmica mensual, humedad relativa del aire, velocidad del viento a 10 metros, tensión de vapor de agua, número de días con precipitación e insolación u horas sol).

Las variables entomológicas son obtenidas a partir de la encuesta Entomológica cuatrimestral, llevada a cabo por inspectores de control de vectores y/o técnicos de vectores: por ejemplo, en abril de 2011 se inspeccionaron 73,123 predios con resultados positivos en 912, para un índice de 1,2%. Así, los resultados arrojados por las encuestas son una herramienta para la planificación de las acciones de control de vectores en los meses subsiguientes.

Mensualmente se elabora un Informe que expresa los índices de infestación observados y pronosticados por mes y la proyección trimestral, así como la georeferenciación mensual por corregimiento del distrito capital. El siguiente mapa presenta los pronósticos del índice de infestación para el mes de agosto de 2012 de los distritos de Panamá y San Miguelito, donde las áreas de color rojo representan las zonas de más alto riesgo. De acuerdo a este informe, se pronosticó una disminución respecto a los valores de julio ya que las condiciones proyectadas por el IB fueron menos húmedas, más cálidas y una ocurrencia de lluvia por debajo de lo normal. El pronóstico del índice de infestación depende de su comportamiento en el pasado, del IB y del MEI (Índice Multivariado del Evento El Niño/Oscilación Sur (ENOS) medido por *la National Oceanic and Atmospheric Administration* de los Estados Unidos).

Así, se ha podido pronosticar la infestación del *Aedes aegypti* mensual y trimestralmente en el distrito de Panamá lo cual permite al Sistema Sanitario Nacional anticipar con intervenciones sanitarias que reduzcan el riesgo de dengue en el país. Los resultados evidencian que los valores del índice de infestación pronosticados mantienen la tendencia de los valores observados. En la mayoría de los meses el pronóstico fue levemente superior al valor observado, como se observa en el siguiente gráfico.

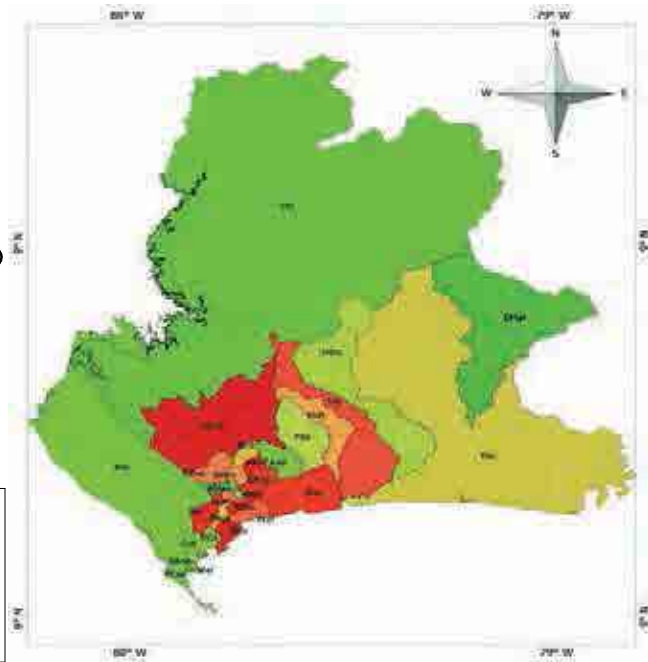
(continúa)

(continuación Recuadro 2)

DISTRITOS DE PANAMÁ Y SAN MIGUELITO: PRONÓSTICO DEL ÍNDICE DE INFESTACIÓN EN EL MES DE AGOSTO 2012

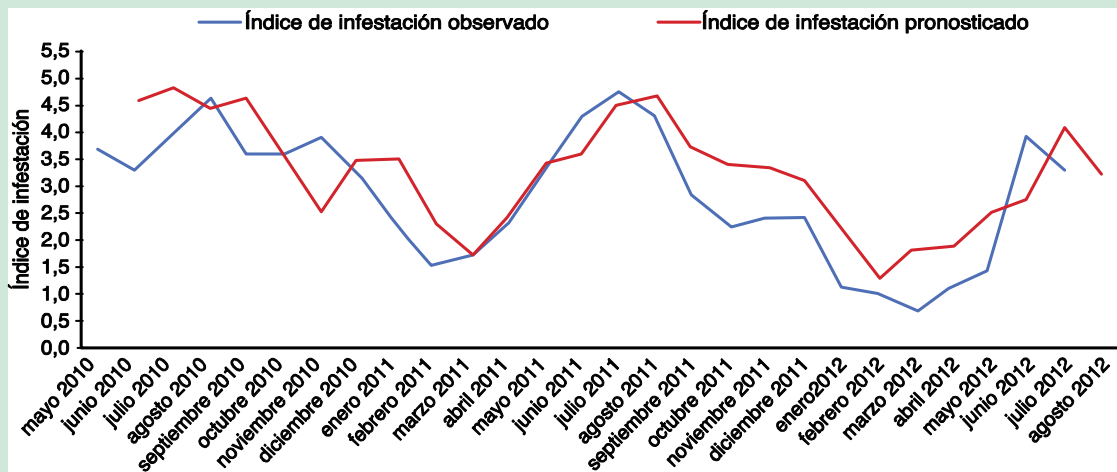
Índice de infestación según estratificación del nivel de riesgo

Distrito de Panamá		Distrito de San Miguelito	
Menos de 1 (Bajo riesgo)		Menos de 1 (Bajo riesgo)	
■ 0,2 Santa Ana (SAAna)		Sin registros	
■ 0,6 San Martín (SMar)		De 1 a 2 (Mediano riesgo)	
De 1 a 2 (Mediano riesgo)		■ 1,0 Amelia Denis de Icaza (ADica)	
■ 1,3 Chillibre (Chi)		■ 1,6 Rufina Alfaro (RAAlf)	
■ 1,4 Ancón (Anc)		Más de 2 (Alto riesgo)	
■ 1,7 Bella Vista (BVIs)		■ 2,4 Mateo Iturralde (MItu)	
■ 1,8 San Felipe (SFel)		■ 2,9 Belisario Frías (BFRf)	
■ 2,0 Calldonia (Cal)		■ 3,9 Belisario Porras (BPor)	
Más de 2 (Alto Riesgo)		■ 4,0 Omar Torrijos (OTor)	
■ 2,1 24 de Diciembre (24Dic)		■ 4,0 Victoriano Lorenzo (VLor)	
■ 2,2 Curundú (Cur)		■ 4,9 José Domingo Espinar (JDEsp)	
■ 2,3 El Chorrillo (ECho)		■ 5,2 Arnulfo Arias (AAr)	
■ 2,3 Pedregal (Ped)			
■ 2,6 Pacora (Pac)			
■ 3,4 Pueblo Nuevo (PNuev)			
■ 3,8 Las Mañanitas (Mañ)			
■ 4,3 Parque Lefevre (PLef)			
■ 4,7 Tocumen (Toc)			
■ 4,9 Juan Díaz (JDia)			
■ 5,2 Betania (Bet)			
■ 5,4 Río Abajo (RAba)			
■ 5,6 Las Cumbres (LCum)			
■ 7,1 San Francisco (SFra)			



DISTRITO DE PANAMÁ: COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE INFESTACIÓN OBSERVADO Y PRONOSTICADO, MAYO 2010-AGOSTO 2012

(En unidades del índice)



Fuente: ICGES, ETESA, MINSA e INEC (2010), MINSA (2011) y ICGES, ETESA y MINSA (2012).

RECUADRO 3
COSTA RICA: EFECTOS DEL CLIMA, SU VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO
SOBRE LA SALUD HUMANA

El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y el Ministerio de Salud (MINSAL) con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) realizaron un estudio de los efectos del clima, su variabilidad y cambio climático sobre la salud humana en Costa Rica. Su objetivo es caracterizar un grupo de enfermedades de acuerdo a la sensibilidad y la exposición de la población (IMN y Ministerio de Salud de Costa Rica, 2008). Así, se caracterizó la relación entre clima, variabilidad y cambio climático con las áreas, zonas o sectores más propensas a sufrir daños o pérdidas.

Para evaluar la vulnerabilidad de las enfermedades priorizadas se utilizaron métodos cuantitativos de análisis de la sensibilidad para establecer relaciones entre elementos de clima y registros históricos de tasas o número de casos, incluyendo los costos económicos. La exposición a enfermedades fue realizada por la identificación espacial de las áreas y de los grupos poblacionales con mayor incidencia de la enfermedad y su relación con las regiones climáticas.

Se identificaron cuatro grupos de enfermedades importantes con datos disponibles para diferentes períodos: enfermedades de transmisión vectorial (Dengue 1993-2006, Malaria 2004-2006), enfermedades cardiorrespiratorias (Asma 1998-2006, cardiopatías 1990-2006), enfermedades gastrointestinales (Diarreas 1996-2006) y enfermedades parasitarias (Angiostrongilosis abdominal 1995-1999). Los grupos más vulnerables a estas enfermedades se dividen en dos. Las enfermedades de transmisión vectorial como dengue y malaria son más frecuentes en la población económicamente activa de 15-45 años. El resto de enfermedades se presentan principalmente en los grupos dependientes de infantes y personas de la tercera edad. Por estas características, los impactos en los grupos vulnerables afectan el desarrollo nacional debido al ausentismo por incapacidades tanto en escuela como en el trabajo.

El clima, su variabilidad y cambio no son las causas del 100% de la incidencia de las enfermedades, pero explican un porcentaje que puede ser potenciado por los efectos del calentamiento global. En este sentido, los escenarios futuros de cambio climático prevén un aumento de los eventos meteorológicos extremos, que pueden asociarse con los impactos de ENOS en la región centroamericana y un aumento de temperatura a nivel nacional de entre 2 °C y 6 °C. En los casos del dengue y la malaria, el aumento de la temperatura afectaría al metabolismo y fisiología de los mosquitos (tasa alimenticia, frecuencia reproductiva), lo cual se podría traducir en un mayor riesgo en todo el país, principalmente en las zonas que ya son de alto riesgo. En cuanto a la diarrea, un aumento de un grado centígrado de temperatura del planeta eleva en un 5% los casos en países en vía de desarrollo (Cantero y Fonseca, 2007); pero más que todo las alteraciones de las lluvias provocarán desequilibrios hídricos que faciliten la propagación de virus y bacterias causantes de diarreas en niños y adultos (Cantero, 2007).

Con respecto al asma, una mayor exposición a ambientes de elevada humedad ambiental y altas temperaturas podrían ser perjudiciales para la población. Finalmente, los escenarios de precipitación proyectados para las zonas de mayor afectación de angiostrongilosis abdominal podrían ayudar a disminuir el riesgo de contagio en la población ya que el ambiente seco limita el desarrollo de los hospederos intermedios del parásito.

(continúa)

(continuación Recuadro 3)

RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA VULNERABILIDAD

Enfermedad	Exposición		Sensibilidad	
	Grupo vulnerable	Zona vulnerable (Región y cantón más vulnerable)	Relación con cambio climático	Impacto económico ^a
Dengue	Grupo poblacional entre 15 y 44 años. Población económicamente activa	Pacífico Norte y región Caribe (Orotina)	Aumento de las temperaturas ambientales y lluvias	\$630 000 (€346 millones)
Malaria		Región Caribe (Matina)		\$154 000 (€85 millones)
Asma	Niños menores de 9 años, adultos mayores de 65 años	Región Central, Pacífico Norte y Pacífico Central (Alajuela Centro)	Aumento de contaminación ambiental, olas de calor y humedad	\$53 000 000 (€29 000 millones)
Cardiovascular	Adultos mayores de 65 años con padecimientos cardíacos, broncorrespiratorios, hipertensión y obesidad	Pacífico Norte, Pacífico Central, y región Central (Atenas)	Aumento del ozono estratosférico, aumento de temperatura y olas de calor	No aplica porque el indicado es tasa de mortalidad
Diarreas	Niños menores de 5 años y adultos mayores de 65 años	Región Central, Pacífico Norte (San José Centro)	Desequilibrios hídricos	\$9 000 000 (€5 mil millones)
Angiostrongilosis abdominal	Niños entre 1 y 5 años, así como en la población escolar	Zona Norte (Upala)	Desequilibrios hídricos que afecten el desarrollo de plagas de moluscos y roedores	\$162 300 (€89 millones)

Fuente: IMN y Ministerio de Salud de Costa Rica, 2008.

^a Promedio anual del costo de atención de enfermos (dólares al tipo de cambio actual €550x\$1), tomando como base el costo promedio por atención, el número de atendidos y el promedio de consultas por persona.

Fuente: IMN y Ministerio de Salud de Costa Rica, 2008.

El estudio identifica valiosos esfuerzos de los países de la región para estimar la variabilidad climática y su influencia en la salud. Algunos de ellos incorporan las variables climáticas para explicar la epidemiología de determinadas enfermedades, y otros las estratifican según las épocas del año (frío-calor, secas-lluvias) para explicar su estacionalidad. A pesar del considerable volumen y la calidad de los trabajos publicados, existe una agenda estratégica de análisis por cubrir, tanto en establecer la relación entre temperatura y precipitación con la incidencia de enfermedades claves, como la generación de futuros escenarios de cambio climático y su impacto sobre la salud humana en la región, y proponer medidas de adaptación intersectoriales. Según la información disponible sobre enfermedades sensibles al cambio climático en Centroamérica se puede señalar que:

- La región tiene experiencia valiosa en investigación, tratamiento y prevención de enfermedades tropicales, incluidas las transmitidas por vectores. Los registros de dengue, por ejemplo, indican la existencia de zonas endémicas con patrón estacional, principalmente en centros urbanos, pero los estudios que asocian la enfermedad con variables climáticas son escasos.
- La malaria fue preocupación constante durante todo el siglo pasado, especialmente durante la construcción del canal de Panamá. Como se muestra en el estudio de esta Serie técnica sobre la salud en cada país, la región tiene un activo sistema de vigilancia de esta enfermedad. Esto se ha traducido en una tasa de mortalidad baja y en la atención eficaz a brotes en años específicos. También se cuenta con bastante información sobre la distribución de los vectores y su relación con la degradación ambiental.

- La enfermedad de Chagas se considera una enfermedad desatendida en la región. Aunque existen iniciativas locales e internacionales para controlarla, su registro es deficiente y se desconoce su asociación con patologías crónicas. A pesar de la promoción de la investigación epidemiológica de esta enfermedad, los estudios que la relacionan con variables climáticas son escasos y están orientados a definir sus características de distribución, estacionalidad y hábitat del vector.
- La incidencia de las EDA's tiene una larga trayectoria en la región, principalmente porque es un padecimiento asociado a la pobreza, concentrado en población infantil. Aunque son varios los estudios que ayudan a comprender las variaciones estacionales de la enfermedad, no se cuenta con análisis que proyecten cambios de ocurrencia bajo diferentes escenarios de temperatura y precipitación.
- La seguridad alimentaria y nutricional, los episodios de estrés y ansiedad así como las enfermedades de la piel posterior a eventos hidrometeorológicos han sido poco exploradas; la aparición de cuadros de deshidratación, golpes de calor o estrés por calor y diversas patologías cardiorrespiratorias relacionadas con la contaminación atmosférica y el incremento de la temperatura en grandes ciudades tampoco han sido estudiadas.

El análisis constata que son varios los países que han incursionando en los estudios de clima y salud, como Guatemala, Nicaragua, Panamá y El Salvador en dengue; Belice y Panamá en malaria, y Guatemala y Belice en Chagas. Mención especial merecen las investigaciones desarrolladas en Costa Rica, ya que además de tener adecuados sistemas de información meteorológica y de salud, sus comunicaciones nacionales reportan avances del análisis de la salud en relación con el cambio climático.

De acuerdo con la revisión realizada, para avanzar en la investigación sobre el impacto del cambio climático en la salud humana en Centroamérica, se recomienda:

- Promover una iniciativa regional de apoyo a la investigación sobre cambio climático y salud, que coordine a los grupos de investigación consolidados en diversas disciplinas y establezca alianzas con diversos sectores.
- Analizar las implicaciones de los escenarios de temperatura, precipitación y la evolución de la estructura demográfica de cada país en los estudios de clima y salud. En este sentido sería óptimo considerar las tendencias futuras de temperatura y precipitación para prever los riesgos en salud e incorporar los modelos de nicho ecológico para analizar los cambios de distribución de las especies por la influencia del cambio climático. Este último aspecto requiere mayor atención en la investigación de Enfermedades Transmitidas por Vectores (ETV's).
- En el tema de la vulnerabilidad en salud es necesario no sólo evaluar los efectos del cambio climático sobre las poblaciones más vulnerables, sino analizar el establecimiento y propagación de la vulnerabilidad misma con el fin de elaborar propuestas concretas para reducirla. Costa Rica y Panamá han avanzado en la evaluación del problema y programas de atención.
- Realizar estudios que incluyan condiciones de vulnerabilidad social y ambiental como pobreza, inequidad, falta de acceso a los servicios de salud, capacidad de respuesta institucional y degradación ambiental.
- Estandarizar enfoques y metodologías para realizar comparaciones adecuadas y llegar a una mejor comprensión de los resultados.
- Sobre los análisis de enfermedades:
 - Para las ETV's como Chagas, leishmaniasis y las zoonosis sensibles al clima, como la leptospirosis, se recomienda consolidar las bases de datos para desarrollar estudios

- epidemiológicos en relación con el clima a nivel nacional y regional, considerando los escenarios de cambio climático y las similitudes geomorfológicas y socioeconómicas de los países.
- Dada la relevancia del estudio de cohorte de dengue en Nicaragua, sería útil ampliarlo y replicarlo en otros países de la región para buscar asociaciones causales en la transmisión de la enfermedad en relación con las variables climáticas y de vulnerabilidad social.
 - En cuanto a las enfermedades diarreicas, se sabe que hay asociación directa con la calidad del agua, por lo que se recomienda desarrollar análisis sobre su incidencia después de eventos hidrometeorológicos.
 - Desarrollar estudios de los efectos adversos de los contaminantes atmosféricos en la salud de grupos sensibles como los niños y adultos mayores en las ciudades, y ampliar la red de estaciones de monitoreo atmosférico.
 - Evaluar el impacto del clima en la producción agropecuaria y la seguridad alimentaria y nutricional.
 - Ampliar en las comunicaciones nacionales los estudios sobre el impacto del cambio climático en la salud, considerando regiones ecológicas, hidrográficas, agrícolas y otras unidades de análisis relevantes.
 - Considerar las condiciones de vulnerabilidad social y ambiental que pueden alterar la biodiversidad y los ecosistemas, además de impactar en la salud humana. Estas relaciones son generalmente poco evaluadas.
 - Considerar las previsiones de los modelos de cambio climático y los diferentes aspectos de ENOS, como herramientas para generar políticas regionales sobre el control de enfermedades. Será necesario desarrollar estudios interdisciplinarios de los grupos de investigación, del personal operativo del sector salud y de la comunidad, para desarrollar medidas de respuesta adecuadas.
 - Fortalecer los sistemas de recaudación y análisis de datos epidemiológicos. La investigación de los efectos del cambio climático en la salud requiere series de datos retrospectivos de 30 años por lo menos. Por ello la capacidad de realizar evaluaciones directas es limitada y se recurre a modelos climáticos para proyectar cambios de clima y enfermedades.
 - Utilizar métodos epidemiológicos que:
 - Delimiten los factores determinantes de la enfermedad y la vulnerabilidad de la población estudiada.
 - Describan el área geográfica de donde provienen los datos de salud considerados.
 - Asignan de manera adecuada los datos meteorológicos a la población de interés.
 - Incluyen una explicación biológica plausible que asocie los parámetros climáticos con la enfermedad.
 - Eliminen las tendencias en el tiempo y los patrones estacionales en el análisis de series de tiempo, antes de evaluar la posible asociación de clima y salud.

Es importante destacar que, además de los Ministerios de Salud y Ambiente, hay grupos de investigación consolidados en el sector público, como el Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de Salud (ICGES) de Panamá, el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de Costa Rica y el sector universitario, especialmente en el área de vectores. Igualmente, instituciones internacionales han colaborado en estudios importantes, como la “Iniciativa Mesoamericana de Salud Pública”, el Instituto de Meteorología (INSMET) de Cuba, y las Universidades de Miami y Michigan de los Estados Unidos de América, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

- AfDB (African Development Bank) y otros (2007), «Poverty and climate change: Reducing the vulnerability of the poor through adaptation», Banco Mundial.
- Ashford, D., R. Kaiser, R. Spiegel, B. Perkins, R. Weyant, S. Bragg, B. Plikaytis, C. Jarquin, J. De Lose Reyes y J. Amador (2000), «Asymptomatic infection and risk factors for leptospirosis in Nicaragua», *The American journal of tropical medicine and hygiene* 63(5): 249.
- Azpurua, J., D. De La Cruz, A. Valderama y D. Windsor (2010), «Lutzomyia Sand Fly Diversity and Rates of Infection by Wolbachia and an Exotic Leishmania Species on Barro Colorado Island, Panama», *PLOS Neglected tropical diseases*, vol. 4, No. 3.
- BID (Banco Inter-Americano de Desarrollo) (2007), «Water & Sanitation Sector in Central America -Challenges and Opportunities», Environment and Natural Resources Management Division.
- Barnett, T. y otros (2005), «Penetration of human-induced warming into the world's oceans», *Science*, vol. 309, N° 5732.
- Cantero, M. (2007), «Cambio climático empeora salud en el mundo», *La Nación*, San José, Costa Rica.
- Cantero, M. y P. Fonseca (2007), «Cambio climático golpeará salud de los costarricenses», *La Nación*, San José, Costa Rica.
- Carcavallo, R. (1999), «Climatic factors related to Chagas disease transmission», *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 94: 367-369.
- Carey, J. (2011), «Global warming and the science of extreme weather», *Scientific American*, Junio 29 2011.
- CATHALAC(Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe)/USAID (United States Agency for International Development) (2008), *Impactos potenciales del cambio climático en la biodiversidad de Centroamérica, México y República Dominicana*, Panamá.
- CAZALAC y PHI/UNESCO (Programa Hidrológico Internacional/Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) (2005), *ATLAS de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe*. Elaborado por: Koen Verbist, Fernando Santibáñez, Donald Gabriels y Guido Soto. PHI-VII / Documento Técnico No. 25.
- CCAD/SICA (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo/ Sistema de Integración Centroamericana) (2010), *Estrategia Regional de Cambio Climático*.
- Cecchini, S. y A. Madariaga (2011), «Programas de transferencias condicionadas. Balance de la experiencia reciente en América Latina y el Caribe», *Libros de la CEPAL*, N° 95, (LC/G.2497-P), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.11.II.G.55.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2012), «Cambio estructural para la igualdad. Una visión integrada del desarrollo», Trigésimo cuarto período de sesiones de la CEPAL. San Salvador 27 a 31 de octubre.
- _____ (2010a), «La hora de la igualdad, Brechas por cerrar, caminos por abrir», Síntesis, Trigésimo tercer período de sesiones de la CEPAL Brasilia, Santiago de Chile.
- _____ (2010b), «El Salvador: impacto socioeconómico, ambiental y de riesgo por la baja presión asociada a la tormenta tropical Ida en noviembre de 2009» (LC/MEX/L.957), México, D. F.
- CEPAL (2009), «Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe. Una reseña», *Documentos de proyectos*.
- CEPAL (2002), «Vulnerabilidad sociodemográfica: Viejos y nuevos riesgos para comunidades, hogares y personas» (LC/R.2086), Santiago de Chile.
- CEPAL, BID y PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo), «Resumen regional del impacto de la depresión tropical 12-E en Centroamérica. Cuantificación de daños y pérdidas sufridos por los países de la región en el mes de octubre de 2011», Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.1060.
- CEPAL y CCAD (2002), «Impacto socioeconómico y ambiental de la sequía de 2001 en Centroamérica», Naciones Unidas.
- CEPAL, SEGEPLAN (Consejo Nacional de Planificación Económica Guatemala), CONRED (Coordinadora Nacional para la Reducción de desastres), BID, FMI (Fondo Monetario Internacional) y UNFPA (Fondo de población de las Naciones Unidas) (2011), «Guatemala: Evaluación de los Impactos económicos, sociales y ambientales, y estimación de necesidades a causa de la erupción del volcán Pacaya y la tormenta tropical Ágatha, mayo-septiembre de 2010», CEPAL, Naciones Unidas, LC/MEX/L.1005.

- CEPAL, COSEFIN (Consejo de Ministerios de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana), CCAD/SICA, UKAID (UK Department for International Development) y DANIDA (Agencia de Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca) (2012a), «La economía del cambio climático en Centroamérica: Impactos potenciales en los patrones intraanuales y espaciales del clima. Serie técnica 2012», Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.1073, México, D.F.
- _____ (2012b), «La economía del cambio climático en Centroamérica: Impactos potenciales en la aridez y los meses secos. Serie técnica 2012», Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.1074, México, D.F.
- _____ (2012c), «La economía del cambio climático en Centroamérica: Impactos potenciales en los ecosistemas. Serie técnica 2012», Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.1077, México, D.F.
- CEPAL, CEL (Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa de El Salvador), MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador), COSEFIN, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012), «La economía del cambio climático en Centroamérica: Dos casos de impactos potenciales en la generación de hidroelectricidad. Serie técnica 2012», Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.1070, México, D.F.
- CEPAL, COSEFIN, CCAD/SICA, COMISCA (Consejo de Ministros de Salud de Centroamérica y República Dominicana), UKAID y DANIDA (2012), «La economía del cambio climático en Centroamérica: Evidencia de las enfermedades sensibles al clima. Serie técnica 2012», Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.1069, México, D.F.
- CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2011a), «La Economía del Cambio Climático en Centroamérica. Reporte Técnico 2011», Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.1016, México, D.F.
- _____ (2011b), «Variabilidad Climática y eventos extremos en Centroamérica: Reporte exploratorio», inedito.
- CEPAL, UKAID, CCAD/SICA (2010), «La economía del cambio climático en Centroamérica. Síntesis 2010» (LC/MEX/L.978), México, D. F.
- CEPAL/SICA (2007), «Estrategia Energética Sustentable Centroamericana 2020» (LC/MEX/L.828), México, D.F.
- Chu, P. y otros (2009), «Extreme Rainfall Events in the Hawaiian Islands», *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 48.
- Coles, S., L. Pericchi y S. Sisson (2003), «A fully probabilistic approach to extreme rainfall modeling», *Journal of Hydrology*, Vol. 273.
- CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) (2012), «Emergency events database EM-DAT: the international disaster database», Bruselas [en línea] <<http://www.emdat.be>>.
- Cupples, J. (2007), «Gender and Hurricane Mitch: reconstructing subjectivities after disaster», *Disasters*, 31(2): 155-175.
- Delgado, L., K. Córdova y A. Rodríguez (2004), «Epidemiological impact of climatic variation on malaria dynamics in a northeastern region of Venezuela», *Int J Infect Dis*, 8(Suppl 1): S23-24.
- Dole, R., y otros (2011), «Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? », *Geophysical Research Letters*, vol. 38.
- Dorn, P., C. Monroy y A. Curtis (2007), «*Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811): A review of its diversity across its geographic range and the relationship among population», *Infection, Genetics and Evolution*, 7(2): 343-352.
- Ekström, M. y otros (2005), «New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 2. Future estimates and use in impact studies», *Journal of Hydrology*, vol. 300, N° 1-4.
- Emanuel, K. (1987), «The dependence of hurricane intensity on climate», *Nature*, vol. 326, N° 6112.
- Epstein, P. (1999), «Climate and health», *Science*, vol.285, N°5426.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2010), AQUASTAT. FAO's Information System on Water and Agriculture [en línea] <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/indexesp.stm>> [accedido: 20 de octubre de 2010].
- _____ (2007), Cambio climático y seguridad alimentaria: Un documento marco, Grupo de trabajo interdepartamental de la FAO sobre cambio climático, Roma.
- FAO -ETEA (Escuela Superior de Técnica Empresarial Agrícola) (2008), Desarrollo Rural y Seguridad Alimentaria y Nutricional en Centroamérica desde la Perspectiva del Proceso de Integración: Balances y Retos. Fundación ETEA para el desarrollo y la cooperación y FAO.
- Fleig, A. (2004). Hydrological drought – a comparative study using daily discharge series from around the world. Master thesis, Institut für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Alemania.
- Fleig, A., Tallaksen, L. y Hisdal, H. (2006), «Drought indices suitable to study the linkages to large scale climate drivers in regions with seasonal frost influence», *Climate Variability and Change –Hydrological Impacts (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference, La Habana, Cuba, Noviembre 2006)*, IAHS Publ. 308.
- Flower, D., V. Mitchell y G. Codner (2007), The potential of water demand management strategies to reduce the greenhouse gas emissions associated with urban water systems, 1st Conference on Sustainable Urban Water Management & 9th Conference on Computing and Control in the Water Industry. Leicester, Reino Unido.

- Gagnon, A., A. Bush y K. Smoyer-Tomic (2001), «Dengue epidemics and the El Niño Southern Oscillation», *Climate Research* 19(1): 35-43.
- Glantz, M. (1998), «El Niño forecasta: Hype or Hope?», *Network Newsletter*, vol.13, N°1.
- Guhathakurta, P., P. Sreejith y P. Menon (2011), «Impact of Climate Change on Extreme Rainfall Events and Flood Risk in India», *Journal of Earth System Science*, Vol. 120, No. 3.
- Guhathakurta, P., y otros (2010), «Changes in extreme rainfall events and flood risk in India during the last century», *National Climate Centre Research Report*, 2/2010.
- Hales, S., P. Weinstein, Y. Souares y A. Woodward (1999), «El Niño and the dynamics of vectorborne disease transmission», *Environmental Health Perspectives*, 107(2): 99.
- Hansen, J. (2005), «A slippery slope: How much global warming constitutes dangerous anthropogenic interference?», *Climatic Change*, vol. 68, N° 3.
- Harmeling, S. y D. Eckstein (2012), «Global climate risk index 2013. Who suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2011 and 1992 to 2011», *Germanwatch*, Briefing Paper. November 2012.
- Hassan, H. y H. Dregne (1997), «Natural Habitats and Ecosystems Management in Drylands: An Overview», *Natural Habitats and Ecosystems Management Series*, Environment Department Papers. Washington, D. C., World Bank.
- Hegerl, G. y otros (2007), *Understanding and attributing climate change. In 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, Z. Chen, M. Marquis, KB Averyt, M. Tignor and HL Miller (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York.
- Henderson-Sellers, A. y otros (1998), «Tropical cyclones and global climate change: A post-IPCC assessment», *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79, N° 1.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones y A. Jarvis (2005), «Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas», *International Journal of Climatology*, vol. 25, págs. 1965-1978.
- Hoerling, M., J. Eischeid, J. Perlwitz, X. Quan, T. Zhang y P. Pegion (2011), «On the increased frequency of Mediterranean», *Drought. J. Climate in press*.
- Holdridge, L., (1947), «Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data», *Science*, vol. 105, N°. 2727, págs 367-368.
- Holland, G. (1997), «The maximum potential intensity of tropical cyclones», *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 54, N° 21.
- Hotez, P., M. Bottazzi, C. Franco-Paredes, S. Ault y M. Periago (2008), «The neglected tropical diseases of Latin America and the Caribbean: a review of disease burden and distribution and a roadmap for control and elimination», *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 2(9).
- ICGES (Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud) (2012), ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.) y MINSA (Ministerio de Salud) (2012), *Informe Bioclimático*, Informe No. 8, Agosto.
- ICGES, ETESA, MINSA e INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo de la Contraloría General de la Republica) (2010), *Proyecto Predictibilidad de la Infestación del vector transmisor del Dengue ante la variabilidad climática*, Distrito de Panamá, 2009-2010, llevado a cabo por A. McDonald, C. Cruz, A. Cumbreira y A. de Rivera.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica) y Ministerio de Salud de Costa Rica(2008), *Efectos del clima, su variabilidad y cambio climático sobre la salud humana en Costa Rica*, San José, Costa Rica, MINAET/MS/IMN/PNUD.
- INBio (Instituto Nacional de Biodiversidad) (2004), *Biodiversidad en Centroamérica*.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2011), *Summary for policymakers. En: Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S., Tignor, M. and P.M. Midgley (eds)], Cambridge University Press.
- _____ (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 Cambio Climático*, Cambridge University Press.
- _____ (2007b), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I (WGI) to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- _____ (2007c), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- _____ (2007d), *Cuarto Informe de Evaluación*. <http://www.ipcc.ch>.
- _____ (2004), «Glosario de términos utilizados en el Tercer Informe de Evaluación del IPCC» [en línea] <<http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>>.
- IPCC/OMM (Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas)/PNUMA (2007), *Evaluación de la vulnerabilidad e impactos del cambio climático y del potencial de adaptación en América Latina*, Lima, Perú, Naciones Unidas.

- Jury, M. R. (2011), «Long-Term Variability and Trends in the Caribbean Sea», *International Journal of Oceanography*, Volume 2011, Article ID 465810, 9 pages, Hindawi Publishing Corporation.
- Lemus, R. y J. Nerys (2011), Análisis estadístico de los datos de precipitaciones registradas en las diferentes estaciones de El Salvador, Ministerio de Medio Ambiente de El Salvador (MARN), Septiembre 2011.
- Levitus, S., J. Antonov y T. Boyer (2005), «Warming of the world ocean, 1955–2003», *Geophysical Research Letters*, vol. 32, N° 2.
- Locatelli, B., y P. Imbach (2010), «Migración de ecosistemas bajo escenarios de cambio climático: el rol de los corredores biológicos en Costa Rica», en: *Adaptación al cambio climático y servicios ecosistémicos en América Latina*, Libro de actas del Seminario Internacional sobre Adaptación al Cambio climático: el Rol de los Servicios Ecosistémicos, Martínez y otros (eds.), Turrialba, Costa Rica.
- Marcos, O. (2001). «Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación», *Revista Investigaciones Geográficas* No. 26. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante, España.
- MARENA (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Nicaragua) (2001), Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, Nicaragua, Nicaragua.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador) (2011), Depresión Tropical 12E/sistema depresionario sobre El Salvador y otros eventos extremos del Pacífico, San Salvador.
- MARN, GEF (Global Environment Facility) y PNUD (2001), Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector salud, Primera Comunicación Sobre Cambio Climático.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005), *Ecosystems and Human well-being: Synthesis*, Island Press, Washington, D.C.
- Min, S.-K., X. Zhang, F. W. Zwiers, y G. C. Hegerl, (2011), «Human contribution to more intense precipitation extremes», *Nature*, 470, 378-381.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (2011), «Geophysical Fluid Dynamics Laboratory» [en línea] <<http://www.gfdl.noaa.gov/>>.
- ____ (2010), «Hurricane Research Division. Re-Analysis Project», Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory [en línea] <<http://www.aoml.noaa.gov/>>.
- Nogueira, P., Falcao, J., Contreiras, M., Paixão, E., Brandão, J. y Batista, I. (2005), «Mortality in Portugal associated with the heat wave of August 2003: early estimation of effect, using a rapid method», *Euro surveillance: bulletin européen sur les maladies transmissibles= European communicable disease bulletin* 10(7): 150.
- Noji, E. y Toole, M. (1997), «The historical development of public health responses to disasters», *Disasters*, 21(4): 366-376.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2010), Reporte Mundial de Malaria, <http://www.who.int/malaria/world_malaria_report_2010/en/index.html>.
- ____ (2008), Cambio climático y salud humana-Riesgos y respuestas.
- ____ (2002), «Control of Chagas disease. World Health Organization (WHO)», Technical Report Series.
- ____ (1992), «El dengue y la fiebre hemorrágica de dengue en las Americas: una visión general del problema», *Boletín Epidemiológico*, 1992, 13(1): 9–10.
- Onursal, B., y S.P. Gautan (1997), «Vehicular air pollution. Experiences from seven Latin American Urban Centers», World Bank Technical Report.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud) (2007), *Salud en las Américas*, Publicación Científica y Técnica No.622, Washington D.C., EUA.
- ____ (2002), Status report on malaria programs in the Americas (based on 2001 data), Washington, D. C.
- Ortiz, P., A. Rodríguez, A. Valencia, N. Vega, M. Gonzalez y A. Carrera (2006), «Assessment of human health vulnerability to climate variability and change in Cuba», *Environmental health perspectives*, 114(12): 1942-1949.
- Overeem, A. (2009), *Climatology of extreme rainfall from rain gauges and weather radar*, Tesis de Doctorado, Wageningen University, Países Bajos.
- Pall P., T. Aina, D.A. Stone, P.A. Stott, T. Nozawa, A.G.J. Hilberts, D. Lohmann y M.R. Allen (2011), «Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000», *Nature* 470: 382-385.
- Park, J. y H. Jung (2002), «Modelling Korean extreme rainfall using a Kappa distribution and maximum likelihood estimate», *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 72.
- Parmesan C. y G. Yohe (2003), «A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems», *Nature*, vol.421, págs. 37-42.
- PNUD (2007), Informe sobre desarrollo humano 2007-2008: la lucha contra el cambio climático: solidaridad frente a un mundo dividido, Informe sobre Desarrollo Humano, Nueva York.
- PNUMA, PNUD, EIRD (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres) y Banco Mundial (2010), «Global Risk Data Platform. The PREVIEW» [en línea] <<http://preview.grid.unep.ch/index.php>>.

- PROME BIO (Programa Estratégico de Monitoreo y Evaluación de la Biodiversidad) (2010), Estado actual y futuro de la biodiversidad en Centroamérica, Reporte Técnico.
- Ramírez, P. (1983), «Estudio meteorológico de los veranillos en Costa Rica», Nota de Investigación (Costa Rica), vol. 5.
- Salzman, J. (1998), «Ecosystem services and the law», *Conservation Biology*, vol. 12, págs. 497- 498.
- Sen, A. (1999), *Development as Freedom*, Oxford University Press.
- Sheffield, J., y otros (2009). «Global and continental drought in the second half of the twentieth century: severity – area– duration analysis and temporal variability of large – scale events», *Journal of Climate*, Vol. 22.
- Shukla, R., M. Trivedi y M. Kumar (2010), «On the proficient use of GEV distribution: a case study of subtropical monsoon region in India», *Annals. Computer Science Series*, Vol. VIII, Fasc – 2010.
- Shultz, J., J. Russell y Z. Espinel (2005), «Epidemiology of tropical cyclones: the dynamics of disaster, disease, and development». *Epidemiologic Reviews* 27(1): 21.
- Stern, N. (2007), «The economics of climate change», *The Stern Review*, Cambridge University Press, Reino Unido.
- Stott, P.A. y otros (2011), «Attribution of Weather and Climate-Related Extreme Events», WCRP Conference, octubre 2011.
- Strukova, E. (2007), «Honduras, Health Cost of Environmental Damage», Draft World Bank.
- Swisscontact, (2000), *Dispersión de la contaminación atmosférica causada por el tráfico vehicular Aplicación*, Programa aire puro, San Salvador, El Salvador.
- Tallaksen, M. y H. Van Lanen (2004), «Hydrological drought –processes and estimation methods for groundwater and streamflow» *Developments in Water Sciences* No. 48, Elsevier.
- Tamino (2010), «Red hot», <http://tamino.wordpress.com/2010/08/12/red-hot/>
- UNEP (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (1997). *World Atlas of Desertification*. Segunda Edición. Middleton N. y Thomas D. (eds).
- Van Lanen, H. y L. Tallaksen (2007). «Hydrological drought, climate variability and change», En *Climate and Water*. – Helsinki: Third International Conference on Climate and Water.
- Vecchi, G. y T. Knutson (2008), «On estimates of historical North Atlantic tropical cyclone activity», *Journal of Climate*, vol. 21, N° 14.
- Vijayachari, P., A. Sugunan y A. Shriram (2008), «Leptospirosis: an emerging global public health problem», *Journal of biosciences* 33(4): 557-569.
- Wilhite, D. y M. Buchanan-Smith (2005), «Drought as a natural hazard: understanding the natural and social context», en: Wilhite, D. (ed), *Drought and water crises: science, technology, and management issues*. CRC Press, Boca Raton, Florida, EUA.
- White, D. y J. Walcott (2009), «The role of seasonal indices in monitoring and assessing agricultural and other droughts: a review», *Crop & Pasture Science*, Vol. 60.
- Wong, R., M. Suárez y X. Badilla (2007), «Estudio de la estacionalidad del dengue en la costa pacífica de Costa Rica (1999-2004)», *Acta Médica Costarricense*, 49(1).
- Zeng, Z., Y. Wang y C. Wu (2007), «Environmental dynamical control of tropical cyclone intensity: An observational study», *Monthly Weather Review*, vol. 135, N° 1.