

El Desafío Climático y de Desarrollo en América Latina y el Caribe

Opciones para un desarrollo resiliente al clima y bajo en carbono



Prólogo por R. Pachauri



Walter Vergara, Ana R. Rios,
Luis M. Galindo, Pablo Gutman,
Paul Isbell, Paul H. Suding y
Joseluis Samaniego

El Desafío Climático y de Desarrollo en América Latina y el Caribe

Opciones para un desarrollo resiliente al clima y bajo en carbono

Prefacio de R. Pachauri



Walter Vergara, Ana R. Rios,
Luis M. Galindo, Pablo Gutman,
Paul Isbell, Paul H. Suding y
Joseluis Samaniego

Las opiniones expresadas en esta publicación son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo y los países que representan, ni los de las entidades participantes en el proyecto.

Se prohíbe el uso comercial no autorizado de los documentos del Banco, y tal podría castigarse de conformidad con las políticas del Banco y/o las legislaciones aplicables.

**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera
Banco Interamericano de Desarrollo**

El desafío climático y de desarrollo en América Latina y el Caribe: opciones para un desarrollo resiliente al clima y bajo en carbono / Walter Vergara, Ana R. Ríos, Luis M. Galindo, Pablo Gutman, Paul Isbell, Paul H. Suding, Joseluis Samaniego.

p. cm.

Incluye referencias bibliográficas.

ISBN 9781597821971 (Impreso)

ISBN 9781597821988 (Digital)

1. Climate change mitigation—Latin America. 2. Climate change mitigation—Caribbean Area. 3. Sustainable development—Latin America. 4. Sustainable development—Caribbean Area. 5. Carbon dioxide mitigation—Latin America. 6. Carbon dioxide mitigation—Caribbean Area. I. Vergara, Walter. II. Ríos, Ana R. III. Galindo, Luis M. IV. Gutman, Pablo. V. Isbell, Paul. VI. Suding, Paul H. VII. Samaniego, Joseluis. VIII. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático y Sostenibilidad.

HD9502.L32 D441 2014

IDB-BK-136

QC903.2.L29 C556 2013

Copyright ©2014 Banco Interamericano de Desarrollo. Todos los derechos reservados; este documento puede reproducirse libremente para fines no comerciales.

Contenido

Agradecimientos	7
Siglas y abreviaturas	9
Prefacio	11
Resumen ejecutivo	13
Introducción.....	17
Capítulo 1. Impactos climáticos y respuestas de adaptación.....	19
<i>Impactos climáticos</i>	19
Impactos del cambio climático en la agricultura causados por calentamiento, reducción de la humedad del suelo y alteración de los patrones de precipitación	20
Impactos en zonas costeras y marinas causados por el aumento del nivel del mar y temperatura de la superficie marina	22
Impactos en zonas costeras derivados de cambios en la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos	24
Mayor exposición a enfermedades tropicales transmitidas por vectores debido al aumento de la temperatura ambiente y otras condiciones climáticas cambiantes.....	25
Cambios hidrológicos.....	26
Posible reducción de cobertura de selvas tropicales	27
Efectos adversos sobre biodiversidad y estabilidad de ecosistemas.....	28
<i>Estimación de los daños producidos por los impactos físicos</i>	32
<i>Respuesta de adaptación</i>	37
Inversiones recientes en adaptación en la región.....	37
Adaptación basada en ecosistemas	37
Costo global de la adaptación	40
Una anomalía de cuatro grados.....	42
Capítulo 2. La huella de carbono de la región y trayectorias de cambio al 2050.....	43
<i>Estructura actual de las emisiones</i>	43
Emisiones del sector agrícola y del uso de la tierra.....	44
Generación de energía eléctrica y transporte.....	44

Intensidad de las emisiones	44
Estructura energética y demanda final	45
Tendencias recientes.....	45
Emisiones per cápita	46
Emisiones por país.....	46
<i>Emisiones proyectadas: escenario sin cambio</i>	47
Trayectoria BAU.....	47
<i>Alternativas para alcanzar metas de estabilización en 2050</i>	50
Análisis de potencial de mitigación sectorial.....	50
Alternativas para la reducción de emisiones.....	51
<i>Costos financieros de las alternativas de intervención</i>	58
Costos financieros de las alternativas de uso de la tierra (o AFOLU).....	58
Costos financieros de alternativas del sector energía (“moderadas”) y combinadas (“enérgicas”)	61
Costos financieros adicionales netos de las principales intervenciones requeridas en la alternativa Enérgica Combinada-I+ (plus)	66
Naturaleza sistémica de las proyecciones de adicionalidad financiera e implicaciones de políticas	73
Capítulo 3. Cobeneficios de las inversiones en adaptación y mitigación	74
<i>Cobeneficios de las inversiones en adaptación</i>	74
<i>Cobeneficios de las inversiones en mitigación</i>	76
Referencias bibliográficas	78
Apéndices	
<i>Apéndice 1. Escenarios de emisiones del IPCC</i>	88
<i>Apéndice 2. Escenarios GEA del IIASA</i>	91
Características, supuestos, beneficios compartidos y cobeneficios de las alternativas GEA.....	93
<i>Apéndice 3. Fundamentos de las proyecciones de “adicionalidad financiera neta” y de costos de mitigación</i>	95
Costos por actividad de las alternativas de uso de la tierra (AFOLU).....	96
Alternativa ZNDD 2020/ZNLU 2030+ (plus)	99
Emisiones agrícolas y la alternativa AFOLU+	99
Alternativas ilustrativas del GEA y alternativas moderadas de intervención/energía	100
Alternativas enérgicas (combinadas).....	100
Componentes de intervención por sector de la alternativa Enérgica Combinada-I (plus)	101
<i>Apéndice 4. Emisiones de gases de efecto invernadero por sector en 2005 (CO₂, CH₄, N₂O, PFC, HFC, SF₆), excluye cambios en el uso de la tierra</i>	106

Lista de Gráficos

Gráfico 1.1. Impacto proyectado del cambio climático en pérdidas de rendimiento en cultivos importantes (en %) al 2020 y 2050 en el escenario A1B	21
Gráfico 1.2. Aumento esperado del nivel del mar entre 1990 y 2100, basado en proyecciones de temperaturas correspondientes a tres escenarios de emisiones del IPCC	22
Gráfico 1.3. Distribución de la superficie terrestre ubicada entre el nivel del mar y 10 metros sobre el nivel del mar en países de ALC (en miles de hectáreas).....	23
Gráfico 1.4. Mapa de zonas de vida de Holdridge en América Latina: clima actual y futuro con el doble de CO ₂	30
Gráfico 2.1. Composición sectorial de emisiones totales de gases de efecto invernadero en ALC, 2005	45
Gráfico 2.2. Contribución por país a las emisiones totales de ALC, 2005 (%)	46
Gráfico 2.3. Trayectoria regional de emisiones por sector en el escenario BAU: 2010-2050	49
Gráfico 2.4. Comparación de la trayectoria sin cambio (BAU) con el potencial de mitigación sectorial (excluyendo sumideros netos de carbono): 2020 y 2050	51
Gráfico 2.5. Trayectorias alternativas de emisiones 2010-2050.....	54
Gráfico 2.6. Alternativa Enérgica-I+ 2010-2050.....	56
Gráfico A 1.1. Ilustración esquemática de los escenarios IE-EE.....	89

Lista de Cuadros

Cuadro I.1. Probabilidad de que niveles determinados de CO ₂ produzcan un aumento de temperatura (en %).....	18
Cuadro 1.1. Cambio climático e impactos económicos sobre la biodiversidad en América Latina.....	31
Cuadro 1.2. Daños anuales estimados causados por algunos impactos físicos importantes para 2050.....	35
Cuadro 1.3. Algunos lugares bioclimáticamente críticos en América Latina y el Caribe	36
Cuadro 1.4. Ejemplos de respuestas potenciales a las consecuencias regionales del cambio climático.....	38
Cuadro 1.5. Ejemplos de inversiones recientes en adaptación.....	40
Cuadro 1.6. Cálculos estimados del costo de adaptación para América Latina y el Caribe (miles de millones de US\$).....	41
Cuadro 2.1. Desglose sectorial de futuros cambios en emisiones bajo BAU y principales factores determinantes, 2010-50 (Gt, %)	48
Cuadro 2.2. Resumen de trayectorias alternativas de emisiones para alcanzar las metas en 2050.....	55
Cuadro 2.3. Resumen de escenarios de emisiones, 1990-2050.....	58
Cuadro 2.4. Estimaciones seleccionadas del costo de oportunidad de detener la deforestación	60
Cuadro 2.5. Trayectorias alternativas de emisiones: costo desde 2010 hasta 2050.....	64
Cuadro 2.6. Componentes de la alternativa AFOLU+: adicionalidad financiera requerida al 2050 (US\$ MM)	67
Cuadro 2.7. Componentes de la alternativa Moderada Combinada-I del sector energía: adicionalidad financiera requerida al 2050 (US\$ MM)	68
Cuadro 2.8. Intervenciones de mitigación prioritarias: adicionalidad financiera requerida al 2050 (US\$ MM)	70

Cuadro 2.9. Componentes de las alternativas Energica Combinada-I+ (plus) y Energica Combinada-I AFOLU+ (plus) (US\$ MM).....	72
Cuadro 3.1. Cobeneficios de la adaptación por sector	75
Cuadro 3.2. Cobeneficios de la mitigación	77
Cuadro 3.3. Beneficios adicionales del abordaje integral para el logro de objetivos a nivel mundial	77
Cuadro A1.1. Calentamiento promedio proyectado de la superficie del planeta y aumento proyectado del nivel del mar al fin del siglo XXI: diferentes escenarios IE-EE.....	90

Agradecimientos

Este informe fue preparado por un equipo de trabajo integrado por miembros del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Liderando el equipo de trabajo estuvieron Walter Vergara (BID), Pablo Gutman (WWF) y Luis Miguel Galindo (CEPAL). Los miembros del equipo desean agradecer revisiones y comentarios de Rajendra K. Pachauri, Michael MacCracken, Andrew Steer, Dan Kammen, Christian Casillas, Tomás Serebrisky, Alexandre Rosa y Juan Pablo Bonilla. En especial gracias a Mariana Panuncio, Alfred Grünwaldt, Alejandro Deeb, Eduardo Alatorre, Patrick Doyle, Jennifer Doherty-Bigara, Angelo Angel, Luisa Fernanda Rodríguez, Carlos Ludeña, Sebastián Miller, Jimmy Ferrer, Orlando Reyes y Carlos de Miguel. Los autores también desean manifestar gratitud a Keywan Riahi, Oscar Van Vliet y equipo del Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA) por su apoyo en la preparación de los escenarios.

La información y las opiniones expuestas son exclusivamente de los autores y no constituyen un respaldo explícito ni implícito de la CEPAL, WWF, BID, Directorio Ejecutivo del BID, países miembros del BID ni de la Organización de las Naciones Unidas.

Fotos: Jennifer Doherty-Bigara.

Siglas y abreviaturas

ABE	Adaptación basada en ecosistemas
AFOLU	Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra
ALC	América Latina y el Caribe
AR4	Cuarto Informe de Evaluación (del IPCC)
BAU	Escenario sin cambios
BRT	Transporte público rápido
CAIT	Instrumento de Indicadores de Análisis Climático
CC	Cambio climático
CCCCC	Centro de Cambio Climático de la Comunidad del Caribe
CCS	Captación y almacenamiento de carbono
CDIAC	Centro de Análisis de Información sobre el Dióxido de Carbono
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CMCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO₂	Dióxido de carbono
CO₂e	Dióxido de carbono equivalente
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua de México
CSIRO	Organización de Investigación Científica e Industrial de la Mancomunidad
DALY	Años de vida ajustados por discapacidad
DIVA	Evaluación Dinámica e Interactiva de la Vulnerabilidad
EMF	Enfoque de pesquerías como parte del ecosistema
EPPA	Predicción de emisiones y análisis de políticas
FA	Fondo de Adaptación
FIC	Fondos de Inversión en el Clima
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GEA	Evaluación Energética Mundial (base de datos)
GEI	Gas de efecto invernadero
GtCO₂e	Gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente
HLZ	Zona de vida Holdridge
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Colombia)
IEA	Agencia Internacional de la Energía
IE-EE	Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones
IIASA	Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados

INAP	Proyecto Piloto Nacional de Adaptación al Cambio Climático (Colombia)
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales (Perú)
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
LED	Diodo electrolumínico
LULUCF	Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
NOAA	Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos
PIB	Producto Interno Bruto
PPACC	Programa Piloto sobre la Capacidad de Adaptación al Cambio Climático
ppm	partes por millón
PPP	Paridad del poder adquisitivo
REDD	Reducción de emisiones de la deforestación y degradación de bosques en países en desarrollo
REDD+	Reducción de emisiones de la deforestación y degradación de bosques en países en desarrollo; y el rol de la conservación, manejo sostenible de bosques y el aumento de las reservas de carbono en países en desarrollo
SPA	Prioridad estratégica sobre adaptación
tCO₂e	Toneladas de dióxido de carbono equivalente
tpc	Toneladas per cápita
WWF	Fondo Mundial para la Naturaleza
ZNDD	Cero deforestación y degradación neta de bosques
ZNDD 2020	Cero deforestación y degradación neta de bosques para 2020
ZNLU	Cero emisiones netas del uso de la tierra, cambios en el uso de la tierra y silvicultura
ZNLU 2030	Cero emisiones netas del uso de la tierra, cambios en el uso de la tierra y silvicultura para 2030
ZNLU 2030+	Cero emisiones netas del uso de la tierra, cambios en el uso de la tierra y silvicultura para 2030, con el aumento sostenido de sumideros de carbono que producen emisiones anuales netas negativas de 350 tCO ₂ e cada década de ahí en adelante

La palabra “toneladas” siempre denota toneladas métricas.

Todas las cantidades denominadas en dólares se refieren a dólares estadounidenses, a menos que se indique otra cosa.

Prefacio

El presente informe surge en el contexto de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible que tuvo lugar en Río de Janeiro del 20 al 22 de junio de 2012. Aborda una realidad que incidirá en las perspectivas de América Latina y el Caribe de lograr un desarrollo sostenible. De hecho, el cambio climático ya está afectando las bases de las que dependen el sustento y bienestar de las sociedades latinoamericanas.

Quedan pocas dudas de que con el tiempo el impacto físico del cambio climático se irá haciendo cada vez mayor en la región. Este informe es un recordatorio oportuno de esta realidad. El Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) señaló en 2007 que, aun si la concentración de gases de efecto invernadero y aerosoles en la atmósfera se hubiese mantenido constante a los niveles del año 2000, se proyecta un calentamiento adicional de aproximadamente una décima de grado centígrado ($0,1^{\circ}\text{C}$) debido a la inercia en el sistema global. Al mismo tiempo se proyecta un calentamiento de aproximadamente $0,2^{\circ}\text{C}$ por década a todo lo largo de la gama de escenarios sobre emisiones preparados por el IPCC. Por lo tanto, el cambio climático continuará afectando actividades agrícolas, la biodiversidad y la disponibilidad de agua. Zonas tropicales de América Latina continuarán enfrentando el riesgo de sufrir graves pérdidas de biodiversidad en forma de extinción de especies; se anticipa que los rendimientos de algunos cultivos importantes disminuirán y que la productividad de la ganadería se verá reducida. Todo esto incidirá negativamente en la seguridad alimentaria. Inclusive si, tal como se pronostica, el rendimiento de los cultivos de soja aumenta en las zonas templadas, se prevé un incremento de la cantidad de personas en peligro de caer en la hambruna. Se anticipa que cambios de los regímenes de precipitación y desaparición de glaciares afectarán considerablemente la disponibilidad de agua para el consumo humano, así como las actividades agrícolas y de generación de energía hidroeléctrica. El AR4 también resalta el hecho de que el calentamiento antropogénico puede causar ciertos impactos abruptos o irreversibles, dependiendo del ritmo y la magnitud del cambio climático.

Los impactos tienen consecuencias económicas. Este informe incluye un estimativo necesariamente parcial e incompleto de esas consecuencias, a la vez que reconoce que ninguna estimación económica puede abarcar plenamente los efectos del cambio climático.

Se presenta un argumento sólido en favor de la adaptación, si se inicia sin mayor dilación. También se reconoce que la adaptación tiene un alcance limitado al permitir que se vayan acumulando los impactos del cambio climático. En última instancia, lo más que se puede lograr con la adaptación es ganar tiempo mientras se ponen en práctica iniciativas duraderas de mitigación (las cuales deberán ser drásticas) y se adoptan los objetivos mundiales de estabilización. El AR4 señala que la adaptación y la mitigación, al realizarse de manera conjunta, pueden reducir considerablemente los peligros del cambio climático, pero advierte que ni la adaptación ni la mitigación por sí solas pueden evitar todos los impactos del cambio climático.

Aunque la huella de carbono de América Latina y el Caribe es pequeña y parece estar disminuyendo, es preciso emprender iniciativas encaminadas a reducirla, a fin de alcanzar las metas mundiales de estabilización del clima. Uno de los aportes importantes de este informe es la propuesta de vías específicas (expresadas en términos de conjuntos de medidas) para el logro de una huella de carbono anual de dos toneladas per cápita (2 tpc) para la región en su conjunto.

Un componente importante de las emisiones de América Latina es el aporte de los sectores de uso de la tierra, energía y transporte. Por ese motivo es vital concentrar los esfuerzos en reducir emisiones generadas por estos sectores. Las medidas que aquí se determinan y presentan son tecnológicamente viables. Pueden producir beneficios secundarios importantes para la seguridad alimentaria y energética, salud, bienestar y desarrollo sostenible. El presupuesto correspondiente a ese conjunto de medidas es considerable, pero el análisis que aquí se presenta demuestra que el costo de no hacer nada sería mucho mayor.

Rajendra Pachauri

Presidente, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
Director General de The Energy and Resources Institute
Director del Instituto sobre el Clima y la Energía, y
Profesor de la Cátedra de Desarrollo Sostenible de la Universidad de Yale

Resumen Ejecutivo

Los cambios en el clima durante el curso de este siglo producirán efectos generalizados y profundos en las actividades humanas y los ecosistemas. Es probable que las consecuencias de estos sean de tal magnitud que la necesidad simultánea de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas y de reducir las emisiones de carbono para prevenir aún mayores daños se convierta casi con toda seguridad en uno de los retos críticos para la comunidad mundial en las décadas venideras.

Es probable que la temperatura media aumente 2°C durante este siglo, a menos que se tomen medidas drásticas e inmediatas

Se considera prácticamente inevitable que la temperatura media del planeta aumente dos grados centígrados (2°C) —y puede que hasta más— por encima del nivel previo a la Revolución Industrial. Debido al efecto retardado de los gases de efecto invernadero ya emitidos y que se están acumulando en la atmósfera, se considera que ese aumento de temperatura ya es un elemento inherente de nuestro futuro. Se producirán considerables efectos negativos en las actividades económicas, condiciones sociales y activos naturales para el año 2050.

Se anticipa que América Latina y el Caribe (ALC) sufrirán considerables daños físicos y naturales

La región de ALC es especialmente vulnerable a los efectos ya observados y previstos del cambio climático debido a su ubicación geográfica, distribución territorial de su población e infraestructura y dependencia de recursos naturales frágiles para actividades económicas y sustento. Los mayores efectos en la región, cuya ocurrencia está prevista para mediados del siglo a causa de las tendencias actuales de emisiones, incluyen la desaparición de una parte significativa del bioma coralino del Caribe, desaparición de la mayoría de los glaciares ubicados por debajo de los 5.000 metros de altura en la zona tropical de los Andes, probabilidad de que parte de la cuenca amazónica se convierta en sabana, reducción del rendimiento de muchos cultivos básicos, más inundaciones y anegación de zonas costeras, mayor exposición a enfermedades tropicales, desestabilización del ciclo hidrológico en cuencas importantes y la intensificación de los fenómenos meteorológicos extremos. Lo más preocupante es que muchos de esos cambios no sólo se consideran inevitables sino también irreversibles. Por lo tanto, la región seguirá viéndose afectada por el cambio climático a largo plazo.

Las repercusiones económicas de los daños físicos serán considerables

Análisis recientes y nuevos cálculos indican que los daños anticipados que sufrirá la economía de ALC a causa de algunos de los efectos físicos vinculados con este probable aumento de 2°C de la temperatura media sobre los niveles preindustriales irán aumentando gradualmente y ascenderán aproximadamente a US\$100.000 millones al año para 2050, o aproximadamente 2,2% del producto interno bruto (PIB) de la región en 2010 (US\$4,6 billones)¹. Este estimativo es conservador y se limita a los impactos más importantes en determinadas zonas geográficas. No incluye daños a la biodiversidad, cambio de la masa de recursos naturales ni otros valores no monetarios (como ciertos servicios que prestan los ecosistemas que son intrínsecamente difíciles de cuantificar, así como daños culturales y sociales).

Pérdidas de tal magnitud socavarán las perspectivas de mejorar la calidad de vida en la región, ya que limitan significativamente las opciones de desarrollo y restringen de forma drástica el acceso a recursos naturales y servicios ecosistémicos. Los daños se están manifestando actualmente y se irán agravando a medida que aumenten las temperaturas. Los recursos económicos, ya de por sí insuficientes para cubrir demandas simultáneas, se verán aún más exigidos. El impacto acumulado resultante promete sobrepasar con creces el 2,2% antes indicado del PIB de 2010 y también incidir negativamente en los niveles de equidad y pobreza.

Acciones rápidas y decisivas de adaptación pueden aminorar muchos de los daños económicos que se anticipan –pero no todas las pérdidas de capital natural– a una fracción del costo a largo plazo de no hacer nada

La inversión total que debe hacer la región para adaptarse a los inevitables efectos físicos —independientemente de que se consiga reducir drásticamente las emisiones— se ha estimado entre US\$17.000 millones y US\$27.000 millones al año, o aproximadamente de una cuarta a una sexta parte de los costos de estos impactos. Lo anterior señala que las medidas de adaptación son evidentemente económicas. Buena parte de las repercusiones económicas negativas que de lo contrario se anticipan pueden evitarse o compensarse destinando suficientes recursos económicos a actividades de adaptación.

El impacto de las medidas de adaptación es, en última instancia, limitado. Incluso la implementación de estas acciones no bastará para evitar algunos daños irreversibles dado que lo único que se puede lograr con esas medidas es amortiguar los impactos socioeconómicos del cambio climático. Las medidas de adaptación en general no producen la recuperación del capital natural y cultural perdido, lo que probablemente afectará a las generaciones futuras.

Es imprescindible tomar medidas de mitigación a nivel mundial para prevenir daños aún mayores a la región

Para contener los daños económicos y evitar cruzar puntos críticos aún más irreversibles y que aceleran el cambio que provocarían aumentos de temperatura más allá del aumento probable de 2°C, es preciso estabilizar definitivamente las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) o dióxido de carbono equivalente (CO₂e) aproximadamente a 450 partes por millón (ppm). Para poder alcanzar ese nivel y mantenerlo de una manera creíble, no se debe emitir mundialmente más de 20 gigatoneladas (Gt) de CO₂e anuales para 2050, o alrededor de dos toneladas per cápita (2 tpc) de CO₂e al año. Además, esto implica un límite de 10 Gt de CO₂e anuales a nivel mundial para finales del siglo (menos de 1 tpc anual).

Hay indicios de que la región de ALC está desacoplando su crecimiento económico de las emisiones de carbono

¹ Cálculos de producto interno bruto (PIB), incluidas las proyecciones a futuro, en dólares de 2005.

La huella de carbono total de ALC se ha reducido en aproximadamente 11% desde el inicio del siglo a casi 4,7 Gt de CO₂e, mientras que el PIB de la región ha venido creciendo a un ritmo anual de aproximadamente 3%. La reducción de emisiones se atribuye a la disminución de la deforestación y a mejoras de eficiencia energética. Aunque esta tendencia es muy reciente como para permitir sacar conclusiones de largo plazo, parece apuntar a que se puede desvincular las emisiones de GEI del crecimiento en el valor de la actividad económica, y hay oportunidades para hacerlo.

La trayectoria sin cambios (BAU) puede llevar a la región a un nivel de emisiones anuales casi cinco veces mayor (9,3 tpc) que el nivel de 2 tpc que se requiere según las metas mundiales de estabilización

Aunque la huella de emisiones de ALC representa apenas 11% del total mundial, las metas mundiales de estabilización exigen que todas las regiones, incluida ALC, emitan alrededor de 2 tpc de CO₂e al año para 2050. A pesar de que se proyecta que las emisiones generadas por el uso de la tierra disminuirán considerablemente y que la contribución de la agricultura se mantendrá más o menos constante, se anticipa que la parte de las emisiones generadas por los sectores del transporte y la generación de energía aumentará en 50%, para alcanzar un aporte combinado de aproximadamente 2 GtCO₂e al año. De hecho, según la trayectoria BAU, la región de ALC emitirá casi 7 Gt de CO₂e, o 9,3 tpc al año para 2050.

Es fundamental emprender iniciativas significativas de mitigación que abarquen tanto el uso de la tierra como la generación de energía para alcanzar las metas de estabilización a mediano plazo de 2 tpc para 2050

Modificar la curva de emisiones lo suficiente como para alcanzar la meta de 2 tpc no es tarea fácil. Una iniciativa de tal magnitud exige profundos cambios tanto en la estructura de las economías como en los hábitos de uso de los recursos naturales en la región. Lo único que permitirá alcanzar el objetivo de 2 tpc es una vía que promueva iniciativas de mitigación de emisiones capaz de minimizar la huella de carbono en los sectores eléctrico y de transporte para 2050, combinada con políticas suficientemente rigurosas de agricultura, silvicultura y demás usos de la tierra (AFOLU) que permitan alcanzar: i) cero emisiones netas de la deforestación y el uso de la tierra para 2030 y ii) una reducción de 50% de las emisiones agrícolas para 2050 con respecto al volumen que se proyecta en el escenario BAU.

El costo para ALC de alcanzar la meta mundial de estabilización del clima de 2 tpc para 2050 será de aproximadamente US\$100.000 millones al año, con un costo medio anual de reducción de menos de US\$20 por tCO₂e

Los costos financieros adicionales netos estimados de dichas medidas, más allá de la inversión y los gastos anticipados que se necesitan en el escenario BAU actual, ascenderán aproximadamente a US\$100.000 millones anuales para 2050. Esto representa aproximadamente 2,2% del PIB de ALC en 2010 (0,5% del PIB proyectado para 2050). Aunque se trata de una cantidad considerable en términos de necesidades financieras, hay que verla en el contexto de una iniciativa mundial para prevenir mayores daños catastróficos causados por sobrepasar el nivel de resguardo de 2°C. **La adaptación y la mitigación generan beneficios secundarios importantes para el desarrollo, pero esos beneficios todavía no se han captado ni comprendido lo suficiente como para garantizar la eliminación de obstáculos para acciones contra el cambio climático**

Medidas de adaptación y mitigación son vitales para el desarrollo sostenible, generación de beneficios secundarios o cobeneficios en términos de mejor salud y bienestar humanos, mayor seguridad alimentaria y energética, uso más eficiente de los recursos naturales y el desarrollo tecnológico acelerado. A nivel de sociedad, el valor de los cobeneficios puede compensar buena parte de los costos adicionales netos. Esos cobeneficios suelen ser locales y tienden a complementar los programas anuales de reducción de la contaminación con beneficios de salud considerables. Aunque estos cobeneficios ofrecen incentivos económicos, se necesitan aún más recursos para poner en práctica medidas rápidas y decisivas para hacer frente al reto del cambio climático en ALC.

Introducción

El cambio climático afectará ampliamente las actividades humanas y ecosistemas durante este siglo (IPCC, 2007a). Las consecuencias que se anticipan son de tal magnitud que lo más probable es que la necesidad simultánea de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas y reducir la huella de carbono para prevenir daños mayores se convierta en una de las principales iniciativas de la comunidad mundial.

El presente documento procura abordar varios aspectos relacionados con el desafío que representa el cambio climático en ALC. Primero es necesario determinar qué impactos físicos y consecuencias afectarán más a la región, el costo de estos efectos para las economías e identificar qué medidas de adaptación pueden minimizar dichos impactos adversos. Seguidamente establecer cómo y a qué costo podrá la región reducir sus aportes a la huella mundial de carbono y llevarlos a un nivel que se compagine con las metas de estabilización del clima.

La concentración media mundial de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera ha aumentado de forma considerable, desde un nivel base de alrededor de 280 partes por millón (ppm) a finales del siglo XVIII, a 392 ppm en 2011 (NOAA, 2012). Esta tendencia es levemente menor que el escenario más pesimista (A1F1) planteado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en 2000 y puede provocar efectos de retroalimentación climática que todavía no son entendidos del todo (Ackerman y Stanton, 2011). Los análisis científicos indican que una concentración de CO_2 en la atmósfera de 450 ppm concuerda con un aumento de 2°C de la temperatura media del planeta sobre los niveles previos a la Revolución Industrial (Cuadro I.1).

El umbral de 2°C es importante porque una anomalía de tal magnitud se vincula con una alta probabilidad de que se produzcan cambios “peligrosos” (CMCC, Objetivo 2) en el clima (Schellnhuber, 2009; IPCC, 2007a). Esta amenaza es el motivo fundamental de las iniciativas encaminadas a estabilizar las condiciones climáticas, incluido el Acuerdo de Copenhague, el cual fue ratificado posteriormente en las Conferencias sobre el Cambio Climático en Cancún y Durban. A pesar de cierta incertidumbre sobre la trayectoria futura de emisiones bajo una trayectoria sin cambios (BAU) y el grado de sensibilidad climática, hay un consenso cada vez mayor de que es preciso reducir las emisiones a un nivel consistente con este nivel de resguardo para evitar una mayor desestabilización del clima.

Cuadro I.1 Probabilidad de que niveles determinados de CO₂ produzcan un aumento de temperatura (en %)

Niveles de estabilización (en ppm de CO ₂ e)	2°C	3°C	4°C	5°C	6°C	7°C
450	78	18	3	1	0	0
500	96	44	11	3	1	0
550	99	69	24	7	2	1
650	100	94	58	24	9	4
750	100	99	82	47	22	9

Fuente: Stern (2009).

Estabilizar el aumento de la temperatura a no más de 2°C por encima de los niveles preindustriales exige iniciativas globales de gran escala dirigidas a reducir las emisiones y probablemente requerirá profundos cambios de conducta y de uso de recursos. Las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) se ubicaron en el orden de 47 gigatoneladas (Gt) de CO₂ equivalente (CO₂e) en 2010 (base de datos EDGAR), es decir, casi siete toneladas per cápita (7 tpc). Evitar que este incremento supere 2°C sobre los niveles preindustriales requiere que las emisiones mundiales no sobrepasen 20 GtCO₂e para el año 2050 (IPCC, 2007a), 2 tpc a escala mundial equivalente². Entretanto, un clima estable exige una reducción aún mayor de emisiones mundiales.

Las medidas de adaptación cumplen un papel crítico en la reducción de impactos netos causados por el cambio climático. En las condiciones actuales, la temperatura media mundial seguirá aumentando, incluso en el escenario más optimista (bajas emisiones de GEI). Es probable que el cambio climático afecte a ALC incluso si se consigue reducir las emisiones de GEI, en gran medida debido al considerable pero intrínsecamente frágil capital natural (que abarca ecosistemas sensibles al clima) y la infraestructura de la región. Por lo tanto, se necesitan respuestas de adaptación a los efectos de un aumento de temperatura de 2°C. Los costos de estas respuestas son pequeños comparados con el riesgo de no hacer nada.

Actividades de mitigación costo-efectivas son también necesarias para evitar las consecuencias adversas de un aumento de temperatura de más de 2°C. La meta anual de 2 tpc de CO₂e para 2050 se ha adoptado a fin de minimizar el riesgo de traspasar niveles ambientales críticos. Se trata de i) una meta extremadamente difícil y ii) insuficiente por sí sola. Esfuerzos adicionales son necesarios para llegar al nivel de 1 tpc hacia finales de siglo que se requiere para estabilizar el clima.

El Capítulo 1 presenta una panorámica general de los principales efectos físicos y costos relacionados del cambio climático, así como la identificación de respuestas de adaptación. Temas centrales del Capítulo 2 son trayectorias factibles para alcanzar el objetivo planteado para 2050 y costos correspondientes. En el Capítulo 3 se analizan los cobeneficios esperados de iniciativas de adaptación y mitigación.

² La estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera en una medida suficiente para mantener una anomalía de 2°C exige que se alcance un objetivo de 1 tpc de CO₂e al año hacia finales de siglo.

Capítulo 1

Impactos Climáticos y Respuestas de Adaptación

Impactos climáticos

Actualmente se considera que un aumento de la temperatura media mundial de dos grados centígrados (2°C) sobre los niveles previos a la Revolución Industrial es prácticamente inevitable (Hansen, Sato y Ruedy, 2012), a menos de que se tomen medidas drásticas e inmediatas. Un cambio climático de tal magnitud trastornaría profundamente el sustento, las condiciones sociales y los ecosistemas (IPCC, 2007b). A pesar de que existe cierta incertidumbre en cuanto a la rapidez del cambio, es probable que los efectos se incrementen con el tiempo. Además, se anticipan ciertos efectos climáticos de retroalimentación adversos, o puntos de inflexión, que todavía no son completamente entendidos (IPCC, 2007a; Ackerman y Stanton, 2011).

Entre los principales efectos físicos que se anticipan en la región figuran:

- Pérdida de humedad y temperatura del suelo, así como alteración de los regímenes pluviométricos, lo que incidirá en el rendimiento de las zonas agroecológicas
- Aumento del nivel y temperatura de la superficie del mar, afectando zonas costeras y marinas
- Mayor frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos en zonas costeras
- Incremento de la exposición a enfermedades tropicales transmitidas por vectores, causada por el aumento de temperatura y clima cambiante
- Reducción acelerada del tamaño de los glaciares en los Andes originada por el calentamiento
- Impactos en las cuencas hidrográficas generados por la alteración de regímenes pluviométricos
- Posible extinción paulatina de la selva tropical
- Pérdida de biodiversidad e integridad de ecosistemas

Si no se toman medidas de adaptación, estos impactos físicos tendrán consecuencias económicas y sociales que muy probablemente impedirán el desarrollo sostenible y que pueden atrasar el logro de mejores niveles de vida en la región e incrementar el costo de conseguirlo.

Asimismo es factible que el cambio climático ocurra conjuntamente con factores existentes de estrés ambiental (por ejemplo, destrucción de manglares y descargas de químicos en zonas costeras pueden contribuir a debilitar aún más el coral ya afectado por el calentamiento y acidificación de los océanos). Por ese motivo, las estrategias de adaptación deben mejorar la capacidad de los asentamientos humanos y ecosistemas de responder a la combinación de estreses climáticos y no climáticos. En un número reducido de situaciones otros factores, ya sea causados por la actividad humana o por ciclos naturales, pueden incluso aminorar los efectos adversos del cambio climático. En todo caso, una estrategia de adaptación integral debe anticipar los efectos —tanto adversos como aquellos ocasionalmente beneficiosos— del cambio climático, así como acciones humanas no originadas por el clima y cambios en los ciclos naturales.

Sin embargo, incluso si se toman medidas de adaptación, las repercusiones de dichos cambios pueden restringir el acceso a recursos naturales y la disponibilidad de los mismos en el futuro, limitando así las opciones de desarrollo.

Impactos del cambio climático en la agricultura causados por calentamiento, reducción de la humedad del suelo y alteración de los patrones de precipitación

La agricultura cumple una función vital en la economía de ALC, representando aproximadamente 6% del producto interno bruto (PIB) de la región y 15% del empleo en el 2010. En 2008, las exportaciones de alimentos representaron 16% del total de exportaciones de mercaderías, mientras que las importaciones de alimentos constituyeron 8% del total de importaciones (CEPALSTAT, 2012)³. La agricultura también es un factor fundamental de la seguridad alimentaria en ALC.

En su conjunto, los impactos del cambio climático en la agricultura deben considerarse en el contexto de una demanda creciente de alimentos y productos agrícolas (Dawson y Spannagle, 2009) así como de exportaciones al mercado mundial. Específicamente, se anticipa que los impactos en la agricultura causen una reducción en la oferta de alimentos y un aumento en los precios de estos, con potenciales repercusiones negativas en los ingresos, seguridad alimentaria, pobreza y nutrición (Ahmed et al., 2009; Nelson et al., 2009).

A medida que cambien los regímenes de temperatura, humedad y precipitación, se irá modificando el rendimiento y distribución geográfica de la producción agrícola (Dawson y Spannagle, 2009). Se anticipa que los cambios de la variabilidad climática (intensidad y frecuencia de las inundaciones, lluvias, sequías y tormentas) causarán una disminución de la productividad. Más difícil de evaluar es el aumento a largo plazo de la temperatura de la capa superior del suelo, que puede llegar a rebasar la capacidad genética de muchos cultivos de ajustarse a diversas condiciones ambientales. En el corto plazo, los rendimientos de ciertos cultivos podrán aumentar o disminuir en distintas zonas, en función de la variación proyectada en precipitación, temperatura y condiciones meteorológicas⁴. A largo plazo, se pronostica que la producción agrícola de ALC disminuirá a causa de los efectos combinados de la alteración de regímenes pluviométricos y condiciones del suelo (CEPAL, 2010; Tubiello et al., 2008; Mendelsohn y Dinar, 2009).

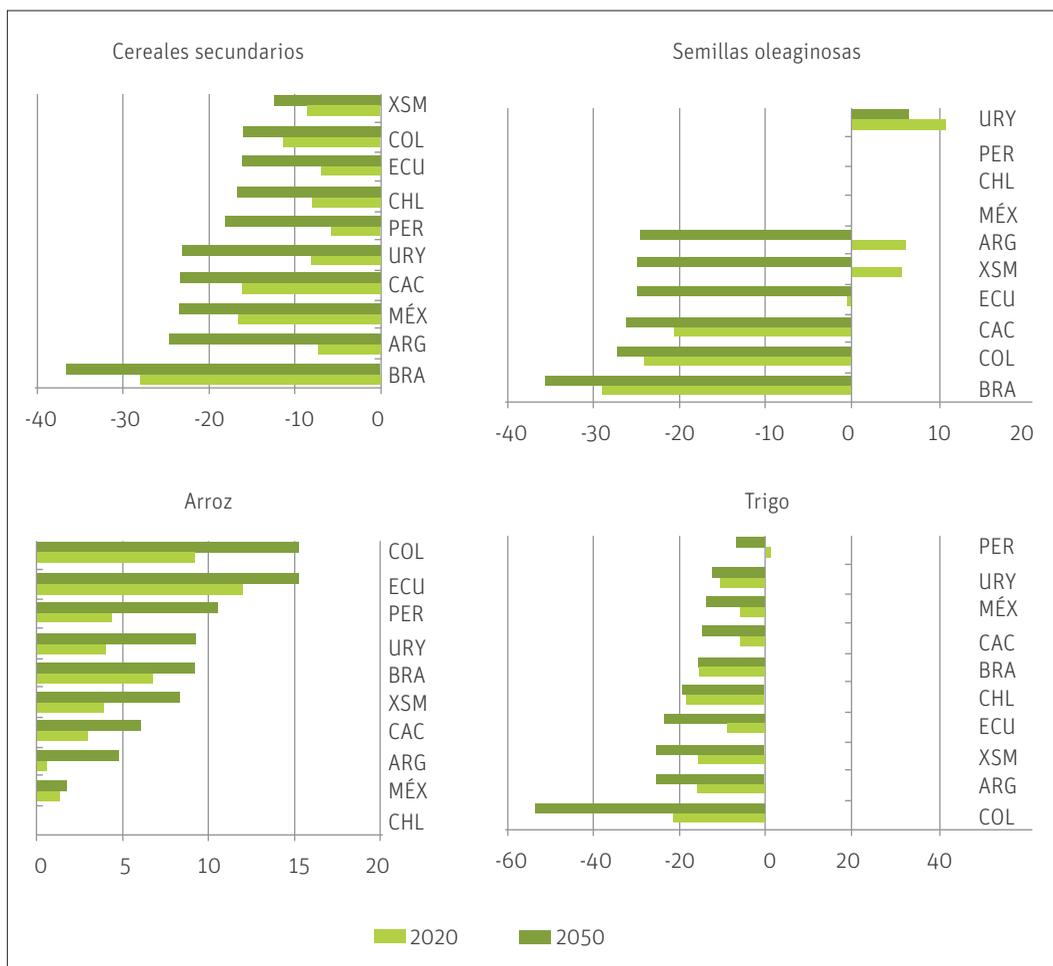
Un estudio reciente indica que el cambio climático puede tener considerables impactos negativos sobre cultivos importantes de la región y se prevé que los mismos repercutirán de manera importante sobre la cadena mundial de suministro de alimentos (Fernandes et al., 2012). El análisis también menciona efectos considerables a plazos mucho más cortos que los planteados

³ <http://websie.eclac.cl/sisgen/ConsultaIntegrada.asp>.

⁴ Por ejemplo, puede que los rendimientos aumenten gracias al efecto de fertilización por CO₂ o a condiciones meteorológicas más propicias (Nelson et al., 2010; Magrin et al., 2007; Seo y Mendelsohn, 2008a, 2008b, 2008c; Mendelsohn y Dinar 2009).

previamente (Gráfico 1.1). Respuestas simuladas del uso de alternativas simples de adaptación (mejoramiento de variedades, cambio de fechas de siembra y riego moderado) indican que las estrategias de este tipo no bastarán para sobreponerse a los impactos anticipados del cambio climático pero pueden atenuar en cierta medida las reducciones en rendimientos. En el estudio también se calcula que este fenómeno causará una disminución del valor anual de las exportaciones agrícolas de la región de entre US\$32.000 millones y US\$54.000 millones para 2050. Impactos de tal magnitud, especialmente en el contexto de un equilibrio muy ajustado entre la oferta y demanda mundial de alimentos, pueden propiciar otras consecuencias, incluyendo especulación en los mercados de alimentos y amenazas para la seguridad alimentaria.

Gráfico 1.1 Impacto Proyectado del Cambio Climático en Pérdidas de Rendimiento en Cultivos Importantes (en %) al 2020 y 2050 en el Escenario A1B



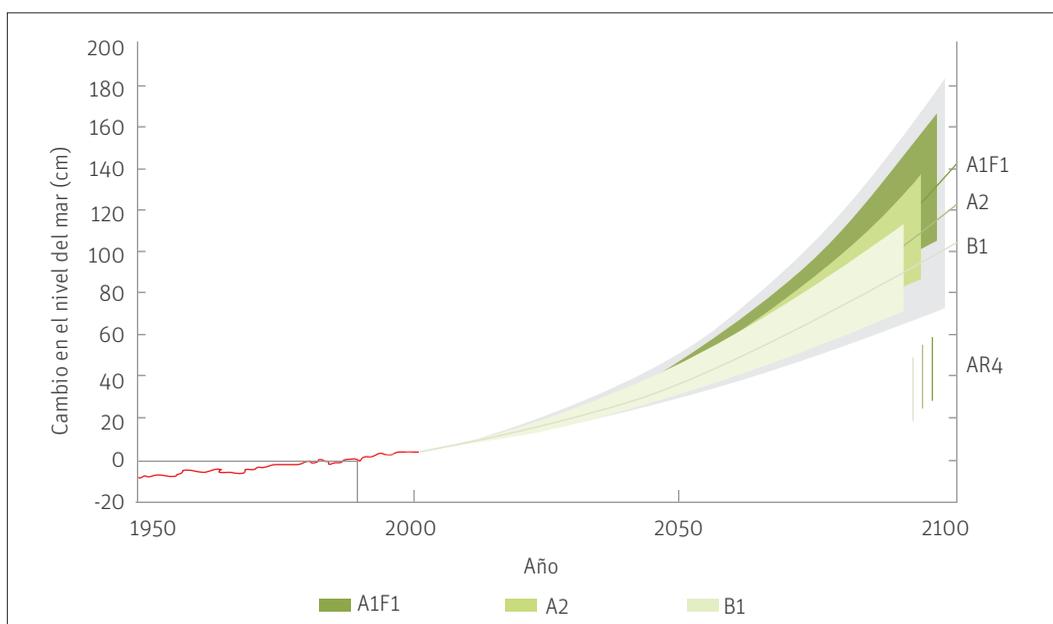
Fuente: Fernandes et al. (2012).

Notas: Ver Apéndice 1 para mayor información sobre el escenario A1B del IPCC. ARG: Argentina, BRA: Brasil, CAC: Centroamérica y el Caribe, CHL: Chile, COL: Colombia, ECU: Ecuador, MÉX: México, PER: Perú, URY: Uruguay, XSM: Resto de Sudamérica.

Impactos en zonas costeras y marinas causados por el aumento del nivel del mar y temperatura de la superficie marina

El calentamiento del mar y el derretimiento o desplazamiento de glaciares harán que aumente el nivel del mar. El mar a nivel mundial subió a una tasa promedio anual de 1,8 milímetros (mm) entre 1961 y 2003, y de 3,1 mm al año entre 1992 y 2003 (IPCC, 2007a; Anderson et al., 2009). Se proyecta que ese ritmo aumentará a medida que el calentamiento continúe afectando los océanos y las cubiertas de hielo. Estudios recientes advierten que es posible que se produzca un alza del nivel del mar de 1–2 metros (m) durante el siglo XXI (Gráfico 1.2). Esto sugiere la apremiante necesidad de preparar planes de contingencia e iniciativas de adaptación más considerables a lo largo de las costas.

Gráfico 1.2 Aumento Esperado del Nivel del Mar entre 1990 y 2100, Basado en Proyecciones de Temperaturas Correspondientes a Tres Escenarios de Emisiones del IPCC



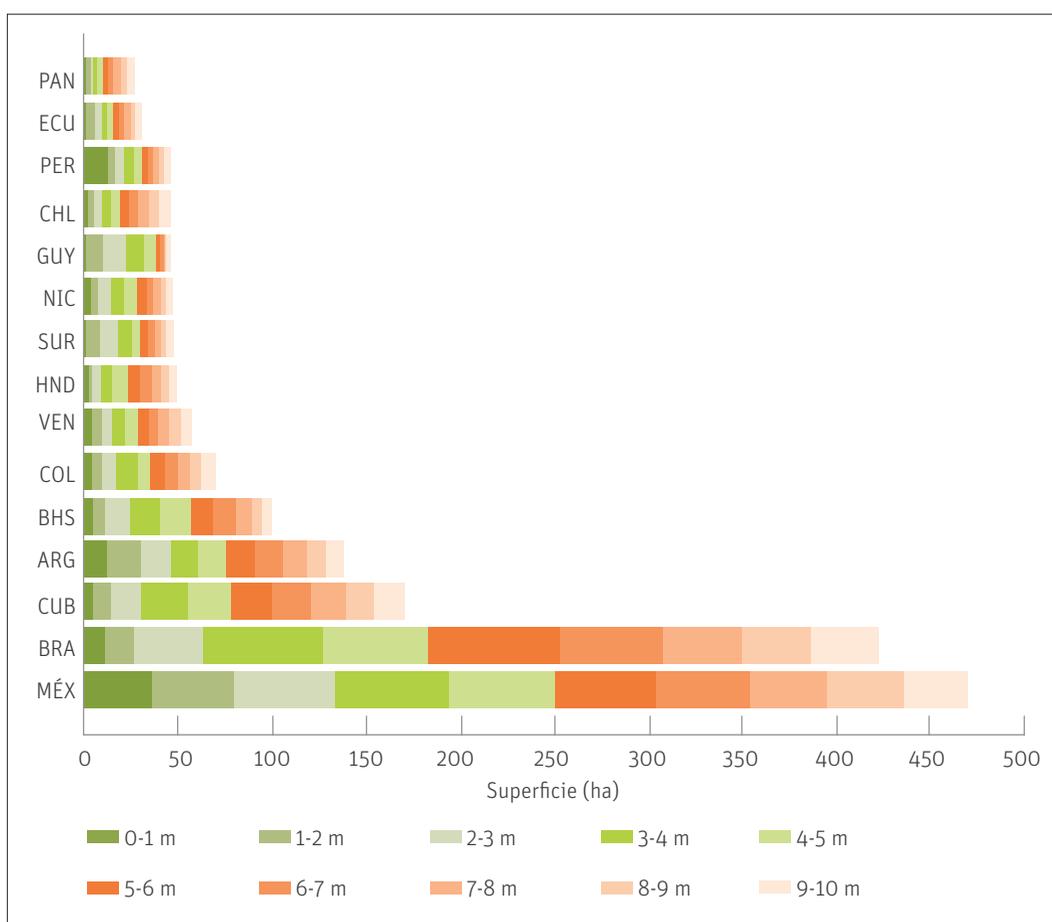
Fuente: Vermeer y Rahmstorf (2009).

Nota: El aumento estimado del nivel del mar entre 1990 y 2100 se basa en las proyecciones de temperaturas preparadas por el IPCC según tres escenarios de emisiones distintos (etiquetados al lado derecho). Para fines de comparación, el rango del nivel del mar que se proyecta en el AR4 del IPCC (IPCC, 2007a, 2007b) para estos escenarios se indica en las barras ubicadas en la esquina inferior derecha. También se presentan, en rojo, observaciones anuales del nivel del mar mundial (Church y White, 2006), incluidas las correcciones atribuibles al volumen de agua que contienen los embalses (Chao et al., 2008).

Estudios recientes han concluido que América Latina es muy vulnerable al alza del nivel del mar por sus extensas costas, geomorfología, preponderancia de asentamientos costeros y el valor de actividades económicas costeras (Nicholls y Tol, 2006; Sugiyama, 2007). Análisis realizados por la CEPAL (2011) indican que México y Brasil tienen las mayores áreas de tierras costeras ubicadas a menos de 10 m sobre el nivel del mar (Gráfico 1.3) y al menos 40% de la población que vive en las zonas costeras de Chile y Uruguay se vería afectada por el alza de un metro del nivel del mar.

El aumento del nivel del mar y una mayor frecuencia e intensidad de fenómenos de tormentas probablemente causen mayores inundaciones y erosión en las zonas costeras, lo que puede generar cuantiosos daños materiales y a la infraestructura, pérdida de ecosistemas y pérdida parcial de tierras (Suarez et al., 2005; Jacob et al., 2007; Williams et al., 2009). Los impactos del alza del nivel del mar muy probablemente perjudicarán al sector del transporte, asentamientos humanos (Jacob et al., 2007), puertos y demás activos costeros. Tomando en cuenta las pérdidas de capital y pérdidas netas de humedales, se calcula que el costo acumulado para América Latina vinculado a un alza de un metro del nivel del mar sería de aproximadamente US\$255.000 millones, magnitud de pérdidas únicamente superada por la proyectada para Norteamérica (Sugiyama, 2007)⁵. Para la región, Dasgupta et al. (2007) ubican el costo anual de una subida de un metro del nivel del mar en aproximadamente US\$19.000 millones. Además, datos recientes indican que este alza afectaría aproximadamente 6.700 kilómetros (km) de carreteras en la región (CEPAL, 2011).

Gráfico 1.3 Distribución de Superficie Terrestre Ubicada entre el Nivel del Mar y 10 Metros sobre el Nivel del Mar en Países de ALC (en miles de hectáreas)



Fuente: CEPAL (2011).

Nota: ARG: Argentina, BHS: Bahamas, BRA: Brasil, CUB: Cuba, CHL: Chile, COL: Colombia, ECU: Ecuador, GUY: Guyana, HND: Honduras, NIC: Nicaragua, PAN: Panamá, PER: Perú, SUR: Surinam, VEN: Venezuela.

⁵ Análisis realizado con el modelo de predicción de emisiones y análisis de políticas (EPPA) –modelo de equilibrio general computable– combinado con la Evaluación Dinámica e Interactiva de la Vulnerabilidad (DIVA) –base de datos sobre vulnerabilidad al alza del nivel del mar.

Salinización de suministros de agua dulce en las costas

Hay evidencia que indica que el alza del nivel del mar está aumentando la presión hidrostática sobre los acuíferos costeros de agua dulce, algunos de los cuales cumplen una función fundamental en el suministro de agua de las islas del Caribe y otras zonas bajas. Por ejemplo, mediciones de la conductividad tomadas en las islas de San Andrés (INAP, 2012) indican una tendencia a largo plazo que, de continuar, eventualmente hará que el agua de estas fuentes deje de ser apta para el consumo humano. Esta tendencia se suma a presiones causadas por la gestión inadecuada de los acuíferos. Sin embargo, en este momento no se dispone de un estimado general de los suministros de agua costeros afectados.

Blanqueamiento de corales

El blanqueamiento de corales está directamente vinculado al aumento de temperatura de la superficie del mar. Los arrecifes coralinos representan el ecosistema marino de mayor diversidad biológica al sustentar a más de 25% de las especies marinas y equivalen a las selvas tropicales en los ecosistemas terrestres en términos de productividad de biomasa. Los corales son en su mayoría sumamente sensibles a variaciones de los parámetros ambientales y pueden perder las relaciones simbióticas necesarias para la fotosíntesis al ser afectados por el alza de la temperatura. La pérdida de la capacidad fotosintética conduce al blanqueamiento y, en última instancia, a la muerte del coral.

El aumento gradual y sostenido de la temperatura de la superficie del Mar Caribe ha incrementado la frecuencia de los eventos de blanqueamiento, el más reciente de los cuales afectó al coral de toda la región⁶. La viabilidad de los arrecifes coralinos se puede recuperar parcialmente con el tiempo si no se producen nuevos episodios de blanqueamiento, pero más de un episodio grave de blanqueamiento en un plazo breve puede ser devastador. El Grupo del IPCC anticipa que durante este siglo las temperaturas en el Caribe pueden alcanzar valores críticos capaces de provocar episodios repetidos de blanqueamiento y el colapso del bioma coralino. Además de la pérdida de biodiversidad, este fenómeno puede tener repercusiones económicas graves. El costo anual asociado con la pérdida del 50% o del 90% de la cubierta coralina en el Caribe se ha estimado en cerca de US\$7.000 millones y US\$12.000 millones, respectivamente (Vergara et al., 2009)⁷.

Los manglares, al igual que los arrecifes coralinos, figuran entre los ecosistemas más vulnerables a los efectos físicos del cambio climático. Los manglares se verán afectados por el aumento del nivel del mar, el cual altera la salinidad de las zonas costeras en las que habitan. Es posible también que se vean afectados por la temperatura de la superficie del mar y cambios en los patrones de precipitación incidirán en su productividad. Aunque la mayoría de estos impactos serán acumulativos, la falta de información sobre su magnitud dificulta la estimación de impactos netos.

Impactos en zonas costeras derivados de cambios en la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos

El cambio climático ha sido vinculado a la intensificación de fenómenos meteorológicos extremos. Aunque la medida en que el calentamiento mundial incide en el número de ciclones tropicales es difícil de discernir debido a la circunvolución de las variaciones climáticas decadales con

⁶ Los más recientes episodios de blanqueamiento del coral ocurrieron en 1993, 1998 y 2005 (Vergara et al., 2009 y 2010).

⁷ Las pérdidas económicas para 2050 se cuantifican en dólares de 2008. Incluyen el valor perdido en términos de protección de costas, pesquería, turismo y bioquímicos. El cálculo se hizo a partir de los resultados de una simulación COMBO7 vinculada a los aumentos proyectados de temperatura de la superficie que se anticipan en el escenario SRES A1B (Buddemeier et al., 2008). Los efectos de la acidificación de los océanos, uno de los efectos secundarios importantes del aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, pueden añadir consecuencias perjudiciales importantes para los ecosistemas marinos mundiales. La magnitud de este efecto todavía es muy difícil de discernir.

el calentamiento del planeta y registros iniciales incompletos de datos, Emanuel (2005) y Webster et al. (2005) han demostrado que la intensidad de los huracanes está aumentando globalmente. Un estudio en la región del Caribe concluyó que el aumento observado del número de huracanes que tocan tierra indica un incremento más generalizado de la velocidad media del viento de los ciclones tropicales a medida que sube la temperatura de la superficie del mar, así como hacia un desplazamiento hacia una mayor cantidad de huracanes categoría 4 y 5 (Curry et al., 2009).

Curry et al. (2009) consideran probable que el incremento registrado últimamente en el número de huracanes de gran intensidad que tocan tierra en la región se debe en gran medida al aumento de la temperatura de la superficie del mar, lo que es a su vez producto del calentamiento causado por el aumento de las concentraciones de GEI. La variabilidad dificulta proyecciones precisas, pero sugiere que la combinación de mecanismos de forzamiento naturales y antropogénicos llevará a múltiples huracanes fuertes en la región durante años promedio a finales de siglo. El impacto económico de los daños causados por los ciclones tropicales es oneroso y se proyecta que ascenderá a entre US\$110.000 millones y US\$149.000 millones durante el período 2021–25, montos que incluyen entre US\$80.000 millones y US\$103.000 millones en las costas del Golfo de México y entre US\$30.000 millones y US\$44.000 millones en Centroamérica y las Antillas (Curry et al., 2009)⁸. Según una evaluación realizada por Toba (2009), los costos anuales del aumento de la frecuencia e intensidad de los huracanes para 2050 ascienden aproximadamente a US\$5.000 millones.

Mayor exposición a enfermedades tropicales transmitidas por vectores debido al aumento de la temperatura ambiente y otras condiciones climáticas cambiantes

El cambio climático produce efectos generales adversos para la salud. Entre sus consecuencias más importantes figuran un aumento de la exposición a enfermedades tropicales transmitidas por vectores, mayor incidencia de enfermedades respiratorias, así como una mayor exposición a olas de calor y otros fenómenos meteorológicos extremos. Es probable que esos impactos en la salud se hagan sentir con más intensidad en países con poca capacidad de adaptación o entre grupos de bajos ingresos per cápita (IPCC, 2007b). Se anticipan impactos positivos para la salud únicamente en zonas templadas o muy frías.

Los mayores peligros para la salud humana vinculados con el cambio climático en América Latina son paludismo, dengue, cólera y estrés térmico (Githeko y Woodward, 2003). La sensibilidad al paludismo en respuesta a temperaturas más altas y una mayor precipitación pueden exponer a la región a un mayor peligro de contagio (Magrin et al., 2007). El vínculo entre la difusión geográfica y estacional del dengue y el cambio climático se ha descrito en numerosos estudios (por ejemplo, los de Hales et al., 2002, y Confalonieri et al., 2007). Las proyecciones para la región en su conjunto apuntan hacia un aumento de la cantidad de personas en peligro de contraer dengue a causa de los cambios tanto de los límites geográficos de contagio (Hales et al., 2002) como de la distribución de enfermedades transmitidas por vectores (Peterson et al., 2005).

Esos impactos exigirán la asignación de recursos adicionales al sector de la salud. Se estima, por ejemplo, que atender la carga de problemas de salud vinculados con el cambio climático y el aumento de la incidencia de enfermedades diarreicas y la desnutrición en ALC tendrá un costo anual aproximado de US\$1.300 millones en 2030⁹.

⁸ Esta cifra se calculó a partir de una intensificación de entre 2% y 5% de los ciclones tropicales y un aumento general de la frecuencia de los mismos de entre 0% y 35%, normalizado tomando en cuenta los aumentos de población y del PIB. Los valores del rango superior e inferior corresponden al escenario B2 y A1 respectivamente.

⁹ Este cálculo estimado se basa en los casos de incidentes y los costos medios de tratamiento adicionales reportados por Ebi (2008) en el caso de una estabilización a 550 ppm de CO₂e para 2170.

Cambios hidrológicos

Un número cada vez mayor de estudios indican que el cambio está afectando los elementos terrestres del ciclo hidrológico. En este sentido, el IPCC concluye que “hay un alto grado de confianza en que los sistemas hidrológicos ya se están viendo afectados: una mayor escorrentía y el adelanto de la descarga primaveral pico en muchos ríos alimentados por glaciares y nieve, así como el calentamiento de lagos y ríos en muchas regiones, con efectos sobre la estructura térmica y la calidad del agua. El aumento de la variabilidad estacional también afectará a los sistemas hidrológicos” (IPCC, 2007a).

Intensificación de los regímenes pluviométricos

El calentamiento mundial no sólo provocará cambios en las condiciones medias sino que también hará aumentar la amplitud y frecuencia de fenómenos de precipitación extrema, lo que afectará los regímenes hidrológicos de las cuencas de la región. Modelos de alta resolución que cubren toda América Latina apuntan tanto a una intensificación de la precipitación como a un alargamiento de los períodos de sequía. Por ejemplo, simulaciones sobre el río Magdalena en Colombia indican cambios en la amplitud de las variaciones estacionales como consecuencia del cambio climático (Nakaegawa y Vergara, 2010). Simulaciones sobre la cuenca amazónica indican que la hidrología de ríos importantes se hará menos estable y que existe la probabilidad de que se produzcan picos más altos y nodos más bajos (Vergara y Scholz, 2011). México ha informado de una intensificación de las inundaciones en la cuenca del Grijalva, con costos que ascendieron a 30% del PIB de la región en 2007, lo que equivale aproximadamente a US\$250 millones (CONAGUA, 2009). También se han reportado episodios anómalos de inundación en el estado de Río de Janeiro en Brasil y a todo lo largo y ancho del territorio de Colombia.

La desestabilización de los regímenes hidrológicos en las principales cuencas de la región causará una disminución de la capacidad firme de generación hidroeléctrica y hará necesario crear una mayor capacidad de almacenamiento con el objeto de mantener la fiabilidad del suministro de agua. De Lucena, Schaeffer y Szklo (2010) han concluido que condiciones tan inestables pueden causar una disminución de la capacidad firme mínima garantizada de las represas y embalses de las centrales hidroeléctricas de entre 29–32% en los escenarios A2 y B2 respectivamente (véase mayor información sobre los escenarios del IPCC en el Apéndice 1). Sin adaptación alguna, esta pérdida representa un costo anual estimado de alrededor de US\$18.000 millones.

Reducción acelerada del tamaño de los glaciares, alteración de los servicios hídricos y otras consecuencias del calentamiento en los Andes

Investigaciones recientes demuestran que el cambio climático será aún más pronunciado en zonas montañosas altas y que las cordilleras que ascienden hasta la tropósfera se han venido calentando más rápidamente que las tierras bajas adyacentes (Bradley et al., 2006; Ruiz et al., 2012). Los impactos visibles de los cambios causados por estas nuevas pautas climáticas ya están a la vista en los Andes. El aumento de temperaturas ha causado una disminución rápida de las superficies glaciares; además, la variabilidad y los extremos de las condiciones climáticas ya han comenzado a afectar los ecosistemas y la actividad humana en los Andes. Por ejemplo, las temperaturas más altas están afectando la evaporación, el almacenamiento de agua en lagos y embalses, la humedad del suelo y la evapotranspiración de la vegetación de montaña. Se anticipa que estos cambios repercutirán en la regulación de los recursos hídricos y en el suministro de agua y de energía eléctrica¹⁰.

¹⁰ Los glaciares y los lagos ubicados en la zona tropical de los Andes también cumplen un papel en la estacionalidad de la escorrentía, al actuar como medios de almacenamiento o de protección durante temporadas de lluvia y al liberar el agua acumulada a lo largo de períodos

Las emisiones de carbono negro generadas por la tala, quema de biomasa y otras actividades como el transporte también pueden estar contribuyendo a la reducción del tamaño de los glaciares de la región (Simões y Evangelista, 2012) mediante la transferencia atmosférica de hollín y carbono negro hacia las cuencas glaciares de los Andes. Se ha postulado que las emisiones de carbono negro en la región están modificando el albedo en la península Antártica por medio del intercambio atmosférico con Sudamérica (Bueno Pereira et al., 2006).

La reducción del tamaño de los glaciares es evidente en Venezuela, Perú, Bolivia, Colombia, Ecuador y Chile. La superficie cubierta por estos en los Andes se redujo en más de 15% durante el período 1970–2002 (Kaser, 2005; INRENA, 2006)¹¹. Un análisis reciente revela que durante los últimos 25 años los glaciares de la Cordillera Real de Bolivia han perdido 45% de su superficie (Ramírez, 2012). También se ha registrado una reducción considerable de la superficie de glaciares de menor tamaño y una pérdida significativa de reservas de agua en Perú (Comunicación nacional, Perú, 2001). Es actualmente aceptado que la mayoría de los glaciares ubicados por debajo de los 5.000 metros de altitud desaparecerán a mediados de siglo.

Estudios prevén que la reducción del volumen de los glaciares que está ocurriendo tendrá consecuencias considerables (IPCC, 2007b). Se anticipa que la disminución del volumen de agua producida por el derretimiento comenzará a reducir el volumen de caudales entre 2015 y 2025, lo que afectará la disponibilidad de agua y la capacidad de generación hidroeléctrica en Colombia (IDEAM, 2004). En el caso de Perú, es probable que la reducción del tamaño de los glaciares afecte la disponibilidad de agua para los centros poblados y el sector de generación eléctrica, proyectándose un aumento estimado entre US\$212 millones y US\$1.500 millones en los costos anuales de generación hidroeléctrica (Vergara et al., 2007). Por su parte, en la ciudad de Quito se requerirá una inversión adicional de US\$100 millones a lo largo de los próximos 20 años para asegurar su suministro futuro de agua (Vergara et al., 2007).

Posible reducción de cobertura de selvas tropicales

La cuenca amazónica es un elemento vital del ciclo del carbono del planeta. Los bosques tropicales primarios de esta cuenca constituyen una reserva de aproximadamente 120.000 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) en biomasa. Cada año, procesan alrededor de 18.000 millones de toneladas de CO₂ mediante respiración y fotosíntesis. Esta cantidad es más del doble de las emisiones antropogénicas mundiales generadas por combustibles fósiles. El Amazonas es también la mayor reserva mundial de biodiversidad y produce cerca del 20% del flujo global de agua dulce que se vierte en los océanos. A pesar de la descarga de CO₂ causada por la deforestación, se considera que el ecosistema de la cuenca amazónica es un sumidero neto de carbono debido a que, en promedio, el crecimiento anual sobrepasa la mortalidad (Phillips, et al., 2008).

Sin embargo, las tendencias climáticas actuales y la deforestación causada por el hombre pueden estar transformando la estructura y el comportamiento del bosque amazónico (Phillips et al., 2009). La probabilidad de que hacia finales de este siglo se produzca una reducción considerable de la biomasa o desaparición progresiva de especies en la selva amazónica a causa del cambio climático es un tema creciente en la literatura. Se han empleado varios métodos de evaluación basados en diversas metodologías y mediciones de campo, experimentos sobre sequía, detección a distancia y modelaje, con el fin de evaluar la resiliencia de este ecosistema (Malhi et al., 2004, 2006; Phillips et al., 2009; Nepstad et al., 2006; Brando et al., 2008; Saleska et al., 2007; Cox et al., 2004; Sitch et al., 2008).

más prolongados de tiempo.

¹¹ El glaciar de Chacaltaya en Bolivia desapareció hace poco, uniéndose a una lista de glaciares que ya se han derretido del todo figurando entre estos Purace y Cisne en Colombia. En Chile, el tamaño del glaciar de San Quintín se ha reducido rápidamente. Además, el volcán Santa Isabel (Colombia) experimentó una disminución de 44% de su pico nevado, afectando su atractivo como destino turístico y generando

Aunque los resultados difieren entre estudios, es probable que el cambio climático produzca efectos adversos sobre el bioma de la selva tropical de la cuenca amazónica durante este siglo. Todo cambio drástico de la cubierta del suelo en esta cuenca hará cambiar sus propiedades de almacenamiento de carbono, alterará los ciclos hidrológicos de la región y afectará el clima a nivel regional y local. Como consecuencia, se ha determinado que una reducción del bioma amazónico es un “elemento crítico” potencial del sistema completo del planeta (Lenton et al., 2008).

No obstante, la dirección e intensidad de los cambios que se avecinan son inciertas. Dependerán de la precipitación y procesos fisiológicos futuros, como la manera en que incidirán las concentraciones atmosféricas de CO₂ en el crecimiento de la vegetación y la eficiencia vegetal en el uso del agua, lo que se conoce comúnmente como “efecto de fertilización por CO₂” (Hickler et al., 2008). No hay registros de crecimiento de selvas lluviosas tropicales bajo una anomalía de 2°–3°C. Someter a las selvas a semejante aumento de temperatura constituye un experimento sin precedentes con el potencial de acarrear consecuencias perdurables.

Un estudio reciente (Vergara y Scholz, 2011) preparó un modelo del riesgo de extinción paulatina de especies en la Amazonía. En un escenario sin fertilización por CO₂, los resultados indican una alta posibilidad de que se produzca una pérdida de biomasa. Además, se calculó que la probabilidad de que ocurran episodios de extinción paulatina de especies en las zonas oriental y meridional del Amazonas es de 15% y 16% respectivamente. Una considerable extinción paulatina de especies en la Amazonía puede tener efectos regionales y mundiales sobre los ciclos del carbono y del agua, y alcanzaría a afectar la cantidad de precipitación en zonas agrícolas en el sur de Brasil y Argentina. Sin embargo, suponiendo que la fertilización por CO₂ producirá efectos positivos fuertes, lo más probable es que aumente la biomasa en las cinco regiones. Sin esos efectos relacionados con el CO₂, es factible que ocurran reducciones de la biomasa en todas las regiones incluidas en el modelo, así como extinciones paulatinas en algunas regiones.

A pesar de que más investigación es necesaria, a falta de mejores datos, el principio de precaución indica que no conviene fundamentar políticas en el supuesto de que la fertilización por CO₂ mejorará considerablemente la resiliencia de la Amazonía. A partir de la información producida por este estudio, un análisis parcial de los probables impactos económicos de la extinción paulatina de especies en el Amazonas sobre recursos ecológicos, turismo y otros servicios estima una pérdida anual de entre US\$4.000 millones y US\$9.000 millones¹².

Efectos adversos sobre biodiversidad y estabilidad de ecosistemas

Aparte de los impactos que afectan a las actividades humanas, el cambio climático también alterará los ecosistemas naturales y especies individuales. El cambio climático está acelerando procesos naturales de modificación de la biodiversidad, afectando a la vegetación y composición de los ecosistemas así como distribución y migración de diversas especies animales (IPCC, 2001 y 2007b).

El cambio climático está también afectando la disponibilidad de alimentos, relaciones entre especies depredadoras-presas y las interacciones de competitividad, lo cual puede alterar las estructuras de las comunidades y causar daños irreversibles, como la extinción de especies (Blaustein et al., 2010). Lo anterior es de gran importancia para América Latina, debido a la gran parte de la biodiversidad del planeta que en ella habita y también porque la biodiversidad de la región se está viendo afectada por otros procesos como deforestación, degradación de bosques y la caza (es decir, la sobreexplotación) (Asner et al., 2005).

importantes repercusiones económicas (UNEP/CEPAL, 2010).

¹² Esta cifra es un estimado de los autores basándose en la evaluación de servicios ambientales de TEEB (2010) y Vergara y Scholz (2011). Nótese que muchos de los servicios que presta el bioma trascienden las fronteras nacionales y son de alcance mundial, por lo que su val-

Diversos métodos pueden usarse en la evaluación de los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad. Uno de ellos es el de las zonas de vida de Holdridge (HLZ) (Leemans, 1990)¹³. Una HLZ es un sistema bioclimático mundial de clasificación de zonas en tierra firme en el que se establecen correlaciones entre las condiciones climáticas y las características de los ecosistemas (Holdridge, 1947) de una manera que permite producir una base cuantitativa para estimar los cambios que se produzcan en los ecosistemas¹⁴. El Gráfico 1.4 muestra la distribución actual y en un escenario de cambio climático de las HLZ en ALC bajo la suposición de que la concentración de CO₂ se duplicará. La región posee 37 de las 38 HLZ del planeta y 67% de la superficie terrestre total de la región está cubierta por selvas húmedas tropicales, bosques secos subtropicales, selvas secas tropicales y bosques húmedos subtropicales¹⁵.

Los escenarios del cambio climático indican que las HLZ húmedas se reducirán mientras las HLZ más secas irán ampliándose. Por ejemplo, se anticipa un incremento de aproximadamente 156% de la superficie del “bosque muy seco tropical” y una reducción de la superficie de los bosques lluviosos y los bosques húmedos (-67% de los bosques boreales lluviosos y -60% de los bosques húmedos templados cálidos). De duplicarse la concentración de CO₂, los resultados para las cuatro HLZ principales de la región indican que los bosques húmedos subtropicales y los bosques secos subtropicales se reducirán en 22% y 31% respectivamente, mientras que las selvas húmedas tropicales y las selvas secas tropicales se extenderán en 63% y 50%.

Aunque asignar un valor monetario a las funciones que cumple un ecosistema plantea grandes dificultades metodológicas (Arrow et al., 1993; Heal, 2000; Splash y Vatn, 2006)¹⁶, se puede usar un meta-análisis que incluya todas las valoraciones ambientales posibles de todas las funciones que cumple el ecosistema con el objeto de determinar los valores de uso y de no uso antes de transferir esos valores a las áreas dentro de las mismas clasificaciones de HLZ. Usando este enfoque, el valor total de todas las HLZ de Sudamérica es de aproximadamente US\$344.000 millones anuales, buena parte de lo cual corresponde a los bosques subtropicales húmedos, donde las repercusiones del cambio climático representan una pérdida económica anual neta de US\$36.500 millones (Cuadro 1.1)¹⁷.

oración no se toma en cuenta.

¹³ Una zona de vida es un conjunto de interrelaciones vegetales ubicadas en una división climática natural que se determinan tomando en cuenta las condiciones del suelo y etapas de sucesión. Se asume que una zona de vida determinada tiene una apariencia similar dondequiera que se encuentre en el mundo.

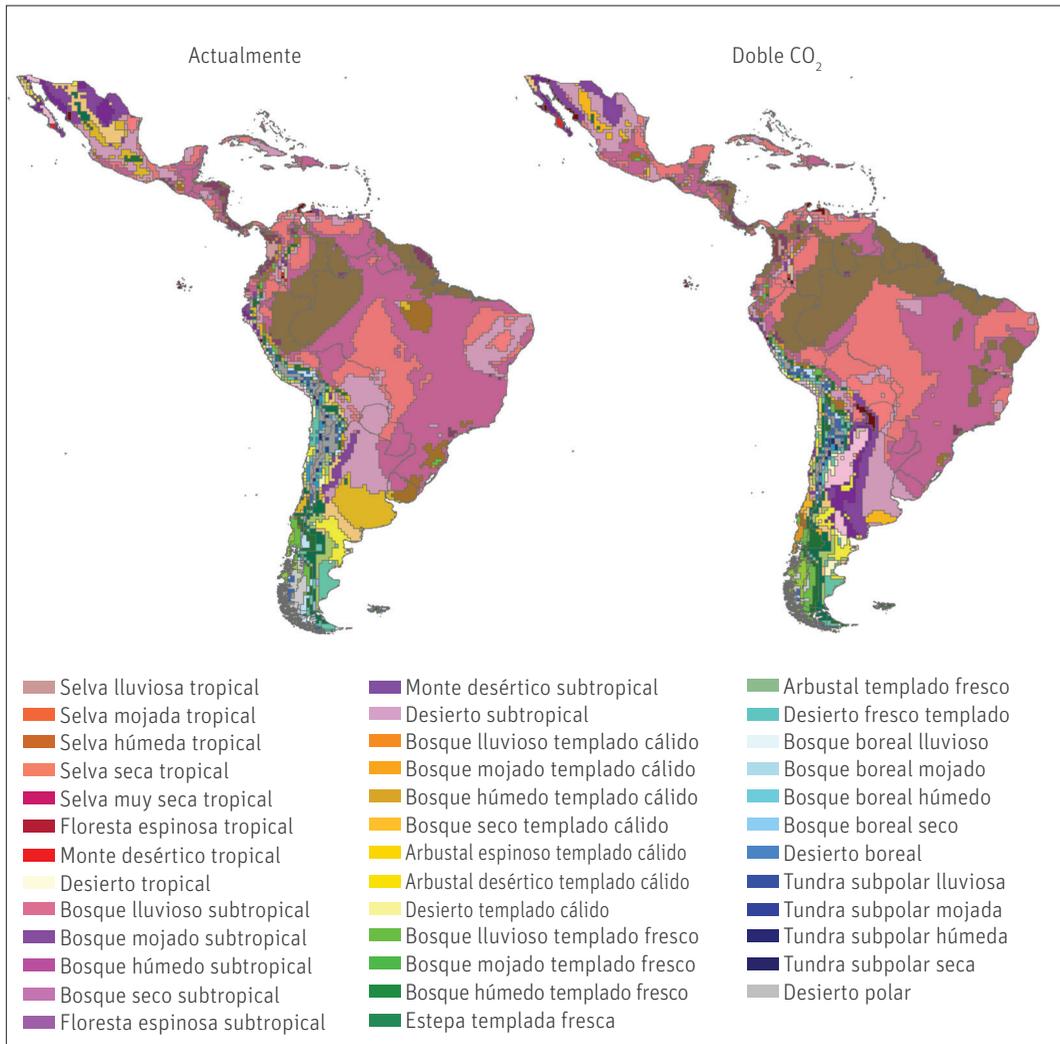
¹⁴ Este enfoque tiene las siguientes ventajas: se basa en los factores climáticos de procesos de ecosistemas y reconoce las respuestas ecofisiológicas de las plantas; es jerárquico y permite usar otros criterios de correspondencia en los niveles de las interrelaciones y sucesivos de análisis; se puede ampliar o reducir sin causar una pérdida de continuidad funcional entre los distintos niveles de complejidad ecológica; y es un sistema relativamente simple basado en datos empíricos limitados (Lugo et al., 1999).

¹⁵ En este informe se toma en cuenta la región de ALC completa en términos de tipos de vegetación, sin quitar áreas urbanas, productivas y degradadas. Por eso representa únicamente las distribuciones posibles de los tipos de vegetación potenciales en un escenario climático determinado.

¹⁶ La valoración económica de los servicios de los ecosistemas en América Latina arroja resultados atribuibles a la metodología aplicada, características del área de estudio (tipo de conservación) y la percepción e importancia social de cada sitio. Los valores se encuentran en un rango de US\$0,03 a US\$2,89 por hectárea al año, con un promedio de US\$1,99. La valoración es más bien variable, en función de la clasificación de los servicios de los ecosistemas.

¹⁷ Resultados del meta-análisis disponibles previa solicitud.

Gráfico 1.4 Mapa de Zonas de Vida de Holdridge en América Latina: Clima Actual y Futuro con el Doble de CO₂



Fuente: Recopilación de los autores basada en datos de Leemans (1989).

El cambio climático tiene otros impactos irreversibles sobre la biodiversidad y puede producir considerables efectos cuyo valor todavía no es posible calcular con precisión. Por ejemplo, existe la preocupación cada vez mayor de que la región amazónica —un componente fundamental del ciclo del carbono del planeta—, se desestabilice y que su alteración o destrucción provoque a su vez grandes cambios de las condiciones climáticas mundiales (Vergara y Scholz, 2011). Las repercusiones de un daño irreversible de tal magnitud a la biodiversidad van más allá de una cuestión puramente económica y tienen implicaciones éticas profundas y efectos recíprocos considerables todavía no comprendidos del todo. Muchos de esos efectos representan cambios que no será posible revertir con facilidad y que continuarán desarrollándose a través del tiempo, incluso si se garantizan reducciones en la tasa de emisiones. En cambio, si se sigue adelante con la tendencia actual de aumento de la concentración de GEI en la atmósfera, los efectos netos se irán exacerbando y probablemente provoquen cambios adicionales en la biósfera.

Cuadro 1.1 Cambio climático e impactos económicos sobre la biodiversidad en América Latina

Zonas de vida de Holdridge (HLZ)		Valor promedio (US\$/ha)	Valor actual de las HLZ (millones US\$)	Valor actual de las HLZ con doble CO ₂ (millones de US\$)	Pérdida económica (millones de US\$)	Pérdida económica (%)
Número	Nombre					
1	Desierto polar	94,22	3.268,36	1.506,35	1.762,01	53,91
10	Bosque boreal lluvioso	106,25	2.562,24	846,94	1.715,30	66,95
11	Desierto fresco templado	56,09	1.573,13	872,39	700,74	44,54
12	Arbustal templado fresco	117,00	3.074,66	2.071,68	1.002,98	32,62
13	Estepa templada fresca	90,73	3.330,86	3.123,75	207,11	6,22
14	Bosque húmedo templado fresco	86,32	2.641,81	3.000,73	-358,92	-13,59
15	Bosque mojado templado fresco	62,77	948,63	1.543,94	-595,31	-62,75
19	Arbustal espinoso templado cálido	108,86	5.869,35	1.969,78	3.899,57	66,44
20	Bosque seco templado cálido	171,46	17.692,77	6.302,91	11.389,85	64,38
21	Bosque húmedo templado cálido	130,58	7.716,84	3.061,08	4.655,76	60,33
26	Floresta espinosa subtropical	128,56	6.844,17	10.144,97	-3.300,81	-48,23
27	Bosque seco subtropical	196,84	51.972,92	35.614,67	16.358,24	31,47
28	Bosque húmedo subtropical	263,70	169.873,44	132.482,67	37.390,76	22,01
29	Bosque mojado subtropical	77,06	2.563,23	2.000,64	562,59	21,95
34	Selva muy seca tropical	77,16	2.125,15	5.454,21	-3.329,06	-156,65
35	Selva seca tropical	101,32	27.803,89	41.680,92	-13.877,02	-49,91
36	Selva húmeda tropical	140,72	34.353,18	56.069,00	-21.715,82	-63,21
Total de HLZ en América Latina			344.214,63	307.746,65	36.467,98	10,59

Fuente: Preparado por los autores a partir de datos de Leemans (1989).

Además, hay otros efectos claros que ya están comenzando a manifestarse como los impactos del clima en el funcionamiento de los ecosistemas y los hábitos de especies migratorias. Los cambios inducidos por variaciones estacionales del clima y las respuestas de diversas especies pueden estar incidiendo en la integridad de los ecosistemas en formas todavía no completamente entendidas. Igualmente, un cúmulo creciente de evidencia señala que el cambio climático puede perjudicar a especies migratorias (Robinson et al., 2005). Por ejemplo, las trayectorias migratorias de aves de rapiña en el corredor centroamericano pueden verse alteradas por los cambios climáticos en la costa mexicana del Golfo de México y en el territorio indígena Kéköldi de Costa Rica. El motivo de preocupación en este sentido es que los cambios en la temperatura del aire y la aparición de alteraciones estacionales acaben por afectar tanto la capacidad de las especies de migrar como la composición de los hábitats de los que dependen a lo largo de sus bien calculadas rutas.

Estimación de los daños producidos por los impactos físicos

La información antes expuesta se presenta en el Cuadro 1.2 junto con las advertencias y limitaciones del estimado. Se prevé que el valor agregado anual de los daños económicos que se anticipan en ALC, como consecuencia de algunos de los principales impactos físicos atribuibles al inevitable aumento de 2°C de la temperatura media sobre los niveles preindustriales, irá aumentando en forma gradual hasta alcanzar aproximadamente entre US\$85.000 millones y US\$110.000 millones en 2050 (valor actual), comparado con el PIB de la región de alrededor de US\$4,6 billones en 2010¹⁸.

Las pérdidas anuales no atenuadas del cambio climático se irán convirtiendo en un obstáculo cada vez mayor para el crecimiento sostenido, retrasando el despliegue de capital humano, natural y físico. A largo plazo, las pérdidas acumuladas se manifestarán en forma de reducciones reales de ingresos anuales.

Al evaluar la severidad de los impactos económicos, es preciso tomar en cuenta varios aspectos. En primer lugar, los cálculos estimados de que se dispone actualmente no son exhaustivos y en muchos casos incluyen únicamente estimaciones parciales, como ocurre con los efectos de la pérdida de capacidad de generación hidroeléctrica, en donde sólo se toma en cuenta en el caso de Brasil, y las consecuencias de la reducción del tamaño de los glaciares, enfocado únicamente en el caso de Perú. Por lo tanto, los estimados que se presentan en el Cuadro 1.2 son un cálculo conservador de la cuantía de los daños anuales. Es probable que las pérdidas reales excedan ampliamente la cifra anual de US\$85.000 millones a US\$110.000 millones para el año 2050.

En segundo lugar, los cálculos no incluyen daños a la biodiversidad, cambio del inventario de recursos naturales ni otros valores no monetarios (como el valor intrínseco de la extinción de especies, el colapso de biomas ni los daños irrecuperables al capital natural). Algunos servicios de los ecosistemas son intrínsecamente difíciles de valorar y otros daños culturales y sociales no han sido considerados.

En tercer lugar, es difícil cuantificar los efectos a largo plazo en términos económicos (es decir, en términos de pérdida de PIB). En el corto plazo, aumentar la inversión en obras de infraestructura y de producción para compensar las pérdidas puede llegar a producir un aumento del PIB gracias a los efectos multiplicadores y catalizadores, ya que es factible que la inversión adicional logre incrementar el crecimiento, especialmente si hay capacidad productiva subutilizada. Pero a largo plazo, el crecimiento decreciente de la capacidad de producción de bienes y servicios (e incluso la menor capacidad de servicios de los ecosistemas) limitará la capacidad de producir y generar ingresos.

¹⁸ Todos los valores de PIB, incluidos los de las proyecciones, se indican en términos de dólares de 2005.

Por ejemplo, con respecto al capital fijo cabe esperar lo siguiente:

- Menor rentabilidad de instalaciones de producción y de servicios causada por fenómenos meteorológicos extremos y la alteración de las características climáticas (incluyendo centrales hidroeléctricas, activos industriales y de producción ubicados en las costas y la producción agrícola), resultando en menor financiamiento disponible para invertir en proyectos de restauración y ampliación
- Daños causados por fenómenos meteorológicos extremos, lo que hará necesario invertir en obras de reparación, en vez de invertir fondos acumulados en la expansión de la capacidad productiva
- Pérdida de funcionalidad de obras de infraestructura, entre ellas, los sistemas de suministro de agua que dependen de la escorrentía de glaciares, obras de infraestructura urbana o turística amenazadas por el alza del nivel del mar y otros impactos que harán necesario invertir en sistemas nuevos

Con respecto al capital natural, cabe esperar lo siguiente:

- Los productores que se beneficiaban de funciones perdidas de los ecosistemas tendrán que invertir en otras fuentes para poder mantener su producción y servicios
- Puede que no sea necesario invertir en lo inmediato en la reposición de otras funciones de los ecosistemas, especialmente aquellas vinculadas a la pérdida de biodiversidad, pero obviamente va a traer consigo el empobrecimiento biológico de las áreas afectadas
- De mayor gravedad es que, si se producen cambios de gran escala (como una posible extinción paulatina de especies en la Amazonía), probablemente afectará el potencial de desarrollo de la región y puede poner en marcha ajustes económicos de largo plazo a escala mundial

Con respecto al capital humano:

- El aumento de los problemas de salud reducirá inmediatamente la capacidad productiva e implicará costos adicionales para el sistema nacional de salud

En cuarto lugar, los efectos del cambio climático se acumulan a través del tiempo. Daños que actualmente están ocurriendo se irán agravando conforme los fenómenos meteorológicos extremos se vayan haciendo más frecuentes o intensos y a medida de que se vayan produciendo cambios más graduales, como el aumento de temperatura. Las respuestas a esos impactos serán una exigencia adicional permanente para una inversión ya de por sí insuficiente en obras de infraestructura.

El presente es un análisis simplificado en términos macroeconómicos. Se basa en un escenario en el que no hay adaptación alguna, lo que evidentemente no será el caso. Las personas, hogares, entidades económicas y demás actividades se irán ajustando a los cambios climáticos y a las pérdidas continuas. Pero la adaptación no planificada y el aprendizaje a partir de pérdidas siguen siendo costosos y podrían evitarse mediante programas de adaptación y medidas que permitan aumentar la resiliencia.

No obstante, en cualquier escenario plausible, los activos naturales de la región se verán afectados. Incluso si se toman medidas de mitigación firmes y se ponen en práctica iniciativas de adaptación, los glaciares ubicados por debajo de los 5.000 metros de altitud en los Andes tropicales van a desaparecer, el bioma coralino se verá gravemente afectado, los ecosistemas montañosos de clima frío se reducirán, los humedales costeros y lagunas de agua dulce ubicadas en las costas quedarán inundadas y es probable que la selva lluviosa amazónica sufra cierta medida de conversión en sabana. Aunque estos efectos ya son discernibles, las mayores repercusiones las experimentarán las generaciones venideras, cuya valía no se debe dar por descontada.

Si no se toman medidas de mitigación drásticas y rápidas, estas pérdidas van a aumentar, probablemente se llegue a puntos de cambio irreversible, y se acelere la tasa de extinciones y de cambio en los ecosistemas bajo riesgo. Como consecuencia de ello, los daños económicos aumentarán muy por encima de lo que se puede calcular actualmente. Además, se producirá un empobrecimiento irreversible aún mayor de la biósfera. Es imposible cuantificar el valor de tales pérdidas en términos económicos.

La necesidad de una mejor comprensión de las consecuencias del cambio climático en la región está llevando a la identificación de zonas críticas bio-climáticas. Estos ecosistemas están experimentando cambios rápidos y están mostrando daños irreversibles que, a su vez, se pueden traducir en cuantiosas pérdidas de capital natural y económico. Las zonas críticas que se han propuesto en la región se muestran en el Cuadro 1.3.

Cuadro 1.2 Daños anuales estimados causados por algunos importantes impactos físicos al 2050

Impacto	Área	Costos anuales proyectados* (miles de millones de US\$ del 2005)	Costos acumulados proyectados	Fuente
	ALC	26–44		Fernandes et al. 2012 ^a
Aumento del nivel del mar (1 m)	ALC	22		Dasgupta et al. 2007 ^b
Blanqueo coralino	El Caribe	8–11		Vergara et al. 2009 ^c
Intensificación y aumento de la frecuencia de eventos meteorológicos extremos	CARICOM	5		Toba 2009 ^d
	Golfo de México, Centroamérica y el Caribe		110–149 para 2021–2025	Curry et al. 2009 ^e
Salud (aumento en incidencia de diarrea y desnutrición)	ALC	1		Ebi 2008 ^f
Extinción paulatina de especies en la Amazonía	América Latina	4–8		Estimaciones de los autores ^g
Reducción acelerada del tamaño de glaciares	Perú	1		Vergara et al. 2007 ^h
Pérdida de servicios ecosistémicos	América Latina		36	Estimaciones de los autores ⁱ
Generación hidroeléctrica	Brasil	18		Estimaciones de los autores ^j
<i>Total estimado</i> <i>(% del PIB de ALC)**</i>		<i>85–110</i> <i>(1,8–2,4)</i>		

* El total reportado debe considerarse como un rango y un estimado conservador, con las siguientes advertencias: a) las estimaciones se toman de diferentes estudios que aplican diversas metodologías, supuestos e incertidumbres; b) muchos costos son parciales y otros son difíciles de estimar, y c) no se toman en cuenta costos no monetarios. Se usa el Índice de Precios al Consumidor (IPC) para convertir los costos a dólares estadounidenses del 2005 (Bureau of Labor Statistics). En aquellos casos en los cuales no se dispone de información, se considera que los costos son reportados en términos de dólares del año de publicación.

** PIB de 2010 en términos de dólares del 2005.

^a Pérdida proyectada en los ingresos netos por exportaciones en 2050.

^b Impacto observado en el PIB cuando se alcanza un aumento del nivel del mar de 1 metro.

^c Cálculo estimado derivado de la pérdida de 90% de la cubierta coralina, escenario IE-EE A1B. Incluye pérdidas en protección de costas, pesquerías, turismo y bioquímicos.

^d Se incluyen los impactos de los “desastres climáticos” (inundaciones, sequías y tormentas) sobre producción agrícola, salud humana, turismo, gobierno y pérdida de PIB.

^e En dólares estadounidenses del 2007. Los costos proyectados corresponden a ciclones tropicales durante el período 2020–2025, escenario A1 (rango inferior) y escenario B2 (rango superior).

^f Costos proyectados en 2030 en un escenario que asume la estabilización de emisiones en 550 ppm de CO₂ para 2170. Supone que el número de casos y los costos de atención se mantendrán constantes.

^g El costo proyectado en 2100 incluye servicios ecosistémicos en términos de almacenamiento y secuestro de carbono, productividad agrícola, generación hidroeléctrica, silvicultura sostenible, menor sedimentación en embalses de plantas hidroeléctricas, poblaciones de peces comercialmente viables, estilo de vida de subsistencia y mejoramiento de la calidad de vida. Los datos sobre los costos anteriores se obtuvieron de TEEB (2010), mientras que información sobre la extinción paulatina del Amazonas se obtuvo de Vergara y Scholz (2011). Estos autores anticipan que el cambio climático causará una reducción de una tercera parte del bioma de la selva lluviosa al 2100.

^h Costo incremental para el sector eléctrico basado en costos de racionamiento.

ⁱ El impacto económico presupone una duplicación del CO₂. El costo se estima en dólares del 2000.

^j Valor estimado basado en la disminución de la generación hidroeléctrica firme en 2035 en el escenario B2 calculada por Lucena, Schaeffer y Szklo (2010), datos sobre generación hidroeléctrica reportados por el Operador Nacional del Sistema Eléctrico Brasileño (ONS) y costos de racionamiento obtenidos de Maurer et al. (2005).

Cuadro 1.3 Algunos lugares bioclimáticamente críticos en América Latina y el Caribe

Situación climática crítica	Efecto directo	Inminencia	Irreversibilidad	Impactos sobre el capital natural	Consecuencias económicas
Bioma coralino del Caribe	Blanqueamiento y mortandad masiva de corales	Inmediata	Una vez que las temperaturas sobrepasen el umbral de tolerancia térmica, puede producirse el colapso de la población coralina del Caribe	Colapso total de ecosistemas y extinción amplia de especies asociadas	Impactos en pesquerías y el turismo, así como una mayor vulnerabilidad de áreas costeras
Ecosistemas montanos de los Andes	Calentamiento	Inmediata	La expansión térmica de los hábitats montanos causará aumentos importantes de temperatura, lo que llevará a grandes cambios unidimensionales de la ecología montana	Desaparición de glaciares, lo que secará los humedales de montaña, y extinción de especies endémicas de clima frío	Impactos en el suministro de agua y electricidad, desplazamiento de la agricultura actual y cambios en los hábitos de siembra (con diversos impactos según el lugar, régimen estacional y la capacidad de adaptación)
Humedales costeros	Subsidencia y salinización de acuíferos, aumento de la exposición a clima extremo, reducción de manglares costeros	Este siglo	El aumento irreversible del nivel del mar sumergirá los humedales costeros y por lo tanto afectará su ecología	Desaparición de humedales costeros, así como desplazamiento y extinción de especies locales y migratorias	Impactos en infraestructura costera, pesquería y agricultura
Cuenca amazónica	Extinción paulatina de especies	Este siglo	Si disminuyen las lluvias en la cuenca, también disminuirán las densidades de la biomasa	Cambio drástico en el ecosistema que puede llevar a la formación de sabanas y la alteración de muchas especies endémicas de la selva lluviosa amazónica	Impactos globales en biodiversidad y patrones de circulación de agua; regionalmente en agricultura, así como suministro de agua y electricidad

Fuente: Preparado por los autores a partir de la adaptación de datos de Vergara (2009).

Respuesta de adaptación

A grandes rasgos, la adaptación se define como un ajuste de las actividades humanas o de los ecosistemas a condiciones climáticas nuevas¹⁹. Comprende cambios de conductas, procesos, prácticas y estructuras, bien sea en forma de medidas preventivas o de respuestas a hechos ya ocurridos dirigidos a compensar daños potenciales o aprovechar cambios climáticos (IPCC, 2001 y 2007b; Banco Mundial, 2010). Dados los impactos físicos que inevitablemente producirá el cambio climático y la magnitud potencial de los costos asociados, la región debe organizar una iniciativa de adaptación a gran escala.

Respuesta de adaptación a los impactos físicos

La práctica de la adaptación está evolucionando. Todavía no es posible compilar una lista exhaustiva de las posibles medidas de respuesta a los impactos en la región. No obstante, los datos de que se dispone indican en general que ya existe una amplia cartera de medidas (Cuadro 1.4). Las medidas de adaptación están a prueba en muchos lugares y parte de los fondos que se están usando provienen de varios mecanismos de financiamiento vinculados con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y más recientemente el Fondo de Adaptación (FA). Además, es probable que haya muchas respuestas de adaptación a nivel local que no están debidamente contabilizadas.

A la fecha, la mayoría de las inversiones en adaptación se concentran en actividades agrícolas, recursos hídricos, zonas costeras, biodiversidad y salud. Los costos de algunas de esas medidas, como los métodos y procedimientos de gestión agrícola más idóneos o los ajustes estacionales de la combinación de cultivos, son muy bajos (Agrawala y Fankhauser, 2008). En otras áreas, como la protección de zonas y activos costeros, se necesitan inversiones cuantiosas.

Inversiones recientes en adaptación en la región

En general, las inversiones en adaptación que se han hecho en la región han tenido lugar en el contexto de programas con fondos externos patrocinados por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) y otros programas bilaterales. El Caribe ha sido el área de enfoque de varios proyectos de adaptación financiados por el FMAM bajo el Programa Facilitador y Prioridad Estratégica sobre la Adaptación (PSA). Desde 1998 se han puesto en marcha tres proyectos de adaptación, con un presupuesto estimado global de US\$40 millones. Además, en la región tropical de los Andes, el FMAM ha financiado respuestas específicas de adaptación y sistemas de monitoreo en cuencas glaciares de Bolivia, Ecuador, Perú y Colombia. En México, un proyecto aprobado en 2009 se concentra en el desarrollo de medidas de adaptación en humedales costeros del Golfo de México. El proyecto se concentra en el concepto de adaptación basada en ecosistemas (ABE) y utiliza la recuperación y el fortalecimiento de humedales, manglares y médanos costeros, como estrategia básica de adaptación dirigida a proteger asentamientos e infraestructura costeros.

Adaptación basada en ecosistemas

Los enfoques de adaptación basada en ecosistemas son una opción prometedora para la adaptación sostenible y eficiente al cambio climático. ABE es “el uso de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas para ayudar a la gente a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático” (Andrade et al., 2011). El uso de ABE en la región ya se ha venido explorando, en el marco del

¹⁹ A menos que se especifique en el texto principal, los costos y medidas de adaptación mencionados se remiten en general a las condiciones proyectadas en el escenario A1B y a una anomalía de 2°C.

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) de Colombia, el cual aplica medidas basadas en ecosistemas para mantener el régimen hidrológico de los ecosistemas de páramo en Chingaza. En Belice se han probado otras iniciativas, a través del Centro de Cambio Climático de la Comunidad del Caribe (CCCCC), dirigidas a recuperar las funciones de ecosistemas coralinos afectados por eventos de blanqueamiento. ABE puede ser un instrumento inicial eficaz para abordar los impactos climáticos que afectan a los ecosistemas y servicios que estos proveen.

Cuadro 1.4 Ejemplos de respuestas potenciales a las consecuencias regionales del cambio climático

Agricultura	Subida del nivel del mar y fenómenos extremos en zonas costeras
<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas combinados de cultivos y ganado • Uso más eficiente de agua de riego (cantidad y momento de aplicación) • Monitoreo y pronóstico climático para reducir riesgos de producción • Desarrollo y uso de cultivos resistentes al calor, sequía y exceso de agua • Desarrollo y uso de variedades y especies resistentes a plagas y enfermedades • Programas de crianza y selección de animales • Gestión integrada de plagas y patógenos • Ajuste de fechas de siembra y prácticas agrícolas • Mejoramiento del manejo de tierras • Apertura del comercio de productos agrícolas como protección contra pérdidas regionales • Seguros • Riego 	<ul style="list-style-type: none"> • Planificación y gestión integrada de las costas • Gestión de cuencas costeras • Normas y códigos de construcción • Litorales vivos • Restricciones zonales en las costas • Protección de humedales costeros • Defensas/muros/barreras costeras contra mareas • Reconstrucción de playas y dunas • Desalinización de acuíferos costeros • Sistemas de alarma de inundación • Mejoramiento de drenajes urbanos • Zonificación del uso de la tierra • Reducción del riesgo de desastres basado en la comunidad
Cambios hidrológicos	Reducción acelerada del tamaño de glaciares
<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación de la cubierta del suelo • Conservación del agua y gestión de la demanda • Zonificación del uso de la tierra • Gestión de cuencas hidrográficas • Recolección de agua de lluvia • Técnicas de almacenamiento y conservación de agua • Reducción de pérdidas (control de fugas) • Reciclaje del agua • Riego eficiente • Infraestructura de gestión del agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de embalses de altura • Adopción de variedades tolerantes a la sequía en zonas agrícolas de altura • Medidas de gestión de la demanda • Ampliación y diseño de redes de captación de agua
Exposición a enfermedades tropicales transmitidas por vectores	Biodiversidad y ecosistemas
<ul style="list-style-type: none"> • Medidas profilácticas y sanitarias • Respuesta temprana, vigilancia de enfermedades y sistemas de vigilancia • Prevención de enfermedades transmitidas por el agua • Suministro de agua limpia • Programas de control de vectores • Mejoramiento de la salud pública • Planes de acción para enfrentar contingencias en salud por exceso de calor • Mejoramiento sanitario 	<ul style="list-style-type: none"> • Modificación de límites de parques • Adopción de zonas protegidas y de amortiguamiento • Reducción del uso de servicios de ecosistemas • Prácticas idóneas en el sector de pesquería • Protección de grandes áreas, aumento del tamaño de reservas • Mejoramiento de la conectividad • Aumento y mantenimiento del número de reservas • Aumento y mantenimiento de los sistemas de monitoreo • Planificación de tierras • Prácticas de gestión

Fuente: Preparado por los autores.

Últimamente el FA también ha aprobado proyectos enfocados en la gestión de recursos hídricos, zonas costeras y actividades agrícolas en Jamaica, Honduras y Uruguay, respectivamente, por un monto de US\$10 millones; seguridad alimentaria (en términos de resiliencia al cambio climático) en Ecuador, US\$7,4 millones; reducción de vulnerabilidad a inundaciones y sequías en Nicaragua, US\$5,5 millones; resiliencia climática y manejo de la tierra en Argentina, US\$4,3 millones; obras de infraestructura para la resiliencia climática en El Salvador, US\$5,4 millones; y paisajes productivos resilientes al cambio climático en Guatemala, US\$5,5 millones. En Perú también se han venido desarrollando otras actividades dirigidas a atender los impactos del cambio climático sobre la pesquería.

Además, organizaciones de asistencia de Canadá, Australia e Italia también han contribuido a poner en marcha proyectos de adaptación en ALC. Esas actividades se han concentrado principalmente en mejorar la capacidad para la adaptación, incorporar consideraciones de adaptación en las políticas sectoriales y aplicar medidas específicas de adaptación en zonas costeras y en el suministro de agua. La experiencia obtenida en estos proyectos iniciales se está usando para concebir nuevos enfoques de adaptación financiados por la división del Programa Piloto sobre la Capacidad de Adaptación al Cambio Climático (PPACC) de los Fondos de Inversión en el Clima (FIC). En el marco del PPACC se está preparando un proyecto regional de adaptación así como proyectos nacionales en Jamaica y Haití. El Cuadro 1.5 muestra ejemplos de inversión en proyectos de adaptación recientes en ALC.

El Gobierno de Colombia, partiendo de la base de las recomendaciones contenidas en su Segunda Comunicación Nacional, puso en marcha el ambicioso Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) en 2005. El Plan brinda apoyo a actividades de respuesta a los impactos del calentamiento en hábitats montañosos, insulares y costeros, así como al sector de la salud. Este proyecto, con un presupuesto estimado de alrededor de US\$30 millones, ha dado como resultado la formulación de novedosos enfoques de adaptación en esas regiones y sectores. Además, ha servido de base para la elaboración de proyectos de ley que abordan este tema y ha fortalecido aspectos claves de la capacidad institucional.

Cuadro 1.5 Ejemplos de inversiones recientes en adaptación

Impacto del cambio climático	Medida de adaptación implementada	Sectores/ activos naturales afectados	Países
Reducción acelerada del tamaño de glaciares	Obras civiles para reponer la capacidad de glaciares de almacenar y regular el agua, conservación de ecosistemas de alta montaña como elemento para retener agua	Agricultura	Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia
Cambios pasajeros y espaciales en la precipitación que inciden en la disponibilidad de agua	Lagunas de retención de agua de lluvia, uso de conocimientos ancestrales para maximizar la infiltración del agua y minimizar la escorrentía (atajados), uso de sistemas de riego eficientes	Agricultura, ganadería, ecosistemas	Centroamérica y Sudamérica
Alza del nivel del mar y salinización de acuíferos	Planes integrados de gestión de zonas costeras, áreas inundables y recuperación de ecosistemas costeros	Agricultura, ecosistemas	Países caribeños y países con áreas costeras

Aumento de la variabilidad e incertidumbre del rendimiento de las pesquerías	Diversificación económica, aplicación del enfoque basado en ecosistemas a la pesquería	Pesquerías, ecosistemas costeros marinos	Perú, Chile, el Caribe
Cambios en la distribución de pesquerías	Monitoreo bio-oceanográfico y modelación ecológica para predecir cambios de la disponibilidad de recursos. Evaluaciones de riesgos ecológicos de especies importantes para su gestión adaptativa integrada	Pesquerías	Perú, Chile
Aumento de los extremos climáticos (precipitación, inundaciones, mareas de tempestad)	Mejor monitoreo climático y oceanográfico y despliegue de mecanismos de alarma temprana. Uso de escenarios de impactos del cambio climático para la adaptación basada en ecosistemas, zonificación costera-marina y planificación de infraestructura	Agricultura, asentamientos costeros bajos	México, el Caribe
Cambios de la distribución espacial de enfermedades transmitidas por vectores, como el paludismo y el dengue	Mecanismos de alarma temprana y de monitoreo dinámico	Salud humana	Colombia

Fuente: Preparado por los autores.

Costo global de la adaptación

Existen diversos cálculos del costo global de adaptación a una anomalía de 2°C para ALC (Cuadro 1.6). Por ejemplo, el Banco Mundial (2010) estima que los costos anuales de adaptación para la región serán de US\$16.800 millones a US\$21.500 millones en 2050, mientras que Agrawala et al. (2010) calculan que los costos de adaptación serán de aproximadamente US\$28.000 millones para 2050. Estas estimaciones tienen limitaciones e incertidumbres importantes y son difíciles de comparar porque parten de metodologías, sectores, plazos, regiones geográficas, escalas y definiciones e hipótesis de adaptación distintos (Agrawala y Fankhauser, 2008; Stern, 2007). Además, toman en cuenta apenas una fracción de los gastos globales.

No obstante, un resultado en el que coinciden esos estudios es que los costos de adaptación son de un orden de magnitud menor que los daños estimados. Por lo tanto, invertir en adaptación puede contribuir a reducir los costos asociados con los impactos físicos del cambio climático y poner de manifiesto la importancia de adoptar iniciativas de adaptación. El costo de la adaptación representa una fracción minúscula del costo de los impactos físicos. Algunos impactos son difíciles de calcular y no se incluyeron. Por consiguiente, las estimaciones de costos que se presentan en este informe deben considerarse moderadas.

Cuadro 1.6 Cálculos estimados del costo de adaptación para América Latina y el Caribe (miles de millones de US\$)

CMCC 2007		Banco Mundial 2010			Agrawala et al. 2010 AD-WITCH	
Escenario	B1-A1B	Escenario	NCAR	CSIRO	Escenario	Duplicación del CO ₂
Año	2030	Año	2050	2050	Año	2105
		Agricultura	1,20	1,30	Agua en agricultura (riego)	4,30
		Pesquería	0,18–0,35	0,18–0,35	--	--
Suministro de agua	23,00	Suministro de agua	5,50	3,20	Costos de infraestructura de agua en otros países vulnerables	1,80
Zonas costeras	0,57–0,68	Zonas costeras	11,70 ¹	11,70 ¹	Costos de protección de costas	7,75
		Fenómenos meteorológicos extremos	1,30	0,70	Sistemas de alerta temprana	5,00
					Inversión en asentamientos resilientes al clima	5,90
Infraestructura	0,40–1,72	Infraestructura	3,50	1,70	Gasto en enfriamiento	2,00
		Salud humana	0,00	0,00	Costos de tratamiento de enfermedades	5,72
					Investigación y desarrollo en adaptación	0,07
		Total	21,50	16,80	Total	27,70

Fuente: Cálculos estimados de los autores basados en CMCC (2007), Banco Mundial (2010) y Agrawala et al. (2010).

Nota: NCAR (Centro Nacional para la Investigación Atmosférica de EE.UU.), escenario más húmedo. CSIRO (Organización de Investigación Científica e Industrial de la Mancomunidad), escenario más seco. Escenario de alza media del nivel del mar (28,5 cm sobre los niveles de 1990 en 2050). Los valores de CMCC (2007) se refieren únicamente a América Latina.

Una anomalía de cuatro grados

Los costos de los efectos físicos y los cálculos estimados de las necesidades de adaptación corresponden en general a una trayectoria acorde a una anomalía de 2°C de la temperatura media del planeta. Pero es probable que no se tomen medidas a tiempo para mantener esta trayectoria. De ser así, es posible que los efectos físicos aumenten y que las iniciativas de adaptación se encarezcan también.

Un aumento de la temperatura media de 4°C pondría considerable estrés en la naturaleza. El ritmo del cambio que se anticipa para el próximo siglo sería sin precedentes. Aun así, ante la perspectiva de no emprender el camino de reducir drásticamente las emisiones, se trata de una posibilidad que no puede descartarse. Como están las cosas hoy día, la trayectoria real de las emisiones es más próxima al escenario A1F1, de un crecimiento dependiente del uso intensivo de combustibles fósiles y otros recursos, que de mantenerse tal cual sobrepasaría una anomalía térmica durante este siglo acorde con una concentración de 800 ppm de CO₂ en la atmósfera.

En semejante futuro, los impactos descritos en este capítulo se intensificarán en la mayoría de los casos. Por ejemplo, es probable que el inicio y la magnitud de la mortalidad coralina sean más drásticos. Aumentará la rapidez del alza del nivel del mar y de la reducción del tamaño de los glaciares andinos. Habrá una mayor probabilidad de que se produzca una extinción paulatina de especies en la selva lluviosa. Los cambios inducidos en un futuro de 4°C perdurarán por largo tiempo, incluso si se consigue revertir rápidamente las tendencias de las emisiones. Dicho esto, la intensificación de los efectos físicos y la cuantificación de las pérdidas económicas en un escenario de 4°C más están más allá del alcance de este informe.

Capítulo 2

La Huella de Carbono de la Región y Trayectorias de Cambio al 2050

Para evitar que se produzcan daños irreversibles adicionales a la biósfera será necesario limitar las emisiones mundiales anuales a un máximo de 20 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂e) o dos toneladas per cápita (2 tpc) para 2050—y reducir esa cantidad a 10 GtCO₂e (1 tpc) hacia finales del siglo. El logro de esta meta exigirá una desviación considerable de la trayectoria mundial actual de las emisiones. En este capítulo se examina la huella de carbono presente de América Latina y el Caribe (ALC) y se plantean algunas de las vías que puede tomar la región para contribuir al logro de esta meta de estabilización mundial del clima para 2050.

Estructura actual de las emisiones

Se calcula que en 2010 ALC emitió un total de 4,7 GtCO₂e de gases efecto invernadero (GEI) (10,8% del volumen mundial total de emisiones). Esta cifra representa una disminución aproximada de 11% desde comienzos de siglo, principalmente provocada por reducciones en emisiones generadas por cambios en el uso de la tierra y en la intensidad energética²⁰. Dicha disminución se

²⁰ Para los fines de este informe se usó la Herramienta de Indicadores de Análisis Climático (CAIT, por su sigla en inglés), Versión 9.0 (CAIT, 2012) como fuente principal de las cifras de emisiones de la región. Se trata de una de las mejores bases de datos disponibles actualmente e incluye datos tanto de sumideros de carbono como de emisiones de GEI. Aunque datos sobre emisiones históricas provienen de la base de datos CAIT, todas las proyecciones hasta 2020 y 2050 (tanto las de la trayectoria sin cambios como las de las diversas trayectorias de intervención) provienen de la Versión 2.0.rcl de la base de datos de escenarios de evaluación energética mundial (GEA) del Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA). Además, todas las alusiones a emisiones “actuales” (es decir, las cifras correspondientes al año 2010, para las que la base de datos CAIT todavía no incluye información exhaustiva sobre los GEI) también se tomaron de la base de datos de evaluación energética mundial (GEA) para tener la seguridad de mantener la concordancia con las proyecciones de las trayectorias que se presentan en este informe. Los datos históricos de la base de datos CAIT incluyen todos los GEI, entre ellos el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido de nitrógeno (N₂O), fluorocarbonos (PFC), hidrofluorocarbonos (HFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Por el contrario, todos los datos sobre las emisiones actuales y proyectadas, los cuales se tomaron de la GEA del IIASA, comprenden únicamente los tres GEI más importantes: CO₂, CH₄ y N₂O. Para finalizar, datos de CAIT que se usaron en este informe se obtuvieron con anterioridad a la más reciente actualización de ésta (12 de mayo de 2012). Dadas las exigencias propias del proceso editorial y de publicación, no fue posible incorporar en este informe ningún cambio incluido en esta actualización.

²¹ En su serie anual de datos sobre las emisiones históricas, la base de datos CAIT normalmente incluye cifras de emisiones generadas tanto

produjo en un período de vigoroso crecimiento neto (3% anual) del producto interno bruto (PIB) de la región, lo que indica que el crecimiento económico se ha desacoplado en cierta medida de las emisiones de carbono. Desde un punto de vista histórico, la región ha aportado menos de 3,7% de las emisiones acumuladas mundiales de CO₂ generadas por el uso de energía desde 1850²¹.

Emisiones del sector agrícola y del uso de la tierra

En contraste con la situación mundial, la mayor parte de las emisiones de ALC provienen no del uso de energía sino del uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (LULUCF por su sigla en inglés), así como de la agricultura. De hecho, la estructura de las emisiones de ALC es contraria a la estructura a nivel global en 2005: casi dos terceras partes de las emisiones de ALC provinieron de las actividades agrícolas y del uso de la tierra, mientras que poco más de una cuarta parte provino del sector energético (Gráfico 2.1). Esta discrepancia con la situación mundial de las emisiones de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU por su sigla en inglés) se conoce como la “anomalía de las emisiones de ALC”.

Generación de energía eléctrica y transporte

Las emisiones del sector energético han tenido tradicionalmente una importancia secundaria para la región en su conjunto. Aunque las emisiones del sector energético de ALC dieron un salto (50%) entre 1990 y 2005, el volumen de emisiones per cápita en 2005 fue de 2,8 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e), muy por debajo del volumen promedio mundial de 4,4 tpc.

En la subcategoría de energía, la generación de electricidad representó alrededor de 30% del total de emisiones de energía de la región en 2005, mientras que a nivel mundial el sector energético hizo un aporte mucho más alto a las emisiones (44%)²². Además, el sector del transporte representa una parte mucho mayor de la estructura de emisiones del sector energético de ALC (28%) que a nivel mundial (19%). Esta anomalía es producto de la preponderancia de la generación hidroeléctrica en la combinación regional de fuentes de energía eléctrica y el transporte en la composición de la demanda final de energía de ALC.

Intensidad de las emisiones

A medida que las economías en desarrollo de ALC han seguido madurando, la sensibilidad (o “elasticidad”) del crecimiento económico a los niveles de emisiones anuales ha venido disminuyendo en los últimos años. La intensidad de las emisiones de la región bajó de 1.500 tCO₂e por millón de dólares del PIB en 1990 aproximadamente a 1.200 tCO₂e por millón de dólares del PIB en 2005. La intensidad de las emisiones mundiales también ha disminuido, aunque a un ritmo menos pronunciado y partiendo de una base más baja²³.

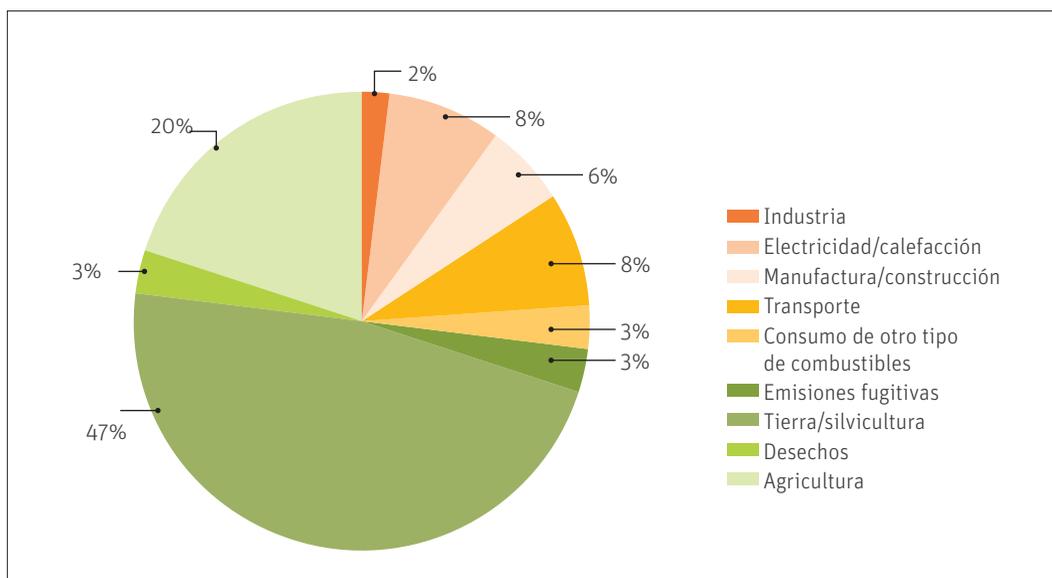
por el sector energético como por el uso de la tierra. Sin embargo, los datos de que se dispone sobre las emisiones históricas acumuladas no incluyen las generadas por el uso de la tierra y por ese motivo sólo pueden expresarse en términos de emisiones totales del sector energético acumuladas a través del tiempo.

²² Los aportes por sector que se muestran en el Gráfico 2.1 corresponden a la parte porcentual del total de emisiones de GEI de ALC, mientras que las cifras de los aportes por sector presentadas de los sectores de generación de energía eléctrica y de transporte corresponden a las emisiones de la región dentro de la subcategoría de emisiones del sector energético. Por lo tanto, aunque el transporte —por ejemplo— representa 8% del total de emisiones de la región, como se puede ver en el Gráfico 2.1, este sector representa 29% de las emisiones del sector energético de ALC (el cual representa sólo el 28% del total de emisiones de GEI de ALC).

²³ La relativa alta intensidad de emisiones de ALC se ha vinculado con las considerables emisiones de la región generadas por el uso de la tierra. Sin embargo, si se descuentan estas emisiones, la situación cambia drásticamente. La intensidad de las emisiones de ALC no provenientes de LULUCF ha sido más baja que las del mundo en general por mucho tiempo (las cuales se han mantenido más o menos constantes en 625–650 tCO₂e/millón de dólares del PIB desde 1990 hasta 2005, mientras que a nivel mundial las cifras correspondientes son 825 tCO₂e/millón de dólares en 1990 y aproximadamente 650 tCO₂e/millón de dólares en 2005).

²⁴ Véase en la nota al pie de página número 27 una exposición más detallada sobre la posibilidad de que la reciente reducción de las emisiones generadas por el uso de la tierra de Brasil pueda resultar en que el aporte del sector del uso de la tierra al total de emisiones de ALC se haya reducido de 47% (según los datos de la CAIT mostrados anteriormente en el Gráfico 2.1) a menos de 35% en 2010 (según los datos

Gráfico 2.1 Composición Sectorial de Emisiones Totales de Gases de Efecto Invernadero en ALC, 2005²⁴



Fuente: Recopilación de los autores basada en datos del WRI (2012).

Nota: Los aportes por sector representan las partes porcentuales del total de emisiones de GEI de ALC. Por lo tanto, aunque el transporte, por ejemplo, representa ocho por ciento de las emisiones globales de la región, este sector representa 29% de las emisiones generadas por el sector energético de ALC (el cual representa sólo 28% de las emisiones globales de GEI de ALC).

Estructura energética y demanda final

La matriz energética primaria de ALC en el 2010 incluía más petróleo (42%), energía hidroeléctrica (21%) y biomasa (13,5%) que la combinación media mundial (32%, 6,7% y 8,7%, respectivamente). Al mismo tiempo, la matriz de esta región incluía mucho menos carbón (4,7% vs. 27%) y energía nuclear (0,8% vs. 5,6%) respecto al nivel mundial. Además, el aporte de energía geotérmica, solar y eólica es muy pequeño²⁵.

La demanda final de energía de ALC también se diferencia del promedio mundial. A pesar de que las emisiones per cápita de ALC han sido históricamente mayores que las emisiones mundiales per cápita, la demanda final de energía per cápita de ALC (39 gigajulios) es menor que el promedio mundial (49 GJ). De manera que la demanda energética per cápita no sólo es baja en comparación con los niveles mundiales, sino que también es considerablemente más baja en cuanto a las emisiones asociadas de GEI.

Tendencias recientes

El predominio de AFOLU en la estructura de emisiones de ALC está cambiando. La evidencia indica bajas en el ritmo de la deforestación en la región en los últimos años, que ha disminuido en 67% en la Amazonía brasileña desde 2004 y en una tercera parte en Centroamérica desde mediados de la década del 90 (INPE, 2010; Kaimowitz, 2008 y Hecht, 2012). De mantenerse, estas tendencias

de la base de datos GEA del IIASA que se muestran en el Gráfico 2.3).

²⁵ Las cifras de ALC y de la composición de la matriz energética primaria mundial fueron tomadas de estimados para el 2010 de la base de datos por escenarios GEA del IIASA (véase el Apéndice 2) usando el método de sustitución. Estas estimaciones son proyecciones de series de datos históricos provenientes de la Agencia Internacional de la Energía (AIE).

²⁶ Véase en la siguiente nota al pie de página una exposición más detenida de la posibilidad de que la reciente reducción de las emisiones generadas por el uso de la tierra en Brasil pueda haber hecho disminuir su aporte relativo al total de emisiones de ALC por debajo de 50%.

auguran una importante y duradera reducción de las emisiones generadas por el uso de la tierra.

Emisiones per cápita

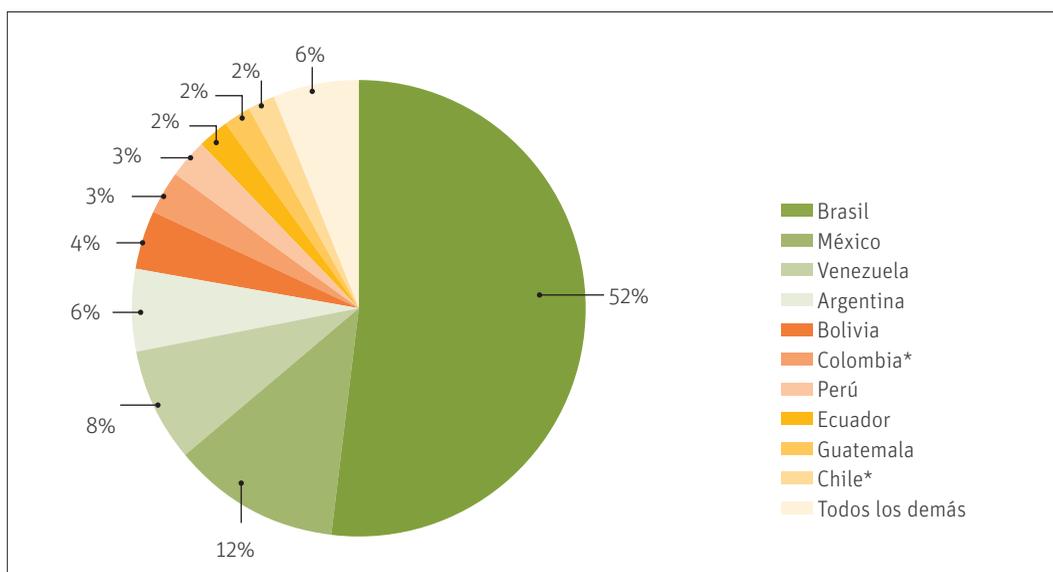
El total de emisiones per cápita de ALC disminuyó de 10,4 toneladas (WRI, 2012) en 1990 a 8,1 toneladas (IIASA GEA) en 2010, gracias a la reducción de las emisiones generadas por el uso de la tierra y las mejoras de la eficiencia energética. Según las cifras de GEA, las cuales no parecen haber considerado la reciente disminución de emisiones generadas por la deforestación, el total de emisiones per cápita de la región fue de 8,5 toneladas en 2005 y de 8,1 toneladas en 2010.

Esta tendencia reciente podría revertirse a causa de un crecimiento en las tasas de deforestación o de aumento en las emisiones generadas por el sector energético. De hecho, las emisiones per cápita del sector energético de la región subieron de 2,3 toneladas en 1990 a 2,8 toneladas en 2005 y se proyecta que este incremento continuará en la trayectoria del escenario BAU. En consecuencia, todavía puede darse el caso de que las emisiones proyectadas del sector energético de ALC anulen la reducción de emisiones generadas por el uso de la tierra.

Emisiones por país

Si bien la mayoría de los países latinoamericanos son pequeños generadores de GEI (con emisiones muy por debajo de 1% del total mundial), la región abarca varios grandes emisores de carbono: países con elevados niveles de deforestación, países con economías basadas en el uso intensivo de carbono y países que se encuentran en una fase de transición inducida por diversos cambios estructurales. El Gráfico 2.2 muestra aportes relativos a la estructura regional de emisiones por parte de los principales países²⁶. El Apéndice 3 presenta a nivel país datos sobre la intensidad de los GEI y emisiones per cápita.

Gráfico 2.2 Contribución por País a las Emisiones Totales de ALC, 2005 (%)



²⁷ En los últimos años, Brasil ha experimentado una disminución considerable del ritmo de la deforestación y, cabe suponer, de las emisiones generadas por el uso de la tierra. Este aparente cambio en Brasil todavía no ha sido captado del todo en las bases de datos internacionales, como la CAIT, la cual se usa como punto de referencia en todo el mundo. No obstante, las cifras de la región de ALC que se usan en la base de datos por escenarios GEA del IIASA, que es el punto de referencia de las proyecciones a futuro de este estudio, ya incorporan

Fuente: Elaboración de los autores basada en datos de WRI (2012).

* Estos casos no incluyen las emisiones generadas por el uso de la tierra.

Brasil fue la mayor fuente de emisiones de ALC en 2005 (con 52%), seguido por México (12%), Venezuela (8%) y Argentina (7%) (WRI, 2012)²⁷. De hecho, la región de ALC es importante a nivel mundial en términos de emisiones de GEI debido únicamente a Brasil, país al que se atribuye una tercera parte de las emisiones globales generadas por el uso de la tierra, y México. No obstante, la probabilidad de alcanzar cualquier meta regional de emisiones per cápita para el 2050 aumenta considerablemente si los países pequeños y medianos de ALC siguen la pauta de Brasil y México e implementan iniciativas propias de mitigación.

Emisiones proyectadas: escenario sin cambios

Las características particulares de la anomalía de las emisiones de ALC —un pequeño aporte histórico y actual a las emisiones mundiales y la concentración de sus emisiones en los sectores AFOLU— a menudo lleva a los analistas a concluir que las iniciativas de mitigación necesarias para reducir de una manera significativa la curva de emisiones de la región son sencillamente innecesarias y demasiado costosas.

Pero aunque las emisiones generadas por el uso de la tierra han disminuido recientemente, el crecimiento económico sostenible está impulsando un aumento de las emisiones del sector energético de la región, especialmente las provenientes de los sectores de generación de energía eléctrica y transporte. Las emisiones del sector energético no tardarán en competir con las emisiones generadas por el sector AFOLU en el marco de la estructura de emisiones de la región (véase más adelante el análisis de la trayectoria BAU de ALC). Además, la región es hoy en día un importante proveedor de alimentos y otros recursos naturales, lo cual, de mantenerse, puede hacer aumentar su huella de carbono.

Trayectoria BAU

Aunque todavía no ha sido posible concretar un acuerdo internacional dirigido a reducir las emisiones de GEI, la tendencia actual de las emisiones se dirige hacia un futuro que debe evitarse. La mayoría de los análisis se basan en el supuesto de que se tomarán medidas a tiempo para evitar efectos peligrosos. Sin embargo, cada vez hay una mayor preocupación de que se rebasará el nivel de resguardo de un aumento de dos grados centígrados (2°C) de la temperatura media, lo que tendrá implicaciones graves para la biósfera del planeta²⁸.

Para los fines de este estudio se usa el modelo “contrafáctico” GEA (IIASA, base de datos GEA Message Pathways v.2.0 rc1)²⁹ como el escenario BAU en 2050. Aunque los escenarios de emisio-

esta disminución aparente de las emisiones causadas por el uso de la tierra. El nivel de emisiones que usa el modelo GEA para su año de partida (2005) es más bajo que el indicado por la CAIT, que aparentemente ya incorpora esta disminución. Lo más probable es que las discrepancias que a menudo se encuentran entre distintas fuentes internacionales con respecto a los datos de las emisiones de ALC de los últimos 10 años se atribuyan a esta disminución reciente de las emisiones generadas por el uso de la tierra en Brasil. A partir de las cifras del GEA del IIASA sobre emisiones generadas por el uso de la tierra se reduce la participación de esta categoría en el total de emisiones de ALC de 47%, según los datos de la CAIT que se muestran en el Gráfico 2.1, a menos de 3,5%. Esta reducción puede implicar que el total de emisiones de GEI de Brasil en 2010 puede haber sido de apenas 45% del total de emisiones de ALC (en vez de 52%, como se desprende de los datos de la CAIT correspondientes a 2005 que se muestran en el Gráfico 2.2).

²⁸ Un análisis de las consecuencias de un mundo mucho más cálido en este siglo está más allá del ámbito de este documento, pero estas consecuencias están siendo consideradas en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC.

²⁹ El Apéndice 2 contiene una descripción completa de este escenario.

³⁰ Actualmente, la estructura de fuentes de energía primaria de ALC es de aproximadamente 35% de “bajo carbono” y 53% de “menos carbono” (muy por encima del 22% y 41%, respectivamente, del mundo en general). En 2050, las proporciones de “bajo carbono” y “menos carbono” de ALC serán de 40% y 65%, respectivamente, (muy por encima del 21% y 40%, respectivamente, del mundo en general). La denominación “bajo carbono” abarca la generación hidroeléctrica, energía nuclear y fuentes renovables modernas (entre ellas, la energía geotérmica, solar y eólica, así como otras fuentes de energía renovable). La denominación “menos carbono” también incluiría el gas natu-

nes BAU existentes son innumerables y variados, el enfoque integrado del IIASA se basa en una cantidad de bases de datos exhaustivas y ofrece el único conjunto de proyecciones de emisiones totales que incluye emisiones generadas en ALC en su conjunto tanto por el sector energético como el uso de la tierra. Esta trayectoria BAU también es acorde con la visión global sobre la evolución esperada de las emisiones a través del tiempo.

En el Cuadro 2.1 se presenta un resumen de los principales determinantes de la estructura del escenario BAU en la región. Incluso sin cambios relevantes de la trayectoria actual de políticas y patrones de comportamiento, en este escenario habrá una disminución paulatina considerable de las emisiones de ALC generadas por el uso de la tierra, mientras que las emisiones generadas por el uso de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica seguirán aumentando. Se anticipa que el mayor crecimiento se producirá en transporte y generación de energía. Estos factores están estrechamente vinculados con el impulso actual de cambio en la región.

Cuadro 2.1 Desglose sectorial de futuros cambios en emisiones bajo BAU y principales factores determinantes, 2010-50 (Gt, %)

Categoría	2010	2050	Variación porcentual	Principales factores determinantes
Trayectoria BAU para ALC	4,73	6,73	+42	
Electricidad	0,24	0,54	+120	Carbonización
Industria	0,33	0,66	+102	Crecimiento económico
Insumos industriales	0,11	0,23	+106	Crecimiento económico
Residencial/comercial	0,18	0,21	+15	Crecimiento económico
Transporte	0,56	1,20	+116	Motorización, urbanización
Uso de la tierra	1,60	0,67	-59	Reducción de la deforestación
CO ₂ total	3,30	4,56	+38	Demanda energética
CH ₄	1,00	1,50	+48	Ganadería, agricultura
N ₂ O	0,34	0,63	+67	Uso de fertilizantes

Fuente: Versión 2.0.rc1 de la base de datos por escenarios GEA del IIASA y cálculos de los autores.

Por ejemplo, aunque el sector energético de ALC es menos contaminante que el de cualquier otra región, el crecimiento económico ha aumentado la demanda de electricidad, sobrecargado la capacidad instalada e impulsado la demanda de una mayor presencia de combustibles fósiles en la matriz energética de la región.

Además, el cambio climático es una amenaza para la confiabilidad futura del sector hidroeléctrico, el cual representa alrededor de 60% de la capacidad instalada y 70% de la generación de energía eléctrica de la región, así como otros activos del sector energético. De hecho, los cambios climáticos y la mayor exposición a fenómenos meteorológicos extremos pueden hacer necesaria la reubicación de refinerías, oleoductos y gasoductos, e infraestructura de transmisión ubicados en las costas.

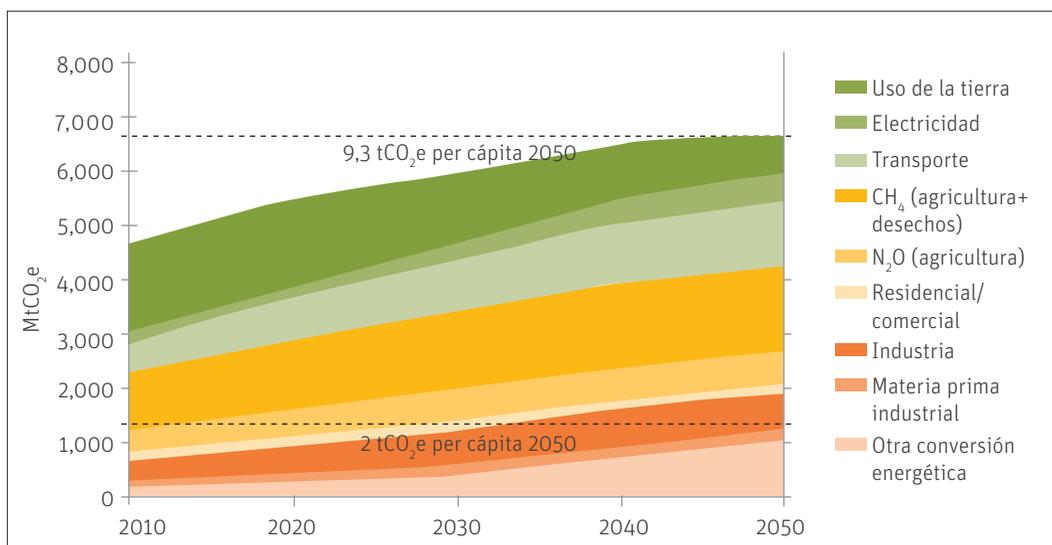
Las variaciones en la demanda provocadas por cambios de temperaturas podrían requerir estructuras diferentes de suministro de energía. De hecho, el calentamiento de zonas tropicales ocasionaría aumentos importantes en las necesidades de aire acondicionado a largo plazo. En un

estudio reciente sobre el tema (Ebinger y Vergara, 2011) se concluyó que muchos aspectos del sector energético pueden ser sumamente vulnerables a los efectos del cambio climático.

Para llegar a satisfacer una demanda de energía eléctrica en rápido crecimiento, la combinación de fuentes de generación está incorporando una parte cada vez mayor de combustibles fósiles, la cual se proyecta que crecerá a un ritmo anual de casi 5% durante el próximo decenio (Riahi et al., 2011). Elevados índices de urbanización y motorización están haciendo aumentar la demanda de gasolina y combustible diesel del sector del transporte. Por su parte, el considerable crecimiento de exportaciones de alimentos ha provocado mayores emisiones en el sector agrícola. El escenario BAU para ALC se presenta en el Gráfico 2.3.

Las reducciones en emisiones proyectadas por el uso de la tierra se verán ensombrecidas por el aumento de emisiones en agricultura, generación de energía eléctrica y transporte. Aunque se espera que el aporte general de la agricultura se mantenga más o menos constante, se anticipa que la participación porcentual de los sectores del transporte y de generación de energía eléctrica aumentará en 50% en el escenario BAU, alcanzando un total de aproximadamente 2 GtCO₂e anuales. De este modo, en el escenario BAU, la región emitirá casi 7 GtCO₂e para el año 2050, cuando las emisiones per cápita de ALC alcanzarán 9,3 tCO₂e. A pesar del considerable aumento proyectado de emisiones del sector energético en el escenario BAU, se espera que a nivel regional ALC mantenga la matriz energética con menor contenido de carbono hasta 2050³⁰.

Gráfico 2.3 Trayectoria Regional de Emisiones por Sector en el Escenario BAU: 2010-2050



Fuente: Versión 2.0.rc1 de la base de datos GEA de IIASA y cálculos de los autores.

ral, que normalmente emite entre el 50% y el 75% del CO₂ emitido por el uso de carbón y petróleo, junto con los combustibles fósiles que usan captación y almacenamiento de carbono (CCS). Aunque hay diversas formas de calcular la estructura de fuentes de energía primaria, este informe se basa en el "método de sustitución", usando cálculos estimados y proyecciones de la base de datos GEA de IIASA.

³¹ Cero deforestación y degradación (ZNDD) –o detener del todo la deforestación, al menos en términos netos al 2020– es probablemente necesario para alcanzar cero emisiones netas de GEI en la categoría un poco más amplia de cero emisiones netas generadas por LULUCF (ZNLUCF en este estudio) en 2030. Esto debido a que: 1) algunas emisiones de LULUCF no provienen del sector forestal y por lo tanto exigen medidas adicionales más allá de ZNDD 2020, y 2) la naturaleza de los procesos biológicos y químicos involucrados, en donde hay cierto desfase entre el momento en que se ejecutan las medidas de mitigación en el sector de uso de la tierra y el tiempo en que se registran sus efectos en términos de reducción neta de emisiones.

Alternativas para alcanzar metas de estabilización en 2050

Reducir la curva de emisiones lo suficiente para llevar los niveles de emisiones per cápita actual (8 t) y el nivel proyectado (9,3 t) de la región a 2 tCO₂e en 2050 exigirá cuantiosas inversiones y cambios importantes de conducta. Para visualizar cómo puede lograrse el cambio, este estudio identificó posibles vías alternativas de emisiones. Esta identificación se facilita mediante un análisis desglosado de diferentes categorías de emisiones, o “áreas potenciales de mitigación”.

Análisis de potencial de mitigación sectorial

En este estudio se reconstruyó la trayectoria de las emisiones BAU hasta 2050 para presentar nueve opciones de “potencial de mitigación sectorial”, las cuales representan la cantidad de emisiones que se pueden reducir entre 2010 y 2050 en cada sector. El propósito de estas opciones no es indicar un determinado nivel de esfuerzo necesario ni la relativa viabilidad política o económica necesaria para lograr la reducción potencial total en determinado sector. No obstante, en cada uno de los sectores que se muestran se pueden aplicar ciertas tecnologías para reducir las emisiones considerablemente.

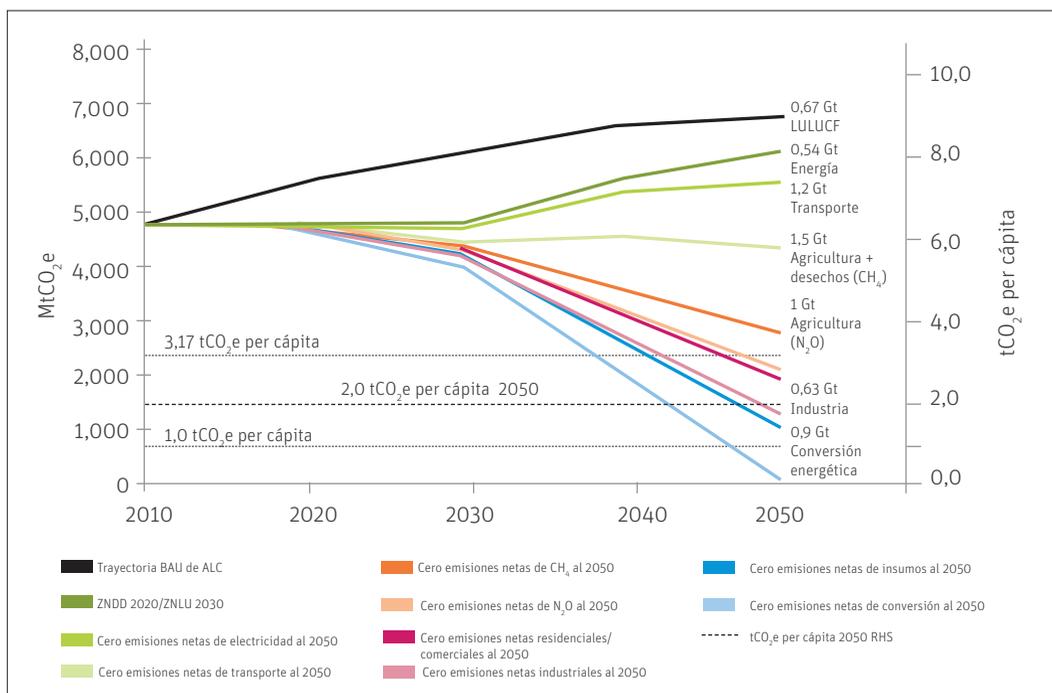
Este análisis demuestra que la eliminación total de las emisiones generadas por el uso de la tierra no es suficiente para alcanzar el objetivo de 2 tpc para 2050. Una estrategia de reducción de emisiones capaz de alcanzar un nivel cero de deforestación y degradación del suelo para 2020 (ZNDD 2020) y un nivel cero de emisiones generadas por el uso de la tierra para 2030 (ZNLU 2030) permitiría reducir las emisiones esperadas bajo el escenario BAU en únicamente 0,67 GtCO₂e. Incluso la implementación de políticas de uso de tierra más firmes, capaces de aumentar los sumideros netos de carbono (en 350 toneladas anuales por década) más allá de 2030 (ZNLU 2030+) hará disminuir las emisiones en 2050 en apenas 1,37 Gt —muy por debajo del nivel previsto en la trayectoria BAU— quedando las emisiones de ALC en 5,4 GtCO₂e.

Un alcance ampliado de cambios en el uso del suelo que incorpore una reducción significativa de emisiones de la actividad agrícola, el llamado enfoque AFOLU, aumentaría sustancialmente el potencial de reducción. No obstante, incluso si ALC consigue eliminar la totalidad de sus emisiones generadas por el uso de la tierra y por la actividad agrícola (2,8 GtCO₂e) para 2050, esta disminución a 3,9 GtCO₂e corresponde a apenas 52% del esfuerzo necesario para alcanzar el objetivo de 2 tpc.

De igual modo, un enfoque que se concentre exclusivamente en el sector energético no va a ser suficiente. En sectores como el del transporte y el de generación de energía eléctrica —caracterizados por dependencias a largo plazo de sus trayectorias y que son por lo tanto vulnerables a estancamientos de infraestructura y tecnología— la transición a un futuro de bajo nivel de carbono debe ser planificada y ejecutada con suficiente antelación. Para que las emisiones alcancen su máximo nivel entre 2020 y 2030, es necesario poner en marcha casi de inmediato reducciones significativas de los GEI generados por el sector energético. Pero incluso si se consigue eliminar completamente todas las emisiones previstas para 2050, la región habrá recorrido apenas 56% del camino que la separa del objetivo de 2 tpc.

Por otro lado, una política sólida sobre el uso de la tierra que consiga aumentar significativamente los sumideros de carbono puede flexibilizar las metas necesarias de reducciones de emisiones en otros sectores y, por lo tanto, ampliar la gama de opciones viables para la futura matriz energética. La combinación de esta política con un enfoque energético centrado en “descarbonizar” las economías de ALC, permitirá alcanzar el objetivo regional de 2 tpc.

Gráfico 2.4 Comparación de la Trayectoria sin Cambio (BAU) con el Potencial de Mitigación Sectorial (excluyendo sumideros netos de carbono): 2020 y 2050



Fuente: Versión 2.0.rc1 de la base de datos GEA de IIASA y elaboración propia.

Nota: a) ZNDD 2020 = Cero deforestación y degradación neta de bosques al 2020, ZNLU 2030 = Cero emisiones netas del uso de la tierra, cambios en el uso de la tierra y silvicultura (LULUCF) al 2030; b) Las emisiones de LULUCF se reducen a la mitad entre 2010 y 2020, y alcanzan el nivel de cero emisiones netas (ZNLU) en 2030, pero posteriormente no se hacen negativas en términos netos. No obstante, en el escenario de intervención básico del presente estudio se asume que la deforestación y degradación neta de bosques se detiene en términos netos al 2020; c) Se asume que las emisiones de todas las demás categorías alcanzan su nivel máximo en 2020, se mantienen sin variación hasta 2030 y luego disminuyen hasta llegar a cero en 2050. De hecho, el nivel máximo puede ocurrir en cualquier momento entre 2020 y 2030, siempre y cuando las emisiones regresen a su nivel de 2020 al 2030, antes de continuar su camino hacia cero; d) En estas opciones de uso de la tierra (ZNDD 2020, ZNLU 2030 no +), la reducción total de emisiones de otros sectores al 2050 llevaría las emisiones de ALC a cero.

Alternativas para la reducción de emisiones

Una serie de opciones se articulan a partir de las áreas potenciales de mitigación (Gráfico 2.4).

Alternativas de cambio en el uso de la tierra

Dentro de las opciones de uso de la tierra se proponen: i) cero deforestación neta y degradación para el 2020 (ZNDD 2020) y ii) cero emisiones netas generadas por el uso del suelo, y cambios en el uso del suelo y silvicultura para 2030 (ZNLU 2030). Para lograr este doble objetivo es preciso reducir las emisiones generadas por el uso de la tierra de 1,9 GtCO₂e en 2010 a cero en 2030³¹.

³² Estas vías concentradas en el sector energético (o de “intervención moderada”) se basan directamente en una serie de vías del modelo GEA del IIASA, con la diferencia de que las reducciones de las emisiones generadas por el uso de la tierra y los costos de las intervenciones correspondientes se han eliminado de las versiones del IIASA, para producir vías de “intervención en el sector energético exclusivamente”. Los autores llegaron a alternativas combinadas (o de “intervención energética”) mezclando, en diversas posibles combinaciones, opciones de intervención en el sector energético exclusivamente con alternativas sobre el uso de la tierra (ZNLU/AFOLU), las últimas elaboradas por los autores (aunque éstas se basan en proyecciones de la base de datos GEA del IIASA sobre gastos financieros necesarios para alcanzar

La opción ZNDD 2020/ZNLU 2030 puede mantener indefinidamente este nivel de cero emisiones netas generadas por el uso de la tierra de 2030 en adelante.

La alternativa ZNDD 2020/ZNLU 2030+ (plus) conseguiría reducir las emisiones netas generadas por el uso de la tierra más allá de 2030 mediante medidas adicionales dirigidas a aumentar los sumideros de carbono hasta alcanzar niveles anuales de emisiones netas negativas generadas por el uso de la tierra equivalentes a 0,7 GtCO₂e en 2050.

AFOLU+ (plus) intensificaría ZNDD 2020/ZNLU 2030+ (plus) con una reducción adicional de 50% en emisiones generadas por el sector agrícola en 2050. Además de prácticas innovadoras de ganadería y cultivo dirigidas a reducir emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O, sería necesario adoptar otras prácticas de conservación y silvicultura dirigidas a disminuir la deforestación y degradación de suelos para que esta alternativa alcance sus objetivos planteados.

Alternativas del sector energético³²

Las opciones en el sector energético pueden reducir las emisiones de la región a un nivel de entre 3,4 tpc (en la versión de “oferta” de las alternativas, según se expone más adelante) y 4,3 tpc (en la versión “eficiente”) en 2050³³. Para lograr lo anterior se requiere:

- Mejoras adicionales en la tasa histórica de reducción en la intensidad energética
- 60-80% de fuentes renovables en la matriz de fuentes primarias de energía
- 75-100% de fuentes de bajo carbono en la matriz de fuentes de energía eléctrica

Todas estas alternativas del sector energético también exigen reducciones reales de los niveles agregados de emisiones a partir de 2020 y que se eviten entre 3,5 y 4,1 GtCO₂e al año en 2050 (véanse el Gráfico 2.5 y el Cuadro 2.2). Además, estas opciones asumen un desarrollo sin presencia de energía nuclear³⁴.

La base de referencia en este caso, alternativa Combinada-I, se caracteriza por: i) una reducción de la demanda final de energía en 2050 aproximadamente a 40% por debajo del nivel del escenario BAU; ii) la electrificación progresiva del sector convencional del transporte actual, que depende de combustibles líquidos, y iii) una cartera completa de fuentes y tecnologías de energía renovable³⁵.

La alternativa Combinada-II es igual que la opción Combinada-I, con la salvedad de que implica que se mantendrá el sistema convencional de transporte actual, basado en combustibles líquidos.

reducciones en emisiones generadas por el uso de la tierra a lo largo de la trayectoria de su modelo). Véase en el Apéndice 2 una explicación más detallada de las trayectorias del modelo GEA del IIASA.

³³ En general, las vías de eficiencia del GEA del IIASA pueden disminuir las emisiones per cápita de la región más lentamente que la alternativa combinada o de oferta, pero con la importante ventaja de requerir menores gastos financieros, dado que la reducción en la demanda final anula la necesidad de grandes gastos en energía que de otro modo se necesitan en el escenario BAU. Entre las opciones de intervención energética, las menos costosas son las que combinan medidas relacionadas con AFOLU con intervenciones de eficiencia energética.

³⁴ Todas las alternativas del sector energía designadas como tipo “I” también incorporan la transformación gradual de los sistemas de transporte convencionales dependientes de combustibles líquidos en sistemas avanzados de transporte eléctrico (con cierto uso de hidrógeno). Por el contrario, las vías designadas como tipo “II” implican el mantenimiento de la situación actual de la infraestructura de transporte dependiente de combustibles líquidos.

³⁵ Esto no necesariamente significa que ALC podrá eliminar completamente la energía nuclear de su matriz regional de fuentes de energía para 2050, sino más bien que no se amplíe la energía nuclear más allá de los bajos niveles actuales.

³⁶ Esto incluye la reducción de emisiones del sector de energía y de transporte, así como cambios en la agricultura, silvicultura y uso de la tierra necesarios para —por ejemplo— asegurar que la región consiga reducir su índice de forzamiento radiactivo en una medida que, de ser igualada en todas partes del planeta, puede mantener los niveles medios de calentamiento mundial dentro de cierta gama posible, como la de 2°C por encima de los niveles preindustriales. Dicho esto, si otras regiones importantes se rezagan, incluso hasta las medidas más heroicas que pueda poner en práctica ALC serán probablemente insuficientes para alcanzar esta meta mundial.

³⁷ Algunas de las otras alternativas Energéticas+ (plus) también pueden alcanzar la meta, pero las versiones de oferta lo lograrían a un costo mucho mayor, en términos de beneficios netos financieros, que las versiones combinadas de la trayectoria. Las versiones de eficiencia de

La alternativa de Eficiencia-I requiere: i) aumento considerable de la eficiencia energética que permita lograr una reducción de 50% de la demanda final de energía para el año 2050 (en comparación con el BAU); ii) desplazamiento del sector convencional del transporte hacia un sistema avanzado de transporte basado en la electricidad, y iii) una combinación de energía y tecnología que incluya la captación y el almacenamiento de carbono (CCS).

Por último, la opción Oferta-I implica: i) una demanda final de energía apenas 23% inferior al nivel del escenario BAU en 2050; ii) un sistema avanzado de transporte dependiente de la electricidad, y iii) la exclusión de la energía nuclear de la estructura de fuentes de energía primaria (lo que exige una implantación aún más considerable de la CCS).

Alternativas “combinadas”

Las alternativas “combinadas” reúnen medidas del sector energético con políticas de uso de la tierra lo suficientemente estrictas como para alcanzar las metas de AFOLU (ZNDD 2020/ZNLU 2030+), consiguiendo así el objetivo de 2 tpc (incluso, en algunos casos, 1 tpc o menos) en 2050. La diferencia principal entre la alternativa relacionada con el sector energético (“moderada”) y la opción Combinada (“enérgica”) es una reducción pronunciada en las emisiones generadas por el uso de la tierra.

El Gráfico 2.5 y el Cuadro 2.2 presentan una síntesis de la medida en que algunas de esas vías cumplen el objetivo de 2 tpc. Para alcanzar este objetivo, ALC claramente necesita aplicar un enfoque “combinado”.

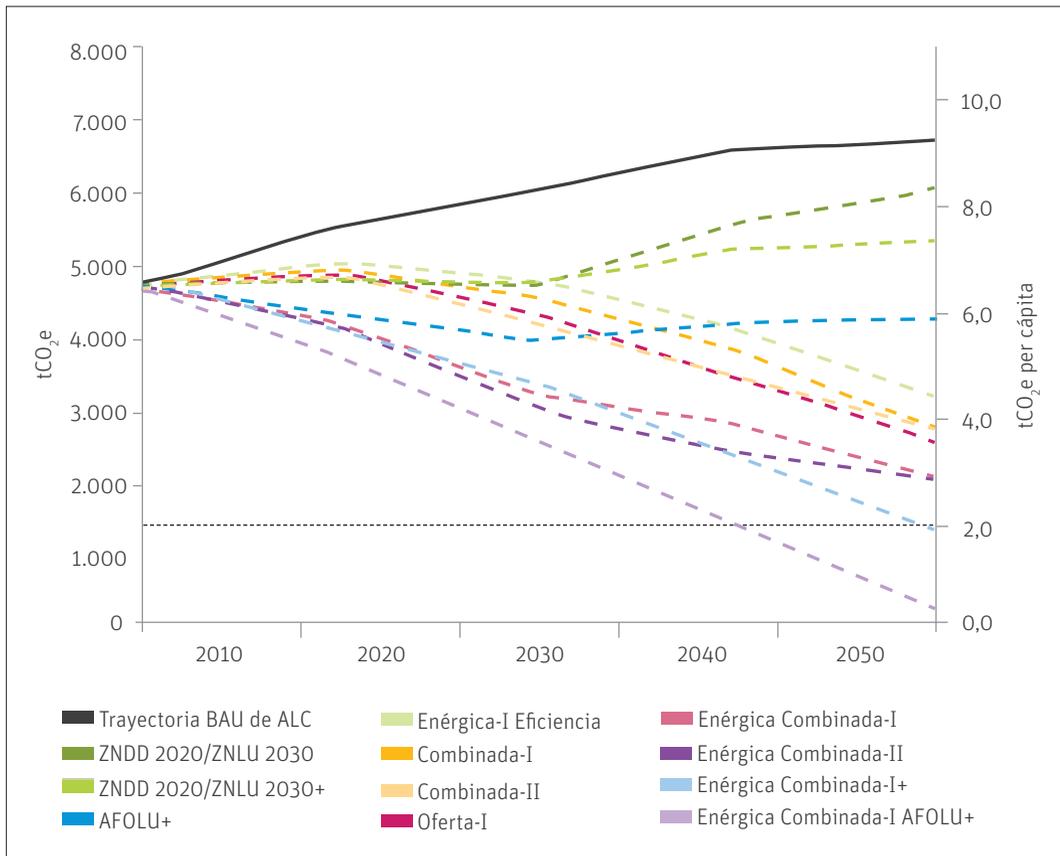
Además, reducciones en emisiones de sustancias contaminantes de corta duración que contribuyen a cambios en el albedo, como el hollín o el carbono negro, pueden ofrecer un beneficio inmediato al demorar la aparición de cambios a nivel local, como la tasa de retroceso en glaciares andinos³⁶.

la vía Enérgica+ (plus) no llegan a alcanzar el objetivo de 2 tpc en 2050, aunque por escaso margen, pero lo hacen a una fracción del costo financiero de las versiones de oferta e incluso de la versión combinada de esta alternativa (véase Cuadro 2.5).

³⁸ Estas medidas costeras de bajo carbono y esfuerzos de mitigación deben estar estrechamente coordinadas con medidas de adaptación para evitar duplicar esfuerzos y aprovechar sinergias potenciales en términos de costos adicionales finales y cobeneficios.

³⁹ Algunas de las 41 alternativas potenciales elaboradas por la base de datos GEA del IIASA para ALC registran efectivamente un leve aumento de los costos financieros globales adicionales netos una vez que se excluye la expansión de la energía nuclear. Pero hay como mínimo otras

Gráfico 2.5 Trayectorias Alternativas de Emisiones 2010-2050



Fuente: Versión 2.0.rc1 de la base de datos GEA de IIASA y elaboración propia.

Cuadro 2.2 Resumen de trayectorias alternativas de emisiones para alcanzar la meta en el 2050

Acciones					
Alternativa	Uso de la tierra	Energía	Otros	Reducción en GtCO ₂ e respecto a BAU	Porcentaje de la meta de 2 tpc (-5,3Gt)
Enfoques basados en cambios del uso de la tierra					
ZNDD 2020/ ZNLU 2030	Cero deforestación neta o degradación al 2020 y cero CO ₂ e neto de LULUCF post 2030	Sin cambios respecto a BAU	Sin cambios respecto a BAU	0,67	13
ZNDD 2020/ ZNLU 2030+	ZNDD 2020 y cero CO ₂ e neto de LULUCF post 2030 con 0,35 Gt negativas anuales netas en 2040 y 0,7 Gt en 2050	Sin cambios respecto a BAU	Sin cambios respecto a BAU	1,37 (incluye el 0,67 de arriba)	26 (incluye el 13% de arriba)
AFOLU+	Igual que ZNDD 2020/ ZNLU 2030+	Sin cambios respecto a BAU	Disminución del 50% en CO ₂ e de la agricultura, comparado con BAU en 2050	2,45	47
Enfoques basados en la energía					
Combinada-I	Sin reducción de emisiones del uso de la tierra respecto a BAU	Mayor eficiencia ^a , 70% de energía primaria ^b de bajo carbono, 97% de generación de bajo carbono y energía nuclear	Electrificación progresiva del sistema de transporte, uso considerable de CCS a largo plazo	3,90	74
Combinada-II	Sin reducción de emisiones del uso de la tierra respecto a BAU	Igual que la opción Combinada-I	Mantenimiento del sistema convencional de transporte; bioenergía y CCS a largo plazo	4,00	75
Enfoques combinados					
Enérgica Combinada-I	Igual que ZNDD 2020/ZNLU 2030	Igual que la opción Combinada-I	Igual que la opción Combinada-I	4,67	88
Enérgica Combinada-I+ (plus)	Igual que ZNDD 2020/ZNLU 2030+	Igual que la opción Combinada-I	Igual que la opción Combinada-I	5,38	102
Enérgica Combinada-I AFOLU+	Igual que AFOLU+	Igual que la opción Combinada-I	Igual que la opción Combinada-I	6,40	121

Fuente: Versión 2.0.rc1 de la base de datos por escenarios GEA de IIAS y cálculos de los autores.

Nota: BAU = Escenario sin cambio. CCS = Almacenamiento y secuestro de carbono.

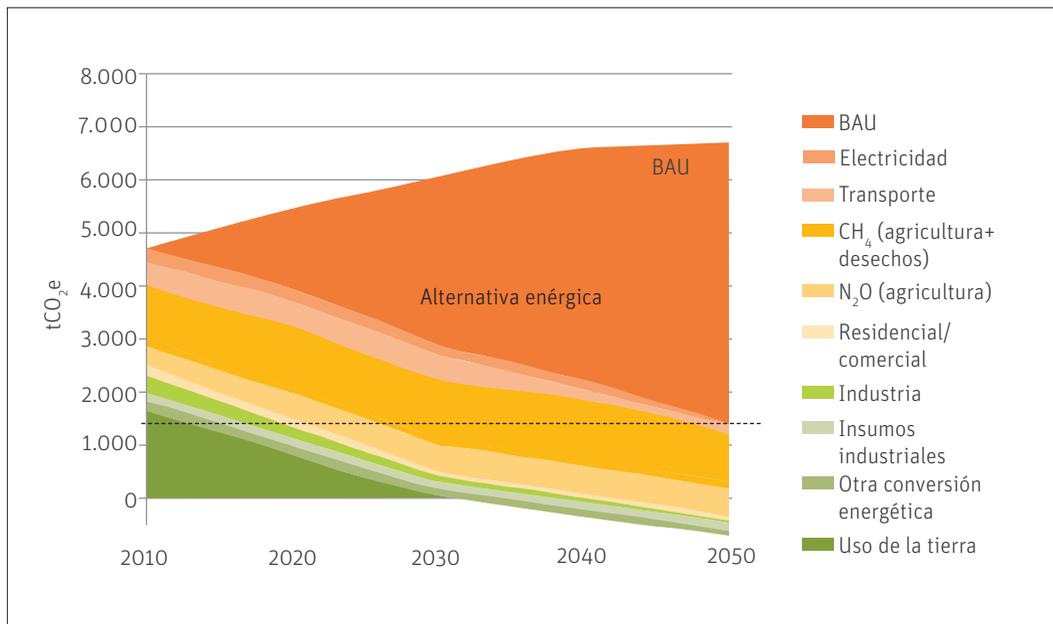
^a La demanda final de energía es casi 40% menor que la demanda prevista en la trayectoria BAU.

^b Esta cifra se compara con el contenido de 36% de bajo carbono en 2010 y el 41% correspondiente en la trayectoria BAU en 2050.

El Cuadro 2.2 indica que, de las alternativas analizadas, la vía Combinada (o “Enérgica”) I+ (plus)

es la que efectivamente cumple la meta para 2050³⁷. El Gráfico 2.6 ilustra la ruta que se asume en la vía Energética-I+. Esta vía incorpora las dificultades relativas propias de las actividades agrícolas, las cuales constituirán una parte importante de la huella de carbono restante en 2050. Todavía así, será preciso abordar esas emisiones para alcanzar nuevas metas de estabilización del clima más allá de 2050.

Gráfico 2.6 Alternativa Energética-I+ 2010-2050



Fuente: Versión 2.0.rc1 de la base de datos GEA de IIASA y elaboración propia.

Entre las principales medidas en la alternativa Combinada-I+ (plus) figuran:

- Medidas energéticas dirigidas a detener la deforestación neta en 2020. Esto conlleva acelerar tendencias recientes que sólo será posible lograr mediante la aplicación de estrictas políticas, medidas regulatorias y de cumplimiento, combinadas con fuertes incentivos económicos. También será necesario tomar medidas rápidas para combatir amenazas nuevas y emergentes, incluyendo daños potenciales que pueden causar las actividades mineras no reguladas en la región amazónica y del piedemonte andino, las cuales pueden anular rápidamente los avances logrados últimamente.
- Cero emisiones netas generadas por el uso de la tierra en 2030, una acumulación neta de sumideros de carbono en 2050 y una reducción de 50% de las emisiones agrícolas, en comparación con la trayectoria BAU. Para esto será necesario además hacer grandes mejoras en las prácticas de silvicultura, planificación del uso de la tierra, agricultura y ganadería (algunas de las cuales todavía no son ampliamente aplicadas). Este esfuerzo puede incluir oportunidades de acrecentar los sumideros de carbono y una campaña importante para recuperar al menos parte de los tres millones de hectáreas de tierras degradadas que hay en la región. Será preciso

tantas opciones capaces de producir una reducción leve de los costos financieros globales adicionales netos anuales. La exclusión de la expansión de la energía nuclear únicamente modifica la ecuación de costos en uno u otro sentido a lo sumo por una magnitud de 10%. La mayor parte de la variación ya se toma en cuenta al combinar (o no) la expansión de la energía nuclear con el requisito tanto de electrificar (o no) el sector del transporte y de alcanzar niveles considerables de bajo uso de carbono en la matriz de generación de energía eléctrica (75-100%). En vista de las incertidumbres que rodean el futuro de la energía nuclear, con sus correspondientes estructuras de costos, es

aplicar prácticas innovadoras de conservación de recursos forestales y de gestión sostenible del uso de la tierra en una escala cada vez mayor. A fin de alcanzar la meta, será necesario que la alternativa Enérgica-I+ incremente los sumideros de carbono en una medida suficiente para alcanzar niveles anuales netos negativos de emisiones de 0,35 GtCO_{2e} en 2040 y de 0,7 GtCO_{2e} en 2050.

- Un esfuerzo dirigido a reducir la demanda final de energía en 40% con respecto al escenario BAU. Esto sólo se podrá lograr mediante mejoramientos considerables en eficiencia energética —es decir, una evolución generalizada hacia una iluminación doméstica a base de dispositivos de diodos emisores de luz (LED), aumento de eficiencia en la distribución de vapor a alta presión y calor de baja entalpía, mejoramiento de la eficiencia energética en electrodomésticos y sistemas de calefacción y aire acondicionado para contrarrestar el aumento anticipado de su uso)— así como otras reducciones netas en la demanda.
- Detener y revertir la trayectoria actual de uso del carbono en la matriz regional de fuentes de generación de energía eléctrica, a fin de alcanzar al menos una capacidad nominal instalada de 90% con cero-carbón en el sector. Esto implica un desplazamiento importante hacia el aprovechamiento de la enorme dotación de recursos energéticos renovables de la región, que incluyen la energía solar, geotérmica, eólica y de otras fuentes. Otros recursos (como la energía marina, por ejemplo) todavía no están disponibles comercialmente, pero pueden pasar a estarlo rápidamente si se produce un impulso tecnológico firme dirigido a reducir o eliminar los obstáculos de ingreso a los mercados. El uso generalizado de la energía marina por parte de países costeros puede producir importantes beneficios tecnológicos, a medida que se vayan desarrollando técnicas que aprovechen las condiciones locales³⁸. También será preciso tomar medidas dirigidas a eliminar los obstáculos para la inversión del sector privado en energía.
- Electrificación generalizada del sector del transporte. Es necesaria una matriz energética poco o nada dependiente del carbono, para apoyar la transformación del sector del transporte hacia 2050. A fin de desvincular este sector del uso de carbono, será preciso electrificar rápidamente los sistemas de transporte público aplicando tecnologías novedosas que permitan el almacenamiento de alta densidad de electricidad y estaciones de carga rápida. Afortunadamente, las cuantiosas inversiones que ya se han hecho en sistemas de transporte público rápido (BRT por su sigla en inglés) pueden ajustarse con relativa facilidad a la adopción de vehículos eléctricos de baterías. Aunque hace apenas unos pocos años esto no era más que una meta ambiciosa, los avances tecnológicos hacen posible la electrificación rápida de todos los medios de transporte de la región.

Al igual que con todas las alternativas que se tratan en este informe, no se toma en cuenta una expansión de la energía nuclear. La futura exclusión de la energía nuclear no aumenta los costos de las acciones requeridas bajo esta opción³⁹.

poco probable que una diferencia de 10% convenga a los formuladores de políticas e inversionistas de ampliar la energía nuclear, al menos no muy rápidamente o en gran medida. De hecho, todas las alternativas que se basan en la base de datos GEA del IIASA (para mayores detalles, véase el Apéndice 2) que contemplan una expansión de la energía nuclear en competencia con otras fuentes de energía eléctrica de la matriz, proyectan únicamente un aumento muy pequeño por encima de los ya bajos niveles actuales (menos de 1% de la estructura de fuentes de energía primaria de ALC). En este sentido, la energía nuclear es prácticamente irrelevante para este estudio.

⁴⁰ Los cálculos estimados de este estudio para las vías ZNDD 2020/ZNLU 2030 se basan en “gastos no-energéticos” proyectados por el IIASA para su alternativa Combinada-II según su base de datos GEA y asignados a medidas dirigidas a preservar y acrecentar los sumideros de carbono (incluidos REDD/REDD+). Estos costos proyectados (calculados restando los “gastos no-energéticos” previstos en la opción Combinada-II según la GEA con transporte convencional y sin sumideros de los “gastos no-energéticos” previstos en la alternativa Combinada según la GEA con transporte convencional y una cartera completa) son de aproximadamente US\$2.200 millones anuales en 2020, US\$6.400 millones al año en 2030, US\$15.700 millones anuales en 2040 y US\$32.500 millones al año en 2050 —Ver en Apéndice 3 una explicación más completa de cálculos de proyecciones de costos financieros adicionales de las alternativas y los principales componentes de la vía Enérgica I+ (plus)—. El estimado para las opciones de uso de la tierra asume que los gastos de REDD/REDD+ de las alternativas Combinada-I y Combinada-II de la GEA son la causa de la reducción de las emisiones generadas por el uso de la tierra de sus niveles actuales (2010) (a diferencia de únicamente los niveles BAU entre 2020 y 2050). Esta suposición se hace porque el escenario contrafáctico BAU basado en la GEA del IIASA no incluye gasto no-energético alguno en ningún año, a pesar de la baja proyectada de 60% en las emisiones

El Cuadro 2.3 muestra un resumen de los diferentes escenarios de emisiones, incluidas emisiones estimadas, volumen de emisiones evitadas y las emisiones per cápita proyectadas para el 2050.

Cuadro 2.3 Resumen de escenarios de emisiones, 1990-2050

Escenario	Emisiones 2050 tCO ₂ e	Variación porcentual sobre los niveles de 1990	tCO ₂ e per cápita en 2050	tCO ₂ e/año evitado vs. BAU en 2050: 6.727 MtCO ₂ e	Diferencia porcentual con el BAU en 2050
BAU ALC	6.727	+47	9,30	—	—
ZNDD 2020/ZNLU 2030+	5.360	-35	7,15	1.370	-25
Energía Combinada-I	2.780	-39	3,71	3.947	-59
Meta de ALC de 2 tpc	1.450	-68	2,00	5.277	-78
Enérgica Combinada-I+	1.390	-70	1,86	5.337	-79

Fuente: Versión 2.0.rc1 de la base de datos por escenarios GEA de IIASA y cálculos de los autores.

Nota: Estos “aportes” potenciales de ALC en el esfuerzo mundial de mitigación son considerablemente menores (por un margen de 30%-60%) que la participación de ALC en las emisiones mundiales anuales (11% en 2005).

Costos financieros de las alternativas de intervención

Usando las proyecciones financieras del modelo MESSAGE de la base de datos GEA del IIASA, este estudio estimó los recursos financieros adicionales (tanto en inversiones como en gastos) requeridos por la economía de ALC para alcanzar la reducción de emisiones planteada en cada una de las alternativas potenciales.

Costos financieros de las alternativas de uso de la tierra (o AFOLU)

Con base en el análisis de las proyecciones de costos financieros incorporadas en el escenario de la alternativa Combinada de GEA del IIASA, se calcula que harían falta más de US\$24.000 millones anuales (hacia 2030) para lograr la alternativa ZNDD 2020/ZNLU 2030 (Cuadros 2.4 y 2.5 y Apéndice 3). Además, el estimado indica que US\$53.000 millones anuales son necesarios al 2050 para continuar aumentando los sumideros de carbono de ALC en una medida suficiente como para lograr la vía ZNDD 2030/ZNLU 2030+ (plus). El costo neto promedio de la reducción que se necesita en el marco de estas alternativas es de alrededor de US\$22-US\$24 por tCO₂e⁴⁰.

generadas por el uso de la tierra entre 2010 y 2050 en la trayectoria contrafáctica BAU. Es posible que IIASA asuma que esta baja proviene en su totalidad de los efectos totales macro del aumento de ingresos, riqueza y modernización— una suposición altamente incierta, si no improbable. Por último, también se asume que estos gastos incluyen los costos de preparación, puesta en práctica y transacción, además de la compensación de costos de oportunidad.

⁴⁷ Sin embargo, conviene ser prudentes al tomar en cuenta el financiamiento potencial que requieren las inversiones en reducción de emisiones generadas por el uso de la tierra. En vista de la amplia variación de los cálculos disponibles e incertidumbres subyacente, es difícil saber con certeza cuánto llegarán a costar en última instancia estos escenarios en términos de adicionalidad financiera.

⁴⁸ Los costos financieros netos adicionales incluyen los costos financieros totales anuales requeridos para lograr las transformaciones energéticas necesarias y las reducciones de emisiones previstas en cada alternativa, lo que comprende gastos totales de inversión y otros gastos distintos a la inversión en acciones relacionadas con el sector energético, tanto por el lado de la demanda como por el de la oferta, menos los costos financieros anuales netos que se necesitan en el escenario BAU que se usa en este informe (es decir, el escenario contrafáctico del modelo MESSAGE de la base de datos GEA del IIASA).

⁴⁹ La “adicionalidad financiera neta” y el “costo financiero neto promedio” (US\$/CO₂e) pueden asumir valores negativos en ciertos puntos a lo largo de las alternativas, a medida que algunas intervenciones desplacen ciertos requisitos financieros crecientes relacionados con el escenario BAU. En el caso de la vía Combinada-I, el desplazamiento es producto tanto de la reducción de la demanda final de 40% en

Aunque estas estimaciones tienen incertidumbre, claramente se ubican dentro del rango reportado en la literatura existente (Cuadro 2.4). Por ejemplo, algunas estimaciones sobre un alto global a la deforestación en 2030 (escenario ZNDD 2030) son tan bajas como US\$12.000 millones anuales para compensar los costos de oportunidad de la deforestación y degradación de bosques, con un costo promedio de abatimiento de aproximadamente US\$2/tCO₂e (Blaser y Robledo, 2007).

Cuadro 2.4 Estimaciones seleccionadas del costo de oportunidad de detener la deforestación

Nivel de reducción	Costo US\$MM/año, US\$/tCO ₂ e	Fuente
Deforestación (reducción de 50% al 2020)	US\$20.000 millones-US\$30.000 millones/año	Comisión Europea 2008
Deforestación (erradicación total al 2030)	US\$38.000 millones-96.000 millones/año, hasta US\$90/tCO ₂ e	Comisión Europea 2008
Deforestación (reducción de 50% al 2030)	US\$17.000 millones-US\$33.000 millones/año	Eliasch 2008
ZNLU 2030 ALC	US\$20.000 millones-US\$40.000 millones/año	Eliasch 2008, ajustado tomando en cuenta supuestos de los autores para la región de ALC
Deforestación (erradicación total)	US\$40.000 millones-US\$350.000 millones/año	IPCC Grupo de Trabajo III AR4
Deforestación (reducción de 49%)	US\$2,2/tCO ₂ e	Kindermann et al. 2008
Deforestación (reducción de 65%)	US\$4,0/tCO ₂ e	Blaser y Robledo 2007
Deforestación	US\$5/tCO ₂ e	Olsen y Bishop 2009
Deforestación (reducción de 65% al 2030)	US\$11.200 millones/año, US\$2,8/tCO ₂ e	Blaser y Robledo 2007
Deforestación (erradicación total al 2030)	US\$12.000 millones/año, US\$2/tCO ₂ e	Blaser y Robledo 2007
Deforestación en ALC (reducción de 75%)	US\$50,00/tCO ₂ e	Informe McKinsey, por Enkvist, Nauclér y Rosander 2007
Degradación evitada	US\$7.300 millones/año, US\$1,1/tCO ₂ e	Blaser y Robledo 2007
ZNDD 2020/ ZNLU 2030 en ALC	US\$17.000 millones/año en 2020 (US\$21/tCO ₂ e); US\$24.000 millones/año en 2030 (US\$15/tCO ₂ e); US\$30.000 millones en 2040 (US\$18/tCO ₂ e); US\$37.000 millones en 2050 (US\$23/tCO ₂ e)	Estimaciones de los autores basadas en proyecciones y supuestos del GEI del IIASA

Fuente: Meridian Institute (2009) y cálculos de los autores.

En el extremo opuesto a este rango, una de las estimaciones más ampliamente citadas (Eliasch, 2008) indica que se necesitará entre US\$17.000 millones y US\$33.000 millones cada año para compensar los costos de oportunidad de una reducción de únicamente 50% de las emisiones mundiales causadas por la deforestación en 2030. Entretanto, la Comisión Europea ha calculado que una reducción de 50% a nivel mundial de las emisiones generadas por la deforestación en 2020 puede tener un costo anual de entre US\$20.000 millones y US\$33.000 millones, mientras que un alto total de las emisiones generadas por la deforestación en 2030 representaría un costo anual de US\$38.000 millones a US\$96.000 millones, para un costo global promedio de reducción que puede ascender a US\$90 por tCO₂e (véase Grondard, Martinet y Routier, 2008)⁴¹.

De los pocos cálculos regionales para ALC disponibles, el Informe McKinsey (de Enkvist, Nauclér y Rosander, 2007) estima que el costo promedio de una reducción de 75% en emisiones generadas por la deforestación puede ser de US\$50 por tCO₂e.

Si bien tales cálculos estimados según un modelo de arriba-abajo tienden a ser relativamente altos, estimaciones de modelos abajo-arriba para ALC son mucho menores. Por ejemplo, Olsen y Bishop (2009) ubican los costos de oportunidad necesarios para evitar la deforestación en la Amazonía en alrededor de US\$5 por tCO₂e reducida.

Estos costos estimados de las medidas de mitigación enfocadas en el cambio del uso de la tierra, normalmente compensan los costos de oportunidad pero excluyen costos adicionales de preparación y puesta en práctica de REDD/REDD+. Se calcula que estos costos adicionales, junto con los costos de transacción (relacionados principalmente con la gobernanza del uso de la tierra), equivalen aproximadamente a una tercera parte del valor de los costos de oportunidad (Olsen y Bishop, 2009)⁴².

No obstante, en este análisis se ajusta uno de los cálculos estimados más frecuentemente citados de la literatura existente, el de US\$17.000 millones a US\$33.000 millones al año para una reducción de 50% de las emisiones mundiales generadas por el uso de la tierra en 2030 (Eliasch, 2008), para producir una proyección equivalente del costo financiero global entre US\$20.000 millones y US\$40.000 millones anuales en 2030 para que ALC logre ZNDD2020/ZNLU 2030. Este ajuste de la estimación regional se basa en las siguientes suposiciones:

La reducción total de las emisiones generadas por la deforestación para una fecha determinada tendrá un costo aproximadamente dos veces mayor que la cantidad que se necesita para alcanzar una reducción de 50% en la misma fecha. Los costos de preparación, puesta en práctica y de transacción representan aproximadamente 50% de los costos de oportunidad⁴³. Alrededor de 40% de los costos de reducción de las emisiones mundiales generadas por el uso de la tierra se atribuye a ALC⁴⁴.

Esta estimación (de US\$20.000 millones a US\$40.000 millones hacia 2030)⁴⁵ concuerda con las proyecciones financieras basadas en los datos del IIASA que se usan en este estudio (presentadas en el Cuadro 2.5): los costos financieros anuales netos alcanzan a US\$17.000 millones en 2020 con ZNDD, US\$24.000 millones en 2030 con ZNLU, US\$30.000 millones en 2040 (suponiendo que no se creen nuevos sumideros de carbono, como en la vía Energica-1) y US\$37.000 millones en 2050⁴⁶.

⁴¹ Los estimados mundiales del IPCC son aún más altos y van desde US\$40.000 millones hasta US\$350.000 millones al año (Grondard et al, 2008, basado en el tipo de cambio de US\$1,28/euro usado por los autores).

⁴² Otras fuentes (Meridian Institute, 2009) ubican los costos de preparación, puesta en práctica y transacción en 50% de los costos de oportunidad, mientras que algunos (WWF, 2011) han calculado que dichos costos adicionales pueden ascender a 100% de los costos de oportunidad, potencialmente duplicando el rango de estimaciones de financiamiento.

⁴³ Este resultado concuerda con el cálculo estimado del Meridian Institute y se ubica en el 33% de Olsen y Bishop y el 100% del WWF.

⁴⁴ Esta cifra se obtiene usando datos sobre el uso de la tierra en ALC del modelo GEA del IIASA para ajustar a 38% el 46% de emisiones generadas por el uso de la tierra que según la CAIT le corresponde a ALC.

⁴⁵ Esta proyección ajusta las estimaciones mundiales adaptándolas específicamente a ALC y toma en cuenta los costos de preparación, puesta en práctica y transacción.

⁴⁶ Los costos financieros globales después de 2030 aumentan más rápidamente en el caso de la opción ZNDD 2020/ZNLU 2030+ (plus), en la cual se agregan nuevos sumideros de carbono y se reducen las emisiones netas en 0,35 GtCO₂e más cada año a lo largo de la década de 2040 y en 0,7 GtCO₂e más cada año durante la década de 2050. En esta alternativa, los costos anuales ascienden a US\$36.000 millones en 2040 y a US\$53.000 millones en 2050.

Aunque este cálculo se basa en proyecciones de costos regionales (no mundiales), sigue siendo vulnerable a sobrestimaciones globales (Olsen y Bishop, 2009). Un factor que puede reducir estos estimados es sinergias adicionales (no incluidas en estas proyecciones de costos) que es posible surjan si alternativas “combinadas” o “intervenciones energéticas” son promovidas. A pesar de que estos costos estimados son relativamente altos, no se consideran prohibitivos aun cuando se incorporan los costos financieros netos de alternativas energéticas⁴⁷.

Costos financieros de alternativas del sector energía (“moderadas”) y combinadas (“energéticas”)

Los costos totales de alternativas del sector energía que se muestran en el Cuadro 2.4 están basados en proyecciones de gastos y requerimientos de inversión según las proyecciones del modelo GEA del IIASA (véase Riahi et al., 2011). Estas estimaciones se presentan tanto en términos totales como netos (es decir, en términos brutos y netos de los gastos que se anticipan en la trayectoria BAU). Los costos anuales netos relacionados con las diversas alternativas de mitigación corresponden a los fondos adicionales necesarios anualmente para pasar del escenario de la trayectoria BAU a cualquier alternativa de intervención en el sector energético⁴⁸.

Aunque el financiamiento bruto necesario es mayor en términos anuales a lo largo de los 40 años restantes hasta 2050, una vez excluidas inversiones y gastos previstos en el escenario BAU (ya que estos serán incurridos en cualquier caso), los costos adicionales son menos onerosos.

Por ejemplo, la intervención moderada Combinada-I, en la que se proyecta la electrificación de los sistemas de transporte de ALC y la exclusión de la energía nuclear de la matriz energética, tiene un costo de US\$132.000 millones anuales en términos financieros brutos para 2020 (incluido el financiamiento actual, que aunque es más bajo sigue siendo considerable y va a aumentar cada año). Pero esta alternativa también contempla una economía neta en todo el sistema de más de US\$8.000 millones anuales (una vez descontados los gastos anuales bajo el escenario BAU hasta 2020), de manera que esta opción tiene un costo financiero promedio de abatimiento de US\$213/tCO₂e (bruto) y uno negativo de -US\$13/tCO₂e (neto), en ese año (Cuadro 2.4)⁴⁹.

La alternativa Combinada-I exige un monto total bruto de US\$508.000 millones anuales para 2050; casi 2,67% del PIB proyectado de la región para ese año u 11% de su PIB en 2010. En términos netos, esta opción requiere únicamente US\$43.000 millones al año, con un costo neto promedio de abatimiento equivalente a US\$11/tCO₂e en 2050. Este total representa menos de 0,25% del PIB proyectado de la región (PPP) en 2050 (o 0,93% del PIB de ALC en 2010)⁵⁰. Sin embargo, la alternativa Combinada-I reducirá las emisiones per cápita de ALC a apenas 3,71 t.

2050 como del paso de medios de transporte convencionales a medios más avanzados, lo que relega a medios de transporte más costosos dependientes del petróleo.

⁵⁰ El PIB proyectado para ALC en 2050, de US\$19 billones (en dólares de 2005) proviene del modelo MESSAGE de la base de datos por escenarios GEA del IIASA y asume un crecimiento promedio anual regional de aproximadamente 3,6% entre 2010 y 2050. Para fines de comparación, el PIB de ALC en 2010 (en dólares de 2005) fue de US\$4,6 billones.

⁵¹ Obsérvese que el costo financiero neto promedio de abatimiento no es lo mismo que el conocido “costo marginal de abatimiento” (o MAC) de las actividades de mitigación. Se trata más bien del promedio por tCO₂e de los costos financieros netos adicionales (es decir, los recursos financieros que se necesitan por encima de los requeridos en cualquier caso bajo la trayectoria BAU) de cualquier alternativa de mitigación.

⁵² Estas cifras de la adicionalidad financiera bruta y neta requeridas para alcanzar la alternativa ZNDD 2020/ZNLU 2030 se toman directamente del Cuadro 2.5 (véase, en la sección correspondiente del Apéndice 3, una explicación detallada del proceso de formulación de estas proyecciones).

⁵³ A fin de alcanzar el objetivo de 2 tpc será necesario aumentar los sumideros de carbono previstos en la alternativa Combinada-I+ en una medida suficiente como para alcanzar emisiones anuales netas negativas generadas por el uso de la tierra de 0,35 GtCO₂e en 2040 y emisiones anuales netas negativas generadas por el uso de la tierra de 0,7 GtCO₂e en 2050.

⁵⁴ Existen considerables aspectos en los que se superponen parcialmente las actividades de mitigación en LULUCF y las actividades de mitigación en el sector agrícola. Sinergias importantes pueden ser aprovechadas mediante la adopción del enfoque más incluyente y holístico de la alternativa AFOLU+. Aunque la adicionalidad financiera neta de LULUCF fue proyectada de manera independiente de la de la agricultura,

Para poder alcanzar el objetivo de 2 tpc, ALC necesita implementar la alternativa Combinada-I+ (plus). Los cálculos estimados de costos totales brutos y netos de las alternativas combinadas responden a la combinación de las proyecciones de costos de opciones de tanto el sector energético como uso de la tierra⁵⁵. La alternativa Energica Combinada-I+ (plus) implica costos anuales adicionales totales brutos y netos de alrededor de US\$150.000 millones y US\$10.000 millones, respectivamente en 2020 (se necesitarán montos más bajos, pero considerables y crecientes anualmente hasta llegar a esta fecha). En 2050, estos montos requeridos anuales pueden alcanzar US\$561.000 millones en términos brutos, pero sólo US\$97.000 millones en términos netos.

Otras alternativas combinadas también reducirían las emisiones de ALC a niveles cercanos o inferiores al objetivo de 2 tpc. Por ejemplo, la vía Energica Combinada-II+ (plus) (con transporte convencional) puede resultar en un nivel de 1,88 tpc en 2050.

Además, la alternativa de Eficiencia Energica-I+ (plus) —mientras que puede llevar a la región a 2,5 tpc— implica una adicionalidad financiera neta de únicamente US\$39.000 millones. Intervenciones adicionales en el uso de la tierra pueden llevar a un nivel de 2,0 tpc. Esta versión fortalecida de la alternativa de Eficiencia Energica-I+ (plus) costaría US\$48.000 millones en adicionalidad financiera neta en 2050; mucho más económica que la alternativa Energica Combinada-I+ (plus) y que la alternativa Energica Combinada-II+ (plus).

Por otro lado, una versión igualmente robustecida de la vía Eficiencia Energica-II+ (plus) (con transporte convencional) en última instancia puede tener un costo de adicionalidad financiera neta de US\$30.000 millones anuales en 2050; una de las maneras más baratas de alcanzar el objetivo de 2 tpc planteado en este estudio.

El Cuadro 2.5 muestra claramente que las versiones de eficiencia de las alternativas son más económicas que sus contrapartes combinadas y de oferta. La vía Eficiencia Energica-I AFOLU+ puede reducir las emisiones de ALC a casi una tonelada per cápita en 2050 con una adicionalidad financiera neta de US\$49.000 millones anuales, mientras que la alternativa Eficiencia Energica-II AFOLU+ resultaría en poco menos de una tonelada per cápita, con una adicionalidad financiera neta de US\$40.000 millones al año en 2050.

Se proyecta que incluso las alternativas más costosas —opción Energica-II AFOLU+ de oferta, la cual puede llevar las emisiones netas casi a cero y las emisiones per cápita a 0,15 tpc— no tendrán un costo neto mayor que US\$187.000 millones al año en 2050, equivalente a menos de 1% del PIB proyectado de la región para 2050.

existe el potencial de reducir las necesidades financieras mediante la integración de estos enfoques y el aprovechamiento de esas sinergias.

⁵⁵ Buena parte de estas grandes necesidades financieras adicionales en la trayectoria BAU surge del aumento futuro proyectado en los precios de los combustibles fósiles en particular y del carbón en general. Los costos crecientes de extracción, transporte, refinación y procesamiento, y distribución de combustibles fósiles representan gran parte de las "ahorros" potenciales que producirá el remplazo de la

Cuadro 2.5 Trayectorias alternativas de emisiones: costo desde 2010 hasta 2050

Alternativas* (basadas en ZNDD 2020/ ZNLU 2030)		Costo finan- ciero** US\$MM/ año 2020	Costo finan- ciero** US\$MM/ año 250	Porcentaje PIB (ALC, PPP) US\$19 billones (2005) en 2050	Costo financiero promedio (2005 US\$)/ tCO ₂ e en 2050	Emisiones totales y per cápita 2050 GtCO ₂ e y tCO ₂ e
ZNDD 2020/ ZNLU 2030***		18	37	0,19	23	6,06
						8,06
ZNDD 2020/ ZNLU 2030+***		18	53	0,28	23	5,36
						7,15
AFOLU+**		19	64	0,33	19	4,27
						5,89
Intervención moderada "Combinada-I" (transporte avanzado)	Total	132	508	2,67	129	2,78
	Neto de BAU	-8,2	43	0,23	11,0	3,71
Intervención moderada "Combinada-II" (transporte convencional)	Total	144	485	2,60	122	2,76
	Neto de BAU	3,1	20,3	0,1	5,1	3,68
Intervención moderada "Eficiencia-I" (transporte avanzado)	Total	115	450	2,36	128	3,21
	Neto de BAU	-25	-15,0	-0,07	-4,0	4,29
Intervención moderada "Oferta-I" (transporte avanzado)	Total	162	544	2,86	131	2,59
	Neto de BAU	22	80,0	0,42	19,0	3,45
Intervención moderada "Oferta-II" (transporte convencional)	Total	203	588	3,10	141	2,57
	Neto de BAU	62	124,0	0,65	30,0	3,42
Enérgica Combinada-I (transporte avanzado)	Total	150	545	2,87	118	2,09
	Neto de BAU	10,0	81,0	0,43	17,4	2,79
Enérgica-I Eficiencia (transporte avanzado)	Total	133	487	2,56	117	2,55
	Neto de BAU	-7	23,0	0,12	5,4	3,40
Enérgica I Oferta (transporte avanzado)	Total	180	581	3,10	121	1,92
	Neto de BAU	40	117,0	0,62	24,0	2,56
Enérgica Combinada-II Eficiencia (transporte convencional)	Total	162	522	2,75	113	2,10
	Neto de BAU	21	58,0	0,31	12,5	2,80
Enérgica-II Eficiencia (transporte convencional)	Total	136	478	2,52	113	2,50
	Neto de BAU	-4,7	14,0	0,07	3,2	3,35

Enérgica-II Oferta (transporte convencional)	Total	221	626	3,30	130	1,90
	Neto de BAU	80,5	161,0	0,85	33,0	2,53
Enérgica Combinada-I+ (transporte avanzado)	Total	150	561	2,95	105	1,39
	Neto de BAU	10	97,0	0,51	18,0	1,86
Enérgica-I+ Oferta (transporte avanzado)	Total	133	503	2,65	103	1,85
	Neto de BAU	-7	39,0	0,21	8,0	2,46
Enérgica-I+ Oferta (transporte avanzado)	Total	180	597	3,14	109	1,22
	Neto de BAU	40	133,0	0,70	24,0	1,63
Enérgica Combinada-II+ (transporte convencional)	Total	162	538	2,83	101	1,41
	Neto de BAU	21	74,0	0,39	14,0	1,88
Enérgica-II+ Eficiencia (transporte convencional)	Total	136	494	2,60	100	1,81
	Neto de BAU	-4,7	30,0	0,16	6,0	2,42
Enérgica-II+ Oferta (transporte convencional)	Total	221	642	3,40	116	1,20
	Neto de BAU	80	177,0	0,93	32,0	1,60
Enérgica Combinada-I AFOLU+ (transporte avanzado)	Total	151	571	3,00	89	0,31
	Neto de BAU	11	107,0	0,56	17,0	0,41
Enérgica-I AFOLU+ Eficiencia (transporte avanzado)	Total	134	513	2,70	86	0,76
	Neto de BAU	-6	49,0	0,26	8,0	1,02
Enérgica-I AFOLU+ Oferta (transporte avanzado)	Total	181	607	3,20	92	0,14
	Neto de BAU	41	143,0	0,75	22,0	0,18
Enérgica Combinada-II AFOLU+ (transporte convencional)	Total	163	548	2,90	86	0,33
	Neto de BAU	22	84,0	0,44	13,0	0,44
Enérgica-II AFOLU+ Eficiencia (transporte convencional)	Total	137	504	2,65	84	0,73
	Neto de BAU	-3,5	40,0	0,21	6,60	0,97
Enérgica-II AFOLU+ Oferta (transporte convencional)	Total	222	652	3,40	99	0,11
	Neto de BAU	82	187,0	0,98	28,0	0,15

Fuente: Versión 2.0.rc1 de la base de datos por escenarios GEA de IIASA y cálculos de los autores.

Nota: * Las alternativas presentadas asumen un desarrollo libre de energía nuclear, es decir, que no se produce expansión alguna más allá del estado actual de la infraestructura existente que, en todo caso, aporta 0,8% de la matriz energética primaria de la región.

** Costo financiero (neto de BAU) incluye la inversión de capital anual proyectada en el sector energético, costos anuales de funcionamiento y mantenimiento del sistema energético, gastos distintos a la energía relacionados con REDD+ y la eliminación de emisiones no relacionadas con CO₂e. El costo financiero (neto de BAU) equivale a la adicionalidad financiera neta, es decir costos incrementales al sistema correspondientes a las diversas intervenciones potenciales. El costo financiero promedio de reducción también se presenta en términos totales (brutos) y netos.

*** Los costos de ZNDD 2020/ZNLU 2030, ZNDD 2020/ZNLU 2030+ y AFOLU+ se derivan internamente de los gastos del modelo combinado de GEA relacionados con el uso de la tierra y reducciones de emisiones. Si bien estas cifras se encuentran dentro del rango reportado en la literatura, la amplia variabilidad de estos estimados sugiere que conviene tener prudencia al evaluar los costos potenciales de la reducción de emisiones del uso de la tierra.

Costos financieros adicionales netos de las principales intervenciones requeridas en la alternativa Enérgica Combinada-I+ (plus)

Con la finalidad de facilitar la planificación de las inversiones, en esta sección se presenta una síntesis de los costos financieros adicionales anuales brutos y netos proyectados para 2050 a nivel de sector. El Apéndice 3 explica detalladamente la formulación de las proyecciones.

Detener las emisiones de deforestación (ZNDD 2020) y uso de la tierra (ZNLU 2030), y aumento de sumideros de carbono (alternativas “plus”)

A fin de alcanzar las metas de cero emisiones netas generadas por la deforestación en 2020, cero emisiones netas generadas por el uso de la tierra en 2030 y sumideros de carbono adicionales netos en 2050, “costos financieros adicionales netos” son requeridos comenzando de inmediato y alcanzando un monto de US\$53.000 millones en 2050 (Cuadro 2.5). La adicionalidad bruta y neta de la vía ZNDD 2020/ZNLU 2030 es la misma (US\$37.000 millones al año en 2050), en vista de que no se proyecta ningún gasto en la trayectoria BAU en los sectores de LULUCF⁵². Estos gastos adicionales netos relacionados con el uso de la tierra serían destinados a:

- Iniciativas dirigidas a aumentar la productividad de actividades forestales y agrícolas, con el fin de evitar mayores pérdidas de la cubierta forestal (medidas urgentes serán necesarias para combatir los peligros que se están presentando para los bosques, incluyendo daños causados por las actividades mineras no reguladas en la Amazonía y el piedemonte andino)
- Costos de la aplicación de medidas restrictivas de la deforestación
- Costos de preparación y puesta en práctica de REDD/REDD+, los cuales combinados con costos de transacción (vinculados principalmente con gobernanza en el uso de la tierra), típicamente representan hasta una tercera parte de la adicionalidad financiera neta total de las actividades de mitigación de LULUCF
- Inversiones para apoyar y mejorar sumideros de carbono, entre otras actividades

Es probable que este último componente de los costos (US\$16.000 millones invertidos cada año hasta 2050 en la adición neta de sumideros) sea aún más difícil que simplemente detener la deforestación en 2020 y todas las demás emisiones de LULUCF en 2030 (es decir, ZNLU 2030)⁵³. Esta alternativa más rigurosa también exige mayores mejoramientos de las prácticas de silvicultura, planificación del uso de la tierra, agrícolas y ganaderas (algunas de las cuales todavía están por difundirse ampliamente)⁵⁴. Lo anterior requerirá la implementación de prácticas forestales inno-

trayectoria BAU por las alternativas de intervención aquí mencionadas.

⁵² Para los seis componentes de intervención principales antes indicados y analizados, se proyecta que estas necesidades financieras adicionales brutas y netas alcanzarán respectivamente en su conjunto US\$350.000 millones y US\$247.000 millones al año hasta 2050. En el caso de la trayectoria Enérgica Combinada-I+ (plus), se proyecta que las necesidades financieras brutas y netas ascenderán a US\$561.000 millones y US\$96.000 millones anuales respectivamente en 2050.

vadoras y de uso sostenible del suelo en una escala cada vez mayor.

Esto implica una aceleración de las tendencias recientes que todavía no se han consolidado del todo, medidas estrictas de regulación y de cumplimiento y fuertes incentivos económicos.

Reducción significativa de emisiones del sector agrícola

A fin de reducir a la mitad las emisiones generadas por el sector agrícola para 2050, en este estudio se calcula que se necesitarán costos adicionales brutos y netos de US\$10.000 millones (en el escenario BAU no se contempla gasto alguno por concepto de actividades de mitigación no relacionadas con el sector energético).

Estos gastos incluyen —entre otros—: costos marginales de entrada al mercado de nuevas prácticas agrícolas de bajo carbono, costos de diseminación, servicios de extensión y sensibilización; inversiones en nuevos cultivares que reduzcan la necesidad de insumos agrícolas (como fertilizantes y plaguicidas sintéticos) y el proceso de transformación para maximizar la agricultura local y orgánica.

Cuadro 2.6 Componentes de la alternativa AFOLU+: adicionalidad financiera requerida al 2050 (US\$ Mp)

Componentes sectoriales	Total adicional anual bruto al 2050	Gasto total anual en el BAU al 2050	Total adicional anual neto al 2050
ZNDD 2020/ZNLU 2030 (cero deforestación neta al 2020 y cero emisiones netas del uso de la tierra al 2030)	US\$37	No se proyecta gasto alguno	US\$37
ZNDD 2020/ZNLU 2030+ (sumideros netos de carbono adicionales)	US\$16 adicionales	No se proyecta gasto alguno	US\$16 adicionales
Agricultura (reducción de 50% con respecto a BAU al 2050)	US\$10 adicionales	No se proyecta gasto alguno	US\$10 adicionales
Alternativa AFOLU+	US\$63	—	US\$63

Fuente: Base de datos del modelo GEA de IIASA y cálculo de los autores.

Nota: En las proyecciones de costos de AFOLU se supone el desarrollo de la vía Combinada-II (transporte convencional con combustibles líquidos). Pero cada alternativa ilustrativa GEA implica costos de AFOLU levemente distintos. Esto explica la pequeña desviación entre las necesidades financieras adicionales totales brutas de la opción Energética-1+ (plus) (US\$560.000 millones al año en 2050) y la sumatoria de los costos de AFOLU (asumiéndose la alternativa Combinada-II) con los costos de energía (asumiéndose la opción Combinada-II), o US\$571.000 millones en 2050. Esa variación de US\$10.000 millones-US\$20.000 millones es característica entre las proyecciones de adicionalidad financiera bruta (especialmente tratándose de AFOLU) para las diversas alternativas (ver Cuadro 2.4).

Incremento de la eficiencia energética

Los gastos adicionales netos para mejorar la eficiencia energética en un nivel suficiente para re-

ducir la demanda final en 40% con respecto al escenario BAU, ascienden a US\$88.000 millones al año hasta 2050 (una vez descontados todos los gastos relacionados proyectados en el escenario BAU; Cuadro 2.7). Los gastos adicionales brutos anuales aumentarían a US\$104.000 millones en 2050 (ver Apéndice 2 explicación detallada de los gastos proyectados relacionados con la eficiencia en el escenario BAU).

Cuadro 2.7 Componentes de la alternativa Moderada Combinada-I del sector energía: adicionalidad financiera requerida al 2050 (\$ MM)

Componentes sectoriales	Total adicional anual bruto al 2050	Gasto total anual en BAU al 2050	Total adicional anual neto al 2050
<i>Eficiencia energética</i> (demanda final 40% menor que BAU al 2050)	104	16	88
–Inversión por el lado de la demanda	83	0	83
–Transmisión y distribución de electricidad	21	16	5
<i>Descarbonización de la generación eléctrica</i> (más de 90% de la capacidad instalada)	133	67	66
–Inversión en electricidad de fuentes no fósiles	62	31	31
–Transmisión y distribución de electricidad	21	16	5
–Gasto distinto a inversión no asignado por IIASA	50	20	30
<i>Electrificación del transporte</i>	50	20	30
–Gasto distinto a inversión no asignado por IIASA	50	20	30
<i>Capacitación y almacenamiento de carbono</i>	17	–	17
–Inversión en CCS	7	0	7
–Gasto distinto a inversión no asignado por IIASA	10	0	10
<i>Otras medidas relacionadas con el sector energía</i>	204	362	-158
–Inversión en extracción de combustibles fósiles	54	170	-116
–Inversión en generación eléctrica a partir de fuentes fósiles	2	4	-2
–"Otras" inversiones por el lado de la oferta (calefacción urbana, refinerías de petróleo, extracción de bioenergía, producción de hidrógeno, combustibles sintéticos)	42	38	+4
–Gasto distinto a inversión no asignado por IIASA (combustible y otros insumos energéticos, tanto gasto privado como subsidios oficiales)	106	150	-44
<i>Alternativa Moderada Combinada-I relacionada del sector energía</i>	508	465	44

Fuente: Base de datos del modelo GEA del IIASA y cálculos de los autores.

Nota: Esta alternativa del sector energía (a) requiere más de US\$2,1 billones en inversión adicional acumulada bruta en transmisión y distribución (incluido almacenamiento) y en electricidad no generada a partir de fuentes fósiles; (b) alcanza un nivel de 97,8% de generación de bajo carbono al 2050, tomándose en cuenta biomasa sin CCS y todas las formas de generación con CCS como fuentes de bajo carbono.

Este financiamiento necesario surge del cálculo estimado de los costos marginales adicionales asociados con la adopción de nuevas prácticas y tecnologías de conservación y uso eficiente de energía, costos de difusión de la adopción de nuevas prácticas de eficiencia energética y costos adicionales de operación y mantenimiento. El éxito de cualquier iniciativa dirigida a reducir la demanda final de energía en 40% con respecto al escenario BAU radica en grandes mejoras en la eficiencia energética, así como en otras reducciones netas en la demanda.

Descarbonización del sector energía

Para 2050, alcanzar el 97% de descarbonización del sector energía de ALC requerirá US\$133.000 millones anuales en adicionalidad financiera bruta y US\$66.000 millones al año en términos netos (una vez descontados los gastos proyectados por concepto de inversión en la generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles y en las redes de distribución eléctrica en el escenario BAU). Estos gastos adicionales netos abarcan: i) costos adicionales anualizados de generación producidos por la incorporación de recursos energéticos renovables, ii) costos de mejora y ampliación de las redes de transmisión, incluyendo gastos necesarios para incorporar fuentes discontinuas (es decir, costos de reservas adicionales para gestionar la capacidad firme de las fuentes discontinuas), y iii) costos relacionados con la creación de capacidad adicional y capacitación de operarios de redes de distribución.

Detener y revertir la tendencia actual de dependencia del carbono de la matriz energética de la región hasta 2050 implica un importante desplazamiento de energía renovable en la región. Afortunadamente, ALC cuenta con una considerable dotación de recursos solares, geotérmicos, eólicos y de otro tipo que pueden ser aprovechados. Otros recursos (como la energía marina, por ejemplo) todavía no están disponibles a escala comercial, aunque podrían estarlo si se adopta una importante iniciativa de desarrollo tecnológico dirigida a eliminar los obstáculos de entrada a los mercados.

La incorporación a gran escala de la energía marina en los países costeros puede resultar en importantes beneficios tecnológicos, a medida que se creen técnicas y prácticas para aprovechar las condiciones locales. Igualmente será necesario aplicar medidas dirigidas a eliminar obstáculos a la inversión privada en el sector energético.

Electrificación del transporte

A fin de lograr una electrificación generalizada del sector del transporte, las proyecciones estimadas que aquí se presentan contemplan gastos adicionales netos de alrededor de US\$30.000 millones al año hasta 2050 (US\$50.000 millones anuales en términos netos; muy por encima de los US\$20.000 millones al año que se proyectan en el escenario BAU hasta 2050; ver Cuadro 2.8 y el Apéndice 3). Esto incluye capital adicional y costos adicionales netos de operación y mantenimiento de los sistemas eléctricos, almacenamiento de energía eléctrica y estaciones de carga, capacitación de operarios de sistemas de transporte público y de plantas de mantenimiento, y la creación de un parque vehicular electromotor.

Será preciso mantener una matriz energética cero o escasamente dependiente del carbono, para apoyar a un sector transporte bajo en carbono para 2050. Descarbonizar el sector del transporte requerirá la electrificación rápida de los medios de transporte público mediante tecnologías novedosas que permitan el almacenamiento de alta densidad de electricidad y estaciones de carga rápida. Afortunadamente, las cuantiosas inversiones que ya se han hecho en los sistemas de transporte público rápido (BRT) pueden adaptarse en forma relativamente fácil a la adopción de vehículos propulsados por baterías.

El desplazamiento estas tecnologías también impulsará el desarrollo tecnológico a nivel local. La desvinculación total del carbono también exigirá que los vehículos automotores y de carga abandonen el uso de motores de combustión interna. Mientras que hace pocos años esto no era más que un anhelo, los últimos avances tecnológicos abren la posibilidad de una electrificación rápida de todos los medios de transporte de la región.

En conjunto, las seis intervenciones principales antes analizadas (detener la deforestación, aumentar los sumideros de carbono, reducir las emisiones agrícolas, mejorar la eficiencia energética, descarbonización del sector eléctrico y electrificación del transporte) implicarán gastos financieros adicionales totales brutos de US\$350.000 millones al año hasta 2050 (Cuadro 2.9). Esta cifra es alrededor de US\$210.000 millones menor que la adicionalidad financiera total bruta (cantidad total de financiamiento que debe movilizarse). Además, debido a que el monto proyectado de US\$103.000 millones que se necesitará cada año en el escenario BAU se verá eliminado (o “ahorrado”, en comparación con BAU), la opción de intervención referida (Enérgica Combinada-I+) tiene una adicionalidad financiera neta de US\$247.000 millones anuales hasta 2050 requerida para implementar estas seis intervenciones.

Cuadro 2.8. Intervenciones de mitigación prioritarias: adicionalidad financiera requerida al 2050 (US\$ MM)

Componentes sectoriales	Total adicional bruto anual al 2050	Gasto total anual en BAU al 2050	Total adicional anual neto al 2050
ZNDD 2020/ZNLU 2030	37	0	37
ZNDD 2020/ZNLU 2030+	16	0	16
Agricultura: (reducción de 50% con respecto a BAU al 2050)	10	0	10
Eficiencia energética	104	16	88
Descarbonización de la generación energía	133	67	66
Electrificación del transporte	50	20	30
Subtotal	350	103	247

Fuente: Base de datos del modelo GEA de IIASA y cálculos de los autores.

Otras intervenciones y necesidades financieras de la vía Enérgica Combinada-I+ (plus)

Existen otros costos asociados con las acciones implementadas en las alternativas mencionadas. En primer lugar, actividades de captación y almacenamiento de carbono (CCS) exigen un monto anual adicional de US\$17.000 millones hasta 2050, tanto en términos brutos como netos, ya que en el escenario BAU no se proyecta gasto alguno por concepto de CCS (Cuadro 2.8).

En segundo lugar, una serie de otras medidas relacionadas con el sector energético están incorporadas en las alternativas referidas, entre ellas: i) inversión en extracción de combustibles fósiles (US\$54.000 millones al año en 2050; muy por debajo de los US\$170.000 millones anuales previstos en el escenario BAU, o el monto negativo de -US\$116.000 millones al año en términos netos, una vez descontados los gastos bajo el escenario BAU); ii) inversión en generación eléctrica a partir de combustibles fósiles (US\$2.000 millones al año hasta 2050; la mitad de los US\$4.000 millones anuales previstos en el escenario BAU); iii) “otras” inversiones del lado de la oferta (US\$42.000 millones al año hasta 2050, que incluyen inversiones en refinerías de petróleo,

calefacción urbana y extracción de bioenergía, así como la producción de hidrógeno y combustibles sintéticos, poco más que los US\$38.000 millones anuales previstos en el escenario BAU), y iv) otros “gastos distintos a la inversión” estimados en el marco de las alternativas de intervención general pero que no están asignados a ninguna categoría específica por IIASA en proyecciones discretas (US\$106.000 millones anuales hasta 2050, considerablemente menos que los US\$150.000 millones al año previstos en el escenario BAU)⁵⁵.

Se proyecta que en términos brutos estos “otros” gastos financieros que se necesitan en la vía Enérgica Combinada-I+ (plus) ascenderán a US\$204.000 millones al año hasta 2050. Pero en términos de adicionalidad financiera, esta categoría de “otros” resulta negativa (-US\$158.000 millones anuales hasta 2050).

Esto implica que, comparada con la trayectoria BAU, la vía Enérgica Combinada-I+ (plus) involucra un menor gasto anual en ciertos subsectores gracias a una inversión futura menor en la extracción de combustibles fósiles y generación —ahorros de alrededor de US\$118.000 millones al año en 2050, comparado con el BAU—, y de más bajos gastos “distintos a la inversión” en los cada vez más costosos combustibles fósiles para transporte y consumo de electricidad (un ahorro de US\$44.000 millones anuales hasta 2050; ver Cuadros 2.6 y 2.8).

Las proyecciones de necesidades financieras adicionales antes descritas se presentan tanto en términos brutos como netos⁵⁶. Sin embargo, esta no es la categoría más relevante de adicionalidad financiera necesaria, dado que los gastos financieros actuales en el sector energético y el de AFO-LU serán insuficientes para satisfacer las crecientes demandas en ambos hasta 2050.

Los gastos financieros adicionales totales que se necesitan en el escenario BAU son también mucho mayores que los gastos financieros actuales necesarios para mantener la situación vigente: se necesitarán anualmente US\$464.000 millones adicionales en gastos financieros hasta 2050 (comparado con el monto presente) para satisfacer la creciente demanda de energía de ALC que se proyecta en la trayectoria BAU y sin ninguna iniciativa adicional de mitigación.

Esto significa que incluso si los actores de ALC no hacen nada en absoluto para desviar la trayectoria actual de políticas, la necesidad de adicionalidad financiera anual ascenderá a US\$464.000 millones anuales en 2050. Entretanto, las emisiones de ALC aumentarán de alrededor de 4,7 GtCO₂e en 2010 hasta alrededor de 6,7 GtCO₂e (de ligeramente más de 6 tCO₂e a más de 9 tCO₂e en términos per cápita. Ver la sección anterior sobre emisiones proyectadas en el escenario BAU).

En este contexto, una categoría de adicionalidad financiera más pertinente para la evaluación de opciones de políticas y presupuestos sería lo que se ha definido como necesidades financieras adicionales netas totales: el resultado de descontar el gasto financiero adicional requerido en el escenario BAU de la adicionalidad financiera total bruta que se necesita para lograr una alternativa de intervención.

Cuadro 2.9 Componentes de las alternativas Energética Combinada-I+ (plus) y Energética Combinada-I AFOLU+ (plus) (US\$ MM)

Componentes sectoriales	Total adicional anual bruto al 2050	Gasto total anual en BAU al 2050	Total adicional anual neto al 2050
ZNDD 2020/ZNLU 2030	37	0	37
ZNDD 2020/ZNLU 2030+	16	0	16
Eficiencia energética	104	16	88
Descarbonización de la generación de energía	133	67	66
Electrificación del transporte	50	20	30
CCS	17	0	17
Otras medidas relacionadas con el sector energético	204	362	-158
Total alternativa Energética Combinada-I+ (plus)	561	465	96
Componente adicional de la alternativa Energética Combinada-I AFOLU+ (plus)			
–Agricultura: (reducción de 50% respecto a BAU al 2050)	10	0	10
Total alternativa Energética Combinada-I AFOLU+ (plus)	571	465	106

Fuente: Base de datos del modelo GEA del IIASA y cálculos de los autores.

Nota: La producción de energía eléctrica en la alternativa Energética Combinada-I+ (plus) es 12% mayor que en BAU debido a un mayor consumo eléctrico producido por la electrificación del transporte. Relativo a BAU, la alternativa Energética Combinada-I+ (plus) implica un ahorro de US\$128.000 millones anuales al 2050 por concepto de reducciones de gastos en la generación eléctrica a partir de fuentes fósiles y extracción de combustibles fósiles.

Será necesario movilizar considerables recursos financieros adicionales a partir de ahora hasta 2050: US\$561.000 millones al año hasta 2050 y aproximadamente US\$11,2 billones en términos acumulados en la alternativa Energética Combinada-I+ y US\$464.000 millones anuales hasta 2050 y US\$9,3 billones acumulados en el escenario BAU. En otras palabras, la adicionalidad financiera bruta no será mucho mayor que la necesaria para pasar de la situación actual al futuro a lo largo de una trayectoria sin cambios. Incluso si no se adopta ninguna política de mitigación adicional, ALC aun gastará US\$464.000 millones al año hasta 2050 en la trayectoria BAU (aproximadamente US\$9,3 billones en términos acumulados hasta 2050). Estos gastos financieros proyectados en el escenario BAU equivalen a más de 80% de lo requerido para alcanzar la vía Energética Combinada-I+ (plus).

Esto implica que por menos de US\$100.000 millones al año hasta 2050 (o menos de US\$2 billones acumulados) en necesidades financieras adicionales incrementales —o “netas”— la región puede reducir sus emisiones del nivel proyectado para 2050 en el escenario BAU (9,3 tCO₂e per cápita) a un nivel que se compagine con el alcance del nivel de resguardo de 2°C (2 tCO₂e), muy por debajo del nivel actual de 6,4 tCO₂e. De hecho, los recursos financieros marginales adicionales que se necesitan para alcanzar el objetivo de 2 tCO₂e per cápita están menos de 20% sobre la cantidad que habrá que movilizar en cualquier caso. En este sentido, la categoría más importante para determinar vías y políticas sigue siendo la de las necesidades financieras adicionales netas.

Aunque la adicionalidad financiera bruta indica los fondos que se necesitan para alcanzar cualquier objetivo de mitigación de emisiones, la adicionalidad financiera neta representa el esfuerzo adicional que se necesita relativo a la trayectoria BAU. La categoría de necesidades financieras adicionales también se puede considerar como el “ahorro” que implica el desplazamiento (o el aprovechamiento) de los recursos financieros adicionales que necesariamente habrá que incorporar en la trayectoria sin cambios.

En resumen, si ALC se puede permitir gastar US\$464.000 millones adicionales al año hasta 2050 en la trayectoria BAU, a la vez que continúa dependiendo de los combustibles fósiles y dejando que las emisiones de la región aumenten en más de 40%, entonces la región también puede con toda seguridad gastar US\$97.000 millones adicionales anuales (por encima de lo que hay que gastar en el escenario BAU) hasta 2050. Esto es particularmente evidente en vista de los cobeneficios económicos, sociales, políticos, ambientales y tecnológicos adicionales (ver Capítulo 3) que producirá una iniciativa tan importante de mitigación.

Naturaleza sistémica de las proyecciones de adicionalidad financiera e implicaciones de políticas

Por último, es importante tener presente que las proyecciones de adicionalidad financiera del IIASA y las extensiones correspondientes son a nivel de sistema incorporando la totalidad de gastos necesarios en el sistema energético de la región, independientemente de la naturaleza de los actores participantes (es decir, sectores público y privado, productores y consumidores). Incluyen toda la inversión pública y privada, mientras que los gastos no relacionados con inversión consideran la operación y mantenimiento de los componentes públicos y privados del sistema, así como los gastos necesarios para comprar el producto energético final. Esos gastos son realizados por hogares particulares y consumidores comerciales e industriales por un lado; y, por el otro, estados en forma de subsidios dirigidos al control de precios u otras clases de apoyo público para la compra privada de energía final.

La naturaleza de dichas proyecciones financieras facilita la tarea de evaluar las prioridades de políticas y de inversión a lo largo de todo el sistema. A menudo, esto hace más fácil comparar los considerables costos financieros incorporados en la trayectoria actual sin cambios (BAU) con la adicionalidad financiera requerida en las alternativas de intervención disponibles.

Capítulo 3

Cobeneficios de las Inversiones en Adaptación y Mitigación

Sin duda, los impactos del cambio climático impondrán costos sustanciales al desarrollo. En este informe se estima que dichos costos alcanzarán aproximadamente US\$100.000 millones al año en 2050, lo que equivale aproximadamente a 2,2% del PIB de la región en 2010. Reducir la huella de carbono de la región a niveles que se compaginen con las metas de estabilización globales del clima exigirá un monto anual similar. Estos costos se suman a las necesidades de inversión de la región, ya de por sí apremiantes y que abarcan áreas como erradicación de la pobreza y mejoramiento de salud, educación, alimentación, seguridad en el abastecimiento de agua y energía, y vivienda. Aun en este contexto, es necesario atender estos costos ya que el hacer caso omiso de las necesidades de adaptación y mitigación probablemente restará eficacia a los esfuerzos de desarrollo.

Como postulan Wilbanks et al. (2007), los impactos físicos del cambio climático dependen de las concentraciones de GEI en la atmósfera y de la capacidad de adaptarse a ese cambio. De esta forma, los objetivos de mitigación y adaptación están interrelacionados: la mitigación atenúa los riesgos del cambio climático a nivel mundial, mientras que la adaptación amortigua impactos específicos en un lugar determinado. Además, algunas medidas de mitigación y de adaptación pueden interactuar entre sí para producir sinergias, u ofrecer alternativas distintas para afrontar el impacto del cambio climático.

Cobeneficios de las inversiones en adaptación

Las necesidades financieras de adaptación superan ampliamente el monto de los recursos de que actualmente dispone la región para ese fin. Dicho esto, la información disponible indica que el costo de acciones de adaptación es probablemente menor que los costos de los daños físicos (como se plantea en el Capítulo 1). Este resultado resalta la necesidad de invertir desde hoy en adaptación. A menos que sean considerados, los impactos físicos representarán una carga onerosa para las agendas de desarrollo de la región.

La adaptación tiene el potencial no sólo de reducir el impacto neto de las consecuencias del cambio climático, sino también de apoyar la sostenibilidad del desarrollo en ALC. En lugar de considerar la adaptación como algo separado del desarrollo (Leary et al., 2008), ésta debería ser considerada como un elemento integral del mismo.

Aunque las necesidades propias del desarrollo son inmediatas, los problemas creados por el cambio climático —aunque sustanciales— son percibidos como graduales, lejanos en el tiempo y (en algunos casos) inciertos. Pero dejar de tomar medidas de adaptación producirá mayores necesidades en el futuro, a medida que los efectos del cambio climático vayan limitando el acceso a, y la calidad de los recursos naturales. De modo que las medidas de adaptación deben estar estrechamente vinculadas con el desarrollo para mejorar la sostenibilidad de las inversiones en programas de desarrollo.

Las medidas de adaptación pueden contribuir a las prácticas de desarrollo sostenible y producir cobeneficios. El Cuadro 3.1 presenta un resumen de los cobeneficios que se proyecta producirán las medidas de adaptación por sector o área de trabajo. Estos cobeneficios incluyen, entre otros, una mayor seguridad hídrica y alimentaria, el desarrollo tecnológico, la sustentabilidad de inversiones en infraestructura y el avance hacia las metas de desarrollo de largo plazo.

La adopción de políticas de adaptación también permitirá mejorar el uso de los recursos naturales, lo que a su vez producirá beneficios en productividad. Por ejemplo, las inversiones de hoy en la adaptación del suministro de agua a los impactos del cambio climático traerán mejores prácticas de gestión y una reducción del desperdicio. De igual manera, mejoras en el manejo de las pesquerías dirigidas a hacer frente a los impactos del cambio climático producirán prácticas más sustentables, mayores reducciones del uso de agua y mejoras adicionales de productividad.

Incluso con medidas fuertes de adaptación, únicamente una reducción considerable en emisiones de GEI afectará el futuro a largo plazo. La mitigación es de todas formas la barrera de protección más eficaz contra los daños perdurables a la biósfera y a las actividades humanas que sustenta.

Cuadro 3.1 Cobeneficios de la adaptación por sector

Inversión en adaptación	Cobeneficio de desarrollo
Adaptación de la agricultura a nuevas condiciones climáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo e innovación tecnológica • Mantenimiento de la cubierta natural del suelo y servicios de ecosistemas • Detención de la degradación del suelo • Recuperación de suelos degradados
Minimización del impacto del alza del nivel del mar en zonas costeras mediante protección y retiro	<ul style="list-style-type: none"> • Zonificación de tierras a largo plazo • Desarrollo de infraestructura y asentamientos costeros resilientes • Mejoramiento de la gestión de desechos y sanitaria • Reducción de impactos en salud
Recuperación del bioma coralino	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de servicios ambientales incluyendo la protección de costas, turismo y pesquerías
Adaptación a nuevos regímenes hidrológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento de productividad • Mantenimiento de servicios de ecosistemas
Minimización de la exposición a enfermedades tropicales transmitidas por vectores	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento de la salud pública y aumento de la expectativa de vida • Aumento de productividad y reducción de la pérdida de vidas
Adaptación basada en la biodiversidad y los ecosistemas	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de servicios de ecosistemas • Mantenimiento de servicios ambientales

Fuente: Recopilación de los autores.

Cobeneficios de inversiones en mitigación

El esfuerzo de mitigación que necesita ALC para alcanzar la meta de dos toneladas per cápita (2 tpc) de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e) para el año 2050 también producirá importantes cobeneficios para la región, entre ellos, mejoras en salud y bienestar, mayor seguridad energética y desarrollo tecnológico. Estos cobeneficios, valorados en US\$2-US\$196/ tCO_2e en calidad del aire únicamente (Nemet, Holloway y Meirer, 2010), pueden hacer que la inversión y gastos en mitigación analizados en el Capítulo 2 luzcan más viables. Estos cobeneficios, además de los beneficios directos de evitar mayores costos en el futuro, también proporcionan incentivos económicos adicionales para que los países de ALC asuman una mayor participación en forjar un acuerdo climático mundial eficaz y viable más allá de 2012.

Los cobeneficios potenciales de mitigación son lo suficientemente cuantiosos como para justificar una buena parte de las medidas de mitigación (Cuadro 3.2). Los cobeneficios de mitigación han sido estimados entre 30% y 100% (o más) de los costos totales de reducción de emisiones (Bollen et al., 2009; Pearce et al., 1996; IPCC, 2001). La mayor parte (entre 70% y 90%) de estos cobeneficios están relacionados con salud ya que se derivan de menores niveles de contaminación del aire a nivel local, mejoras de la calidad del agua y mejor saneamiento (Aunan, Aaheim y Seip, 2000). Esta concentración de cobeneficios relacionados con la salud sugiere que entre los esfuerzos de mitigación en la región, deben priorizarse estrategias energéticas de bajo carbono — especialmente intervenciones de políticas de transporte en zonas urbanas y el fomento de fuentes descentralizadas de energía renovable e intervenciones de mitigación en los sectores de desechos y saneamiento.

Los cobeneficios de mitigación son además usualmente locales, mientras que los beneficios directos tienden a ser mundiales por su naturaleza. Dichos beneficios locales (Cuadro 3.2) tienen el potencial de estimular inversiones del sector público y privado. Debido a que el cambio climático es un fenómeno mundial, a menudo se piensa que es irrelevante para los intereses locales. Sin embargo, en última instancia, la mitigación de emisiones no sólo redundará en beneficios globales, sino que con frecuencia induce beneficios locales (OCDE, 2002).

Por ejemplo, si bien las medidas energéticas de bajo contenido de carbono pueden reducir las emisiones de carbono, también tienden a reducir la demanda energética (mediante medidas de eficiencia). Como consecuencia, las políticas de mitigación reducen la contaminación del aire en el ámbito local, lo que lleva a menores índices de morbilidad y mortalidad. Además, al reducir la lluvia ácida, dichas políticas pueden generar mayores rendimientos de los cultivos y reducir los costos de mantenimiento de edificios (y otras estructuras).

De igual manera, las actividades de transporte pueden producir cobeneficios adicionales más allá de los que genera directamente una menor contaminación del aire. Entre estos cobeneficios figuran menor congestión urbana, menores niveles de ruido y posiblemente menos muertes causadas por accidentes de tránsito como resultado de una reducción en la cantidad de kilómetros recorridos por vehículo.

Por último, reducir emisiones de silvicultura, agricultura, detener la deforestación y crear sumideros de carbono, y otras prácticas de mitigación del uso del suelo, también pueden proteger la biodiversidad y servicios asociados de los ecosistemas, así como disminuir la erosión del suelo y las pérdidas de productividad mediante la intensificación de reforestación y cultivo de árboles, cambios en las prácticas y tecnologías agrícolas, y replanteamiento de la función de las políticas sobre el uso de la tierra en silvicultura y agricultura para el desarrollo sostenible (Hecht, 2012).

Cuadro 3.2 Cobeneficios de la mitigación

Área	Cobeneficio
Económica	<ul style="list-style-type: none"> • Empleo, creación neta de empleos e ingresos • Crecimiento del capital humano • Desarrollo e innovación tecnológica • Competitividad nacional (cadena de valor agregado)
Desarrollo/ medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso a energía y reducción de la pobreza energética • Beneficios para las comunidades locales • Biodiversidad y otros servicios de ecosistemas • Reducción de la erosión de suelos • Mejoramiento de la productividad agrícola • Disminución de la lluvia ácida
Salud humana	<ul style="list-style-type: none"> • Menor contaminación del aire • Mejoramiento de la calidad del agua • Mejoramiento de la gestión de desechos y sanitaria • Mejoramiento de la salud pública, mayor expectativa de vida, reducción de visitas a salas de urgencias y menos días de trabajo perdidos
Estratégica	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad energética • Competitividad nacional

Fuente: Riahi et al. (2011) y elaboración de los autores.

Además, es posible alcanzar simultáneamente metas de cambio climático, contaminación y seguridad energética, con una reducción considerable de los costos de la energía si se da debida cuenta de los múltiples beneficios económicos. Obsérvese que las cifras de inversión y ahorro que se muestran en el Cuadro 3.3 son a nivel mundial. Aunque los ahorros que se pueden lograr en ALC representan una pequeña fracción de estas cifras mundiales de cobeneficios, no dejan de ser significativos⁵⁷.

Cuadro 3.3 Beneficios adicionales del abordaje integral para el logro de objetivos a nivel mundial

Cobeneficio	Inversión necesaria si se procura aisladamente (US\$ MM/año)	Beneficios	Beneficios sinérgicos adicionales del enfoque integral (US\$ MM/año)
Acceso universal a energía moderna (provisión de electricidad y combustible modernos para calefacción y cocina)	22–38	24 millones de DALYs (años de vida ajustados por discapacidad) salvados en 2030	
Controles más eficaces contra la contaminación	200–350 para 2030 (10%-20% de los costos totales de energía)	21 millones de DALYs ahorrados en 2030	Hasta US\$500.000 millones ahorrados anualmente al abordar simultáneamente objetivos climáticos
Mayor seguridad energética (menor dependencia de las importaciones, aumento de las exportaciones y diversificación)		La descarbonización puede reducir la necesidad de subsidios a combustibles fósiles (petróleo y carbón), representando un ahorro de US\$70.000 millones- US\$140.000 millones/año al 2050	La desvinculación generalizada del carbono puede traducirse en ahorros de US\$150.000 millones/año a nivel mundial

Fuente: Riahi et al. (2011) y elaboración de los autores.

⁵⁷ Las alternativas del modelo GEA del IIASA no presentan desgloses de cobeneficios a nivel regional. Por lo tanto, se presentan montos totales.

Referencias bibliográficas

- ACKERMAN, Frank y Elizabeth A. STANTON. 2011. *Climate Risks and Carbon Prices: Revising the Social Cost of Carbon*. Documento de análisis sobre Economía No.2011-40, Kiel Institute for the World Economy. Disponible: <http://www.economics-ejournal.org/economics/discussionpapers/2011-40>.
- AGRAWALA, Shardul y Samuel FANKHAUSER. 2008. *Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Costs, Benefits and Policy Instruments*. París, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), OECD Publishing.
- AGRAWALA, Shardul, Francesco BOSELLO, Carlo CARRARO, Kelly DE BRUIN, Enrica DE CIAN, Rob DELLINK y Elisa LANZI. 2010. *Plan or React? Analysis of Adaptation Costs and Benefits Using Integrated Assessment Models*. Documento de trabajo sobre el medio ambiente No.23 de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). París, OECD Publishing.
- AHMED, Syud A., Noah S. DIFFENBAUGH y Thomas W. HERTEL. 2009. "Climate Volatility Deepens Poverty Vulnerability in Developing Countries". En: *Environmental Research Letters*, Vol. 4, No. 3, 034004.
- ANDERSON, K. Eric, Donald R. CAHOON, Stephen K. GILL, Benjamin T. GUTIERREZ, E. Robert THIELER, James G. TITUS y S. Jeffress WILLIAMS. 2009. "Executive Summary". En: TITUS, James G., K. Eric ANDERSON, Donald R. CAHOON, Dean B. GESCH, Stephen K. GILL, Benjamin T. GUTIERREZ, E. Robert THIELER y S. Jeffress WILLIAMS (Eds.). *Coastal Sensitivity to Sea-Level Rise: A Focus on the Mid-Atlantic Region*, 1-8. Washington, DC, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA).
- ANDRADE, Ángela, Rocío CÓRDOBA, Radhika DAVE, Pascal GIROT, Robert MUNROE, Judy OGLETHORPE, Pía PAABY, Emilia PRAMOVA, James WATSON y Walter VERGARA. 2011. "Draft Principles and Guidelines for Integrating Ecosystem-based Approaches to Adaptation in Project and Policy Design". Documento de análisis, junio. Commission on Ecosystem Management (CEM)/International Union for the Conservation of Nature (IUCN), Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Costa Rica.
- ANGELSEN, Arild, Sandra BROWN, Cyril LOISEL, Leo PESKETT, Charlotte STRECK, Daniel ZARIN. 2009. *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD): An Options Assessment Report*. Preparado para el Gobierno de Noruega.

- ARROW, Kenneth, Robert SOLOW, Paul R. PORTNEY, Edward E. LEAMER, Roy RADNER y Howard SCHUMAN. 1993. "Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation". En: *Federal Register*. Vol. 58, No. 10, págs. 4601-14.
- ASNER, Gregory P., David E. KNAPP, Eben N. BROADBENT, Paulo J. C. OLIVEIRA, Michael KELLER y Jose N. SILVA. 2005. "Selective Logging in the Brazilian Amazon". En: *Science*, Vol. 310, No. 5747, págs. 480-82.
- AUNAN, Kristin, H. Asbjørn AAHEIM y Hans M. SEIP. 2000. "Reduced Damage to Health and Environment from Energy Saving in Hungary". Documento presentado en Expert Workshop on the Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation Strategies. Resources for the Future, Washington, DC, 27-29 de marzo.
- BLASER, Jurgen y Carmenza ROBLEDO. 2007. *Initial Analysis of the Mitigation Potential in the Forestry Sector*. Berna, Secretaría de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC).
- BLAUSTEIN, Andrew R., Susan C. WALLS, Betsy A. BANCROFT, Joshua J. LAWLER, Catherine L. SEARLE y Stephanie S. GERVASI. 2010. "Direct and Indirect Effects of Climate Change on Amphibian Populations". En: *Diversity*, Vol. 2, No. 2, págs. 281-313.
- BOLLEN, Johannes, Bruno GUAY, Stéphanie JAMET y Jan CORFEE-MORLOT. 2009. "Co-Benefits of Climate Change Mitigation Policies: Literature Review and New Results". Documento de trabajo del Departamento de Economía No.693, París, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).
- BRADLEY, Raymond S., Mathias VUILLE, Henry F. DIAZ y Walter VERGARA. 2006. "Threats to Water Supplies in the Tropical Andes". En: *Science*, Vol. 312, No. 5781, págs. 1755-56.
- BRANDO, Paulo M., Daniel C. NEPSTAD, Eric A. DAVIDSON, Susan E. TRUMBORE, David RAY y Plínio CAMARGO. 2008. "Drought Effects on Litterfall, Wood Production and Belowground Carbon Cycling in an Amazon Forest: Results of a Throughfall Reduction Experiment". En: *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. Vol. 363. No.1498, págs. 1839-48.
- BUDDEMEIER, Robert W., Paul L. JOKIEL, Kirby M. ZIMMERMAN, Diana R. LANE, Julie M. CAREY, Geoffrey C. BOHLING y Jeremy A. MARTINICH. 2008. "A Modeling Tool to Evaluate Regional Coral Reef Responses to Changes in Climate and Ocean Chemistry". En: *Limnology and Oceanography: Methods*. Vol. 6, septiembre, págs. 395-411.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2010. *Economics of Climate Change in Latin America and the Caribbean: Summary 2010*. Santiago, ONU.
- . 2012. "Efectos del Cambio Climático en la Costa de América Latina y el Caribe. Impactos". Documento de trabajo preparado para la CEPAL por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, España. Santiago, ONU.
- CEPALSTAT (Bases de Datos y Publicaciones Estadísticas de la Comisión Económica para América Latina). 2012. Disponible: http://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB_CEPALSTAT/Portada.asp.

- CHAO, Benjamin F., Y. H. WU y Y. S. LI. 2008. "Impact of Artificial Reservoir Water Impoundment on Global Sea-level rise". En: *Science*, Vol. 320, No. 5873, págs. 212-41.
- CHURCH, John A. y Neil J. WHITE. 2006. "A 20th Century Acceleration in Global Sea-Level Rise". En: *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, No. L01602.
- CMCC (Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 2007. *Investment and Financial Flows to Address Climate Change*. Bonn, CMCC.
- COMUNICACIÓN NACIONAL DEL PERÚ A LA CONVENCION DE NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO. 2001. "Primera Comunicación", 155. Disponible: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/pernc1.pdf>.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (México). 2009. "Plan Hídrico Integral de Tabasco". Disponible: <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=4&n2=103&n3=194>.
- CONFALONIERI, Ulisses, Bettina MENNE, Rais AKHTAR, Kristie L. EBI, Maria HAUENGUE, R. Sari KOVATS, Boris REVICH y Alistair WOODWARD. 2007. "Human Health". En: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Aporte de Grupo de Trabajo II del Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). PARRY, Martin, Osvaldo CANZIANI, Jean PALUTIKOF, Paul VAN DER LINDEN y Clair HANSON, (Eds.). Páginas 581-615. Cambridge, Cambridge University Press.
- COX, P. M, R. A. BETTS, M. COLLINS, P. P. HARRIS, C. HUNTINGFORD y C. D. JONES. 2004. "Amazonian Forest Dieback under Climate-carbon Cycle Projections for the 21st Century". En: *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 78, No. 1-3, págs. 137-56.
- CURRY, J., M. JELINEK, B. FOSKEY, A. SUZUKI y P. WEBSTER. 2009. "Potential Economic Impacts of Hurricanes in Mexico, Central America, and the Caribbean ca. 2020-2025". En: *Assessing the Potential Consequences of Climate Destabilization in Latin America*. VERGARA, Walter (Ed.). Washington, DC, Banco Mundial.
- DASGUPTA, Susmita, Benoit LAPLANTE, Craig MEISNER, David WHEELER y Jianping YAN. 2007. "The Impact of Sea-level rise on Developing Countries: A Comparative Analysis". Documento de trabajo sobre investigación de políticas No. 4136. Washington, DC, Banco Mundial.
- DAWSON, Brian y Matt SPANNAGLE. 2009. *The Complete Guide to Climate Change*. Nueva York, Routledge.
- DE LUCENA, Andre, Roberto SCHAEFFER y Alexandre SALEM SZKLO. 2010. "Least-cost Adaptation Options for Global Climate Change Impacts on the Brazilian Electric Power System". En: *Global Environmental Change*, Vol. 20, No. 2, págs. 342-50.
- EBI, Kristie L. 2008. "Adaptation Costs for Climate Change-Related Cases of Diarrhoeal Disease, Malnutrition, and Malaria in 2030". En: *Globalization and Health*, Vol. 4, No. 9.
- EBINGER, Jane y Walter VERGARA. 2011. *Climate Impacts on Energy Systems*. Washington, DC, Banco Mundial.
- ELIASCH, Johan. 2008. *Climate Change: Financing Global Forests*. The Eliasch Review. Abingdon y Nueva York, Earthscan Publications, Ltd.

- EMANUEL, Kerry. 2005. "Increasing Destructiveness of Tropical Cyclones over the Past 30 Years". En: *Nature*, Vol. 436, págs. 686–88.
- ENKVIST, Per-Anders, T. NAUCLÉR y J. ROSANDER. 2007. "A Cost Curve for Greenhouse Gas Reduction". En: *The McKinsey Quarterly*. No. 1.
- EUROPEAN COMMISSION. 2008. *Addressing the Challenges of Deforestation and Forest Degradation to Tackle Climate Change and Biodiversity Loss*. COM (2008) 645, Bruselas.
- FERNANDES, Erick C. M., Ayat SOLIMAN, Roberto CONFALONIERI, Marcello DONATELLI y Francesco TUBIELLO. 2012. *Climate Change and Agriculture in Latin America, 2020–2050: Projected Impacts and Response to Adaptation Strategies*. Washington, DC, Banco Mundial.
- FRANCOU, Bernard, Mathias VUILLE, Patrick WAGNON, Javier MENDOZA y Jean-Emmanuel SICART. 2003. "Tropical Climate Change Recorded by a Glacier in the Central Andes during the Last Decades of the Twentieth Century: Chacaltaya, Bolivia, 16°S". En: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 108, No. D5: 4154.
- GITHEKO A. K. y A. Woodward. 2003. "International Consensus on the Science of Climate and Health: The IPCC Third Assessment Report". En: *Climate Change and Human Health: Risks and Responses*. McMICHAEL, A. J., D. H. CAMPBELL-LENDRUM, C. F. CORVALÁN, K. L. EBI, A. K. GITHEKO y J. D. SCHERAGA y otros (Eds.). Páginas 43-60. Ginebra, Organización Mundial de la Salud (OMS).
- GRONDARD, Nicolas, Cyril LOISEL, Aanne MARTINET y Jean Baptiste ROUTIER. 2008. *Analysis of 7 Outstanding Issues for the Inclusion of Tropical Forests in the International Climate Governance*. París, ONF International.
- HALES, Simon, Neil DE WET, John MAINDONALD y Alistair WOODWARD. 2002. "Potential Effect of Population and Climate Changes on Global Distribution of Dengue Fever: An Empirical Model". En: *The Lancet*, Vol. 360, págs. 830-834. Disponible: <http://image.thelancet.com/extras/01art11175web.pdf>.
- HANSEN, James, Makiko SATO y Reto RUEDY. 2012. "Perceptions of Climate Change: The New Climate Dice". En: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*. Vol. 119, págs. 14726-14727.
- HEAL, Geoffrey. 2000. "Valuing Ecosystem Services". En: *Ecosystems*, Vol. 3, No. 1, págs. 24-30.
- HECHT, Susanne B. 2012. "The Natures of Progress: Land Use Dynamics and Forest Trends in Latin America and the Caribbean". Notas técnicas No: IDB-TN-387. Washington, DC, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- HICKLER, Tomas, Benjamin SMITH, I. Colin PRENTICE., Kristina Mjöfors, Paul MILLER, Almut ARNETH y Martin SYKES. 2008. "CO₂ Fertilization in Temperate FACE Experiments Not Representative of Boreal and Tropical Forests". En: *Global Change Biology*, Vol. 14, No. 7, págs. 1531-42.
- HOLDRIDGE, Leslie R. 1947. "Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data". En: *Science*, Vol. 105, No. 2727, págs. 367-68.

- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) (Colombia). 2004. Boletín del 12 al 16 de julio de 2004.
- INAP (Integrated National Adaptation Plan). 2012. Proyecto INAP. Informe Final. Bogotá, Conservación Internacional.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (Brasil). 2010. “Desmatamento Cai”. Disponible: <http://www.inpe.br/ingles/index.php>.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales) (Perú). 2006. Disponible: http://www.inrena.gob.pe/irh/irh_proy_glaciares.htm.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2001. “Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability”. Aporte del Grupo de Trabajo II al Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). McCarthy, James J., Osvaldo F. Canziani, Neil A. Leary, David J. Dokken y Kasey S. White (Eds.). Cambridge, Cambridge University Press.
- . 2007a. “Climate Change (2007): The Physical Science Basis”. En: Aporte del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Cambridge, Cambridge University Press.
- . 2007b. “Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability”. Aporte del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). PARRY, Martin, Osvaldo CANZIANI, Jean PALUTIKOF, Paul VAN DER LINDEN y Clair HANSON (Eds.). Cambridge, Cambridge University Press.
- Jacob, KLAUS, Vivien GORNITZ y Cynthia ROSENZWEIG. 2007. “Vulnerability of the New York City Metropolitan Area to Coastal Hazards, Including Sea-level Rise: Inferences for Urban Coastal Risk Management and Adaptation Policies”. En: *Managing Coastal Vulnerability*. MCFADDEN, Loraine, Robert NICHOLLS y Edmund PENNING-ROWSELL (Eds.). Páginas 141-158. Oxford, Elsevier, Ltd.
- KAIMOWITZ, D. 2008. “The Prospects for Reduced Emissions from Deforestation and Degradation (REDD) in Mesoamerica”. En: *International Forestry Review*. Vol. 10, No. 3, págs. 485-95.
- KASER, Georg, Henry OSMASTON. 2005. Tropical Glaciers. Innsbruck University. Tropical Glaciology Group. http://www.phys.uu.nl/~wwwimau/education/summer_school/karhaus05/more/Lectures/Kaser_Tropglac.ppt.
- KINDERMANN, Georg, Michael OBERSTEINER, Brent SOHNGEN, Jayant SATHAYE, Kenneth ANDRASKO, Ewald RAMETSTEINER, Bernhard SCHLAMADINGER, Sven WUNDER y Robert BEACH. 2008. “Global Cost Estimates of Reducing Carbon Emissions through Avoided Deforestation”. En: *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America (PNAS)*. Vol. 105, No. 30, págs. 10302-07.
- LEARY, Neil, Cecilia CONDE, Jyoti KULKARNI, Anthony NYONG y Juan PULHIN. 2008. *Climate Change and Vulnerability*. Abingdon y Nueva York, Earthscan.

- LEEMANS, Rik. 1989. Global Holdridge Life Zone Classifications. Datos de exploración digital en una rejilla geodésica ortonormal cartesiana de 0.5° (lat./long.) 360x720. Disco flexible, 0,26 MB. Laxenberg, Austria, Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA).
- . 1990. "Possible Changes in Natural Vegetation Patterns Due to a Global Warming". Documento de trabajo del Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA) No. WP-90-08 y Publicación número 108 del Biosphere Dynamics Project. Laxenberg, Austria, Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA).
- LENTON, Timothy M., Hermann HELD, Elmar KRIEGLER, Jim W. HALL, Wolfgang LUCHT, Stefan RAHMSTORF y Hans Joachim SCHELLNHUBER. 2008. "Tipping Elements in the Earth's Climate System". En: *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America (PNAS)*. Vol. 105, No. 6, págs. 1787-93.
- LUGO, A. E., J. S. BARON, T. P. FROST, T. W. CUNDY y P. DITTBERNER. 1999. "Ecosystem Processes and Functioning". En: *Ecological Stewardship: A Common Reference for Ecosystem Management*. SZARO, R. C., N. C. JOHNSON, W. T. SEXTON y A. J. MALK (Eds.). Páginas 219-50. Oxford, Elsevier Science.
- MAGRIN, Graciela, Carlos GAY GARCÍA, David CRUZ CHOQUE, Juan Carlos GIMÉNEZ, Ana Rosa MORENO, Gustavo J. NAGY, Carlos NOBRE y Alicia VILLAMIZAR. 2007. "Latin America". En: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. PARRY, Martin, Osvaldo CANZIANI, Jean PALUTIKOF, Paul VAN DER LINDEN y Clair HANSON (Eds.). Páginas 581-615. Cambridge, Cambridge University Press.
- MALHI, Yadvinder y Oliver L. PHILLIPS. 2004. "Tropical Forests and Global Atmospheric Change—Introduction". En: *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. Vol. 359, págs. 309-10.
- MALHI, Yadvinder, Daniel WOOD, Timothy R. BAKER, James WRIGHT, Oliver L. PHILLIPS, Thomas COCHRANE, Patrick MEIR, Jerome CHAVE, Samuel ALMEIDA, Luzmilla ARROYO, Niro HIGUCHI, Timothy J. KILLEEN, Susan G. LAURANCE, William F. LAURANCE, Simon L. LEWIS, Abel MONTEAGUDO, David A. NEILL, Percy NÚÑEZ VARGAS, Nigel C. A. PITMAN, Carlos Alberto QUESADA, Rafael SALOMÃO, José Natalino M. SILVA, Armando TORRES LESAMA, John TERBORGH, Rodolfo VÁSQUEZ MARTÍNEZ y Barbara VINCETI. 2006. "The Regional Variation of Aboveground Live Biomass in Old-growth Amazonian Forests". En: *Global Change Biology*. Vol. 12, págs. 1107-38. Oxford, Blackwell Publishing, Ltd.
- MAURER, Luiz, Mario PEREIRA y José ROSENBLATT. 2005. *Implementing Power Rationing in a Sensible Way: Lessons Learned and International Best Practices*. Informe 305/05. Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). Washington, DC, Banco Mundial.
- MENDELSON, Robert y Ariel DINAR. 2009. *Climate Change and Agriculture: An Economic Analysis of Global Impacts, Adaptation, and Distributional Effects*. Cheltenham y Northampton, Edward Elgar Publishing.
- MERIDIAN INSTITUTE. 2009. *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD): An Options Assessment Report*. Preparado para el Gobierno de Noruega.

- NAKAEGAWA, Toshi y Walter VERGARA. 2010. "First Projection of Climatological Mean River Discharges in the Magdalena River Basin, Colombia, in a Changing Climate during the 21st Century". En: *Hydrological Research Letters*. Vol. 4, págs. 50-54.
- NELSON, Gerald C., Mark W. ROSEGRANT, Jawoo KOO, Richard ROBERTSON, Timothy SULSER, Tingui ZHU, Claudia RINGLER, Siwa MSANGI, Amanda PALAZZO, Miroslav BARKA, Marilia MAGALHAES, Rowena VALMONTE-SANTOS, Mandy EWING y David LEE. 2009. "Climate Change: Impact on Agriculture and Costs of Adaptation". Food Policy Report 21, Washington, DC, International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- . 2010. "The Costs of Agricultural Adaptation to Climate Change". Documento para análisis No. 4, Washington, DC, Banco Mundial.
- NEMET, G. F., T. HOLLOWAY y P. MEIER. 2010. "Implications of Incorporating Air-quality Co-benefits into Climate Change Policymaking". En: *Environmental Research Letters*. Vol. 5, No. 014007. IOPscience.
- NEPSTAD, D., S. SCHWARTZMAN, B. BAMBERGER, M. SANTILLI, D. RAY, P. SCHLESINGER, A. ALENCAR, E. PRINZ, G. FISKE y A. ROLLA. 2006. "Inhibition of Amazon Deforestation and Fire by Parks and Indigenous Reserves". En: *Conservation Biology*. Vol. 20, No. 1, págs. 65-73.
- NICHOLLS, Robert J. y Richard S. J. TOL. 2006. "Impacts and Responses to Sea-Level Rise: A Global Analysis of the SRES Scenarios over the Twenty-first Century". En: *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. Vol. 364, págs. 1073-95.
- NOAA (Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de EE.UU.). 2012. "NOAA: Carbon Dioxide Levels Reach Milestone at Arctic Sites". EE.UU.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos). 2002. *Ancillary Benefits and Costs of GHG Mitigation: Policy Conclusions*. Grupo de trabajo sobre políticas mundiales y estructurales. París, OCDE.
- OLSEN, Nathalie y Joshua BISHOP. 2009. *The Financial Costs of REDD: Evidence from Brazil and Indonesia*. Gland, International Union for Conservation of Nature (IUCN).
- PEARCE, D. W., W. CLINE, A. ACHANTA., S. FANKHAUSER, R. PACHAURI, R. TOL y P. VELLINGA. 1996. "The Social Costs of Climate Change: Greenhouse Damage and the Benefits of Control". En: *Climate Change 1995 — Economic and Social Dimensions of Climate Change*. BRUCE, J., H. LEE y E. HAITES (Eds.). Páginas 179–224. Cambridge, Cambridge University Press.
- PERERIA, Enio B., Heitor EVANGELISTA, Kelly C. D. PEREIRA, Iracema CAVALCANTI y Alberto W. SETZER. 2006. "Apportionment of Black Carbon in the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula". En: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. Vol. 111, No. D3: D03303.
- PHILLIPS, Oliver L., Simon L. LEWIS, Timothy R. BAKER, Kuo-Jung CHAO y Niro HIGUCHI. 2008. "The Changing Amazon Forest". En: *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. Vol. 363, No. 1498, págs. 1819-27.

- PHILLIPS, Oliver L., Niro HIGUCHI, Simone VIEIRA, Timothy R. BAKER, Kuo-Jung CHAO y Simon L. LEWIS. 2009. "Changes in Amazonian Forest Biomass, Dynamics, and Composition, 1980–2002". En: *Geophysical Monograph Series*. Vol. 186, págs. 373–87. Washington, DC, AGU.
- PNUMA/CEPAL (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2010. Gráficos Vitales del Cambio Climático para América Latina y el Caribe. Panamá, PNUMA.
- RAMÍREZ, Edson. Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). 2012. Comunicación personal.
- RIAH, K., F. DENTENER, D. GIELEN, A. GRUBLER, J. JEWELL, Z. KLIMONT, V. KREY, D. MCCOLLUM, S. PACHAURI, S. RAO, B. VAN RUIJVEN, D. P. VAN VUUREN y C. WILSON. 2011. "2011: Energy Pathways for Sustainable Development". En: *Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future*. GÓMEZ-ECHEVERRI, L., T. B. JOHANSSON, N. NAKICENOVIC y A. PATWARDHAN (Eds.). Laxenburg, Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA); Cambridge y Nueva York, Cambridge University Press.
- ROBINSON, Robert A., Jennifer A. LEARMONTH, Anthony M. HUTSON, Colin D. MACLEOD, Tim H. SPARKS, David I. LEECH, Graham J. PIERCE, Mark M. REHFISCH y Q. P. HUMPHREY CRICK. 2005. "Climate Change and Migratory Species". Informe de investigación 414. British Trust for Ornithology (BTO). Thetford, R.U.
- RUIZ, Daniel, Douglas G. MARTINSON y Walter VERGARA. 2012. "Trends, Stability and Stress in the Colombian Central Andes". En: *Climatic Change*. Vol. 112, No. 3-4, págs. 717–32.
- SALESKA, Scott R., A. HUETE, P. RATANA, H. DA ROCHA, R. TANNUS, N. RESTREPO, B. KRUIJT y C. VON RANDOW. 2007. "What is the Future of Amazon Forests under Climate Change?" Documento presentado en la American Geophysical Union, Spring Meeting. Acapulco, México, del 22 al 25 de mayo.
- SHELLNHUBER, Hans Joachim. 2009. "Tipping Elements in the Earth System". En: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*. Vol. 106, No. 49, págs. 20561-63.
- SEO, S. Niggol y Robert MENDELSON. 2008a. "A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on South American Farms". En: *Chilean Journal of Agricultural Research*. Vol. 68, No. 1, págs. 69-79.
- . 2008b. "An Analysis of Crop Choice: Adapting to Climate Change in Latin American Farms". En: *Ecological Economics*. Vol. 67, No. 1, págs. 109–16.
- . 2008c. "Climate Change Impacts on Latin American Farmland Values: The Role of Farm Type". En: *Revista de Economía e Agronegocio*. Vol. 6, No. 2, págs. 159–76.
- SIMÕES, Jefferson y Heitor EVANGELISTA. 2012. Black Carbon: Signal of Global Pollution and its Impact on Ice Masses. Presentación en PowerPoint. Instituto Nacional de Ciência da Criosfera (INCC). Brasilia.

- SITCH, S., C. HUNTINGFORD, N. GEDNEY, P. E. LEVY, M. LOMAS y S. L. PIAO, R. BETTS, P. CIAIS, P. COX, P. FRIEDLINGSTEIN, C. D. JONES e I. C. PRENTICE. 2008. "Evaluation of the Terrestrial Carbon Cycle, Future Plant Geography and Climate-Carbon Cycle Feedbacks Using Five Dynamic Global Vegetation Models (DGVMs)". En: *Global Change Biology*. Vol. 14, No. 9, págs. 2015-39.
- SPLASH, C. L. y A. VATN. 2006. "Transferring Environmental Value Estimates: Issues and Alternatives". En: *Ecological Economics*. Vol. 60, No. 2, págs. 379-88.
- STERN, Nicholas. 2009. "Changing Economics". En: *Climate Change and Energy Insecurity: The Challenge for Peace, Security and Development*. DOODS, Felix, Andrew HIGHAM y Richard SHERMAN (Eds.). Páginas 80-91. Londres, Earthscan.
- SUAREZ, Pablo, William ANDERSON, Vijay MAHAL y T. R. LAKSHMANAN. 2005. "Impacts of Flooding and Climate Change on Urban Transportation: A Systemwide Performance Assessment of the Boston Metro Area". En: *Transportation and Research Part D: Transport and Environment*. Vol. 10, No. 3, págs. 231-44.
- SUGIYAMA, Masahiro. 2007. "Estimating the Economic Cost of Sea-Level Rise". Disertación para la Maestría en Ciencia en Tecnología y Política, Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Cambridge, EE.UU.
- TEEB. 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. KUMAR, Pushpam. Londres y Washington, Earthscan.
- TOBA, Natsuko. 2009. "Potential Economic Impacts of Climate Change in the Caribbean Community". En: *Assessing the Potential Consequences of Climate Destabilization in Latin America*. VERGARA, Walter (Ed.). Washington, DC, Banco Mundial.
- TUBIELLO, FRANCESCO, Josef SCHMIDHUBER, Mark HOWDEN, Peter G. NEOFOTIS, Sarah PARK, Erick FERNANDES y Dipti THAPA. 2008. "Climate Change Response Strategies for Agriculture: Challenges and Opportunities for the 21st Century". Documento para análisis sobre agricultura y desarrollo rural No. 42, Washington, DC, Banco Mundial.
- VERGARA, Walter. 2009. "Climate Hotspots: Climate-Induced Ecosystem Damage in Latin America". En: *Assessing the Potential Consequences of Climate Destabilization in Latin America*. VERGARA, Walter (Ed.). Washington, DC, Banco Mundial.
- VERGARA, Walter y Sebastian M. SCHOLZ. 2011. *Assessment of the Risk of Amazon Dieback*. Washington, DC, Banco Mundial.
- VERGARA, Walter, Natsuko TOBA, Daniel MIRA-SALAMA y Alejandro DEEB. 2009. "The Potential Consequences of Climate-induced Coral Loss in the Caribbean by 2050-2080". En: *Assessing the Potential Consequences of Climate Destabilization in Latin America*. VERGARA, Walter (Ed.). Washington, DC, Banco Mundial.
- VERGARA, Walter, A. M. DEEB, A. M. VALENCIA, R. S. BRADLEY, B. FRANCOU, A. ZARZAR, A. GRÜN WALDT y S. M. HAEUSSLING. 2007. "Economic Impacts of Rapid Glacier Retreat in the Andes". En: *EOS*. Vol. 88, No. 25, págs. 261-68.

- VERNEER, Martin y Stefan RAHMSTORF. 2009. "Global Sea Level Linked to Global Temperature". En: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*. Vol. 106, No. 51, págs. 21527-32.
- WEBSTER, P. J., G. J. HOLLAND, J. A. CURRY y H.-R. CHANG. 2005. "Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment". En: *Science*. Vol. 309, No. 5742, págs. 1844-46.
- WILBANKS, Thomas J., Paul LEIBY, Robert PERLACK, J. Timothy ENSMINGER y Sherry B. WRIGHT. 2007. "Toward an Integrated Analysis of Mitigation and Adaptation: Some Preliminary Findings". En: *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. Edición especial. Vol. 12, No. 5, págs. 713-25.
- WILLIAMS, S. J., B. T. GUTIERREZ, J. G. TITUS, S. K. GILL, D. R. CAHOON, E. R. THIELER, K. E. ANDERSON, D. FITZGERALD, V. R. BURKETT, J. P. SAMENOW y D. B. GESCH. 2009. "Chapter 1: Sea-level Rise and Its Effects on the Coast". En: *Coastal Elevations and Sensitivity to Sea-level Rise: A Focus on the Mid-Atlantic Region*. TITUS, James G. (Ed.). Páginas 11-24. Washington, DC, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA).
- WORLD BANK. 2010. *Economics of Adaptation to Climate Change: Synthesis Report*. Washington, DC, Banco Mundial.
- WRI (World Resources Institute). 2012. CAIT (Climate Analysis Indicators Tool), Versión 9.0. Washington, DC, WRI.
- WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza). 2011. *Living Forest Report 2011*. Suiza, WWF.

Escenarios de emisiones del IPCC

En 1996, el IPCC decidió preparar un nuevo conjunto de escenarios de emisiones (conocido como el Informe Especial del IPCC Escenarios de Emisiones, o IE-EE), que sirvió de insumo para el Tercer Informe de Evaluación del IPCC (AR3) en 2001. Los escenarios planteados en el IE-EE también se usaron en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (AR4), en 2007. Desde entonces, los escenarios del IE-EE han sido objeto de discusión, porque el crecimiento del volumen de emisiones desde 2000 puede haberlos relegado a la obsolescencia. El IPCC ha presentado un nuevo conjunto de trayectorias en su quinto informe de evaluación.

Los escenarios planteados en el IE-EE abarcan los determinantes principales de futuras emisiones, desde aspectos demográficos hasta la evolución tecnológica y económica. Ninguno de los escenarios contempla políticas futuras explícitamente concebidas para abordar el cambio climático, aunque todos ellos necesariamente abarcan diversas políticas de otros tipos y sectores. El conjunto de escenarios de emisiones del IE-EE se basa en una extensa revisión de literatura, seis metodologías alternativas de modelos y un amplio “proceso abierto” que requirió amplia participación y comentarios de numerosos grupos e individuos de la comunidad científica. Los escenarios del IE-EE incluyen todas las emisiones relevantes de GEI y de azufre, así como las fuerzas que los determinan.

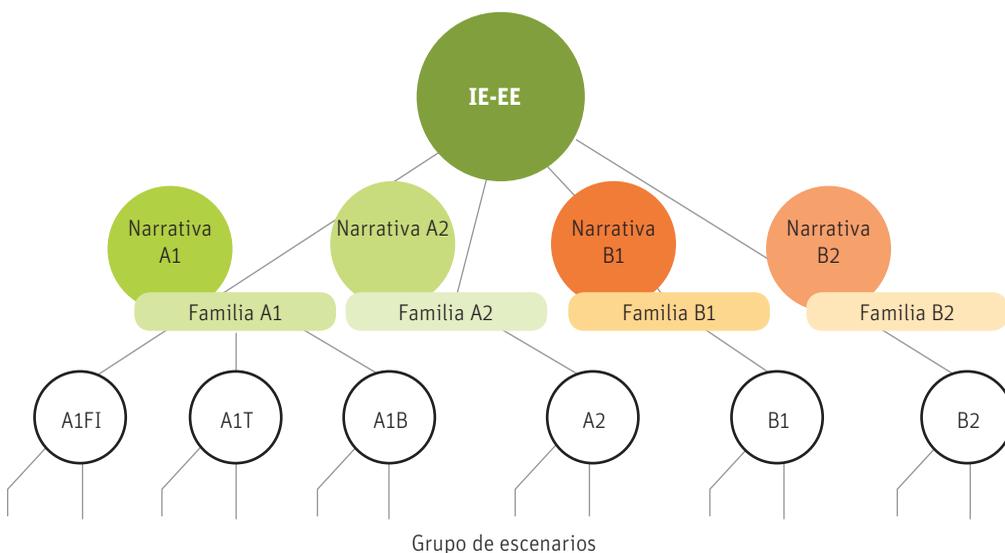
Para los escenarios, el IPCC elaboró diferentes argumentos narrativos para describir las relaciones entre las fuerzas que determinan las emisiones y la evolución de éstas a través del tiempo (Gráfico A1.1). Cada narrativa representa diferente desarrollo demográfico, social, económico, tecnológico y ambiental. Cada escenario de emisiones representa una interpretación cuantitativa específica distinta de una de las cuatro narrativas. Todos los escenarios basados en el mismo argumento constituyen lo denominado familia de escenarios.⁵⁸

La narrativa A1 describe un mundo futuro caracterizado por un crecimiento económico rápido, una población mundial que alcanza su punto máximo a mediados del siglo XXI (y posteriormente comienza a disminuir) y rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Los principales temas subyacentes son la convergencia entre regiones, crecimiento de capacidades y mayor interacción cultural y social, con una reducción considerable de las diferencias de ingreso per cápita entre las diversas regiones. La familia de escenarios A1 se desarrolla en tres grupos

⁵⁸ Para cada narrativa se han utilizado varios escenarios distintos utilizando diferentes modelos.

en los que se describen direcciones alternativas que podría tomar el cambio tecnológico en el sistema energético: fuentes de energía altamente dependientes de combustibles fósiles (A1F1), fuentes de energía no dependientes de combustibles fósiles (A1T) y un escenario de equilibrio entre todas las fuentes de energía (A1B).

Gráfico A 1.1 Ilustración Esquemática de los Escenarios IE-EE



Fuente: Adaptado del IPCC (2000).

Por su parte, la narrativa A2 describe un mundo más heterogéneo. Su característica principal es la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. La población mundial exhibe un crecimiento continuo. El desarrollo económico se orienta básicamente en forma regional y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico son más fragmentados y se producen con mayor lentitud que en las demás narrativas.

Similar a la narrativa A1, la B1 describe un mundo convergente cuya población total alcanza un máximo a mediados del siglo y comienza a disminuir posteriormente. Sin embargo, en B1 se producen cambios rápidos de las estructuras económicas hacia una economía de servicios e información, junto con una reducción de la intensidad en el uso de materiales y la introducción de tecnologías limpias y de uso eficiente de recursos. El énfasis es en soluciones mundiales que incluyan mayor equidad sin requerir iniciativas climáticas adicionales.

La narrativa B2 describe un mundo en el que se le da prioridad a las soluciones locales dirigidas a alcanzar la sostenibilidad económica, social y ambiental. Contempla una población mundial en continuo aumento pero a un ritmo menor que la línea A2, niveles medios de desarrollo económico y un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las narrativas B1 y A1. Este escenario también se orienta hacia la protección del medio ambiente y equidad social al centrarse principalmente en los niveles local y regional.

El Cuadro A1.1 muestra una síntesis de los cambios de temperatura probables en cada uno de los escenarios antes descritos.

Cuadro A1.1 Calentamiento proyectado promedio de la superficie del planeta y aumento proyectado del nivel del mar a finales del Siglo XXI: diferentes escenarios IE-EE

Caso	Cambio de temperatura (°C at 2090-2099 comparado con 1980-1999) ^{a,b}		Aumento del nivel del mar (m en 2090-2099 comparado con 1980-1999)
	Mejor estimado	Rango probable	Rango que excluye futuros cambios dinámicos rápidos en las capas de hielo
Concentraciones constantes del año t2000 ^c	0,6	0,3 – 0,9	Datos no disponibles
Escenario B1	1,8	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38
Escenario A1T	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
Escenario B2	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43
Escenario A1B	2,8	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48
Escenario A2	3,4	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51
Escenario A1FI	4,0	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59

Fuente: IPCC (2007).

Notas: Los escenarios presentados son escenarios marcadores IE-EE. Concentraciones aproximadas de CO₂e –correspondientes al forzamiento radiactivo calculado debido a GEI antropogénicos y aerosoles en 2100 (ver pág. 823 del AR3 del Grupo de Trabajo I)– de los escenarios IE-EE B1, A1T, B2, A1B, A2 y A1FI son de alrededor de 600, 700, 800, 850, 1.250 y 1.550 ppm respectivamente.

^a Las temperaturas corresponden a estimaciones aproximadas y rangos de incertidumbre de la jerarquía de modelos con diversos grados de complejidad, así como limitaciones propias de las observaciones.

^b Las variaciones de temperatura se expresan como la diferencia respecto del período 1980-1990. Para expresar la variación en comparación con el período 1850-1899 y de 0,5°C.

^c Composición constante del año 2000 a partir de los Modelos de Circulación General Atmosférica-Oceánica (AOGCMs, por su sigla en inglés).

Escenarios GEA del IIASA

La intervención moderada (o de energía) que se presentan en este informe se derivan de las tres principales alternativas de transformación (eficiencia, oferta y combinada) del modelo MESSAGE de GEA de IIASA y su base de datos.⁵⁹ El propósito de la base de datos de escenarios GEA es documentar los resultados y las suposiciones de las vías GEA de transformación y sirve de repositorio de datos para la divulgación de la información sobre los escenarios del GEA.⁶⁰ Para los fines del presente informe, a fin de comparar el potencial de que ALC adopte enfoques de mitigación más basados en el uso de la tierra que en el sector energético, se han eliminado de las alternativas GEA de transformación las intervenciones relacionadas con las emisiones generadas por el uso de la tierra, dejando únicamente alternativas de intervención enfocadas en el sector energía y reducciones de GEI generadas exclusivamente por actividades de generación y uso de energía. Por otro lado, las alternativas de uso de la tierra (ZNDD 2020/ZNLU 2030, ZNDD 2020/ZNLU 2030+ y AFOLU+) fueron elaboradas con base en las relaciones proyectadas entre i) costos financieros proyectados (inversión/gasto) requeridos y ii) reducciones de emisiones observadas en el ámbito de intervenciones en el uso de la tierra y agricultura previstas en las alternativas de transformación “completas” originales de la base de datos GEA (ver una explicación más detallada de las alternativas y proyecciones en el Apéndice 3).

Cada una de las tres principales alternativas modificadas GEA representa niveles altos (eficiencia), bajos (oferta) o intermedios (combinados) de mejoras en eficiencia energética en el futuro. Ésta es la primera diferencia crítica y determinante entre estos tres grupos de opciones. A su vez, cada una de las 41 alternativas GEA comparte esta característica de eficiencia determinante con el “caso ilustrativo” de su grupo particular (de un modo similar a la familia de narrativas usadas por el IPCC en la creación de sus escenarios; ver Apéndice 1). Aunque en los tres grupos de alternativas asumen que al menos cierta medida de mejoramiento sobre el nivel histórico de disminución de la intensidad energética, en la vía GEA de eficiencia se asume la reducción más importante, mientras que en la vía GEA de oferta sólo se registran mejoras menores con respecto al ritmo histórico y hacia el futuro. Entretanto, la vía GEA combinada exhibe un nivel intermedio de eficiencia energética y una disminución de la intensidad energética.

⁵⁹ Ver <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/ene/geadb/dsd?Action=htmlpage&page=about#intro>.

⁶⁰ Para una descripción completa del modelo MESSAGE de GEA y de sus respectivas alternativas (incluyendo en particular las tres alternativas “ilustrativas” mencionadas en este informe, ver Riahi et al. (2011).

Cada alternativa GEA puede además distinguirse al menos levemente de cada una de las demás opciones, incluso dentro del mismo grupo, por lo siguiente:

- El tipo de sistema de transporte (es decir, una infraestructura convencional y tradicional a base de combustibles líquidos, contrastada con una infraestructura avanzada de transporte eléctrico y, en algunos casos, con cierto uso de hidrógeno), que se asume dominará en la economía del futuro
- Las fuentes de energía —o tecnologías— que se supone serán incluidas (o excluidas) de la matriz de energía y tecnología en una alternativa en particular

Por lo tanto, el primer “punto de ramificación” de una futura realidad energética en escenarios (o alternativas) claramente diferenciados, depende del futuro nivel preferido o potencial de eficiencia energética. El segundo punto de ramificación importante de estos tres escenarios en más alternativas es el tipo de sistema de transporte (convencional o avanzado). Por último, el tercer punto de división ramificación de los distintos escenarios en las 41 opciones potenciales incluye la gama de fuentes de energía y tecnologías que se incluirán (o excluirán) en el futuro.

Las alternativas que en el presente estudio se conocen como de intervención moderada son básicamente idénticas a las tres opciones ilustrativas GEA —combinada, eficiencia y de oferta (en este estudio, Combinada-I, de Eficiencia-I y de Oferta-I). Además, las versiones de las tres alternativas de intervención moderada (o del sector energético) consideradas en el análisis asumen lo siguiente:

- Sólo se incluyen las intervenciones energéticas (reducción de gastos y emisiones) de la alternativa (reducciones de gastos no relacionados con el sector energía y de emisiones son excluidos y se usan como base para la elaboración de las distintas opciones de uso de la tierra)
- El sistema de transporte se transforma en el tiempo, pasando del sistema convencional actual basado en combustibles líquidos a uno avanzado basado en electricidad
- En cada una de las alternativas se produce un desarrollo sin energía nuclear

La inclusión de una segunda alternativa de intervención moderada (Combinada-II) en este análisis es para fines comparativos y permite tomar en cuenta dos vías distintas de desarrollo de la futura infraestructura del sector del transporte. En la vía Combinada-II (transporte convencional) se mantiene el sistema de transporte convencional actual, basado en combustibles líquidos, pero en el cual los medios de transporte dependientes del petróleo van cediéndole el paso paulatinamente a los biocombustibles (y, en cierta medida, a combustibles sintéticos de transición de gas a líquidos). Por el contrario, en la vía Combinada-I (sistema avanzado de transporte) se produce una transformación sistémica del sector del transporte mediante la electrificación de la combinación de medios de transporte.

Además, todas las alternativas GEA también comparten algunas características determinantes, la más significativa de las cuales es una considerable mitigación de emisiones de GEI en el futuro. En cada una de las 41 alternativas GEA que ha evaluado el IIASA, se determina que esta reducción de emisiones es lo suficientemente importante como para ser un aporte regional adecuado para una defensa mundial creíble del límite de concentración atmosférica de 450 partes por millón (ppm) y del nivel de resguardo de dos grados centígrados (2°C) para 2050 (Riahi et al, 2011). De hecho, ésta es un supuesto base del modelo. No obstante, incluso antes de eliminar las alternativas de reducciones de emisiones de AFOLU, las opciones del modelo GEA sólo alcanzan a llevar a ALC a un nivel de alrededor de 3,2 tpc anuales, necesitándose así las intervenciones más profundas, eficaces y también más costosas de AFOLU.

Si las vías GEA se presentan como escenarios de intervenciones en el sector energía únicamente, pueden llevar a ALC a entre 3,4 tpc y 4,3 tpc para 2050, y por lo tanto puede ser necesario complementarlas con medidas de políticas de AFOLU considerablemente más intensivas para implementar la alternativa de intervención (combinada) Energética Combinada-I+ (plus) y alcanzar la meta para ALC de 2 tpc al año para 2050. En otras palabras, las intervenciones en el sector energético permiten llevar las emisiones per cápita de ALC de 9,3 tpc al año en la trayectoria sin

cambios (BAU) a menos de 4 tpc, 2 tpc restantes serán necesarias de reducir mediante intervenciones en AFOLU para poder alcanzar la meta de 2 tpc en 2050.

En todas las vías GEA del IIASA se contempla una medida importante de desacoplamiento del sector energético del carbono, alcanzándose un nivel de 60% a 80% de fuentes de bajo carbono en la matriz primaria de energía en las cuatro alternativas, y de 75% a 100% de la combinación de fuentes de energía eléctrica en todos los casos, para 2050. Por ejemplo, en la alternativa de referencia del presente estudio —la vía Energica Combinada-I— la combinación de fuentes de energía eléctrica alcanza un desacoplamiento del carbono de 97% en 2050.

En este informe, se considera que la denominada alternativa de intervención moderada es la vía Combinada-I del sector energía, y que la opción de intervención energética es la vía Energica Combinada-I+, a menos que otra alternativa sea explícitamente identificada como tal.

Características, supuestos, beneficios compartidos y cobeneficios de las alternativas GEA

Las 41 alternativas globales (cuando se incluyen todas las emisiones del sector energético y de AFOLU de todo el planeta) pueden contribuir a limitar eficazmente la temperatura media mundial a no más de 2°C sobre los niveles preindustriales, reduciendo rápidamente las emisiones generadas por el sector energía (y alcanzando ciertos niveles de reducción de emisiones de AFOLU sobre el BAU). A nivel mundial, las emisiones alcanzarán su nivel máximo aproximadamente en 2020, para luego ubicarse en 30%-70% de los niveles de 2000 en 2050. En última instancia, bajarán casi a cero o pueden llegar incluso a adquirir valores negativos en la segunda mitad del siglo.

Todas las alternativas GEA del sector energía involucran un cambio rápido, a lo largo de los próximos 20 años, de los tradicionales combustibles a partir de biomasa a combustibles modernos, conjuntamente con un acceso (casi) universal a formas de energía modernas (tanto electricidad como combustibles modernos para calefacción y cocina). La inversión que se requiere a nivel mundial para reducir esta pobreza energética, lo cual se supone en todas las alternativas, va desde US\$22.000 millones a US\$38.000 millones anuales (la mitad de ese monto, en África), según el IIASA. Dicha inversión puede ahorrar 24 millones de años de vida ajustados por discapacidad (DALY, por su sigla en inglés) en 2030, gracias a las mejoras de salud producidas por el acceso a fuentes modernas de energía dado el desplazamiento de fuentes energéticas tradicionales basadas en biomasa.

Todas las vías GEA relacionadas con el sector energético contemplan el establecimiento de controles de contaminación considerablemente más estrictos a través de la inversión a nivel mundial de US\$200.000 millones a US\$350.000 millones al año para 2030 (de 10% a 20% de los costos de energía). Dichas inversiones pueden ahorrar 21 millones de DALY en 2030.

Todas las alternativas GEA asumen una mayor seguridad energética por virtud de una menor dependencia de las importaciones, diversificación de las fuentes y mayor resiliencia de los sistemas energéticos (y, en particular, de los sectores eléctricos). Enfocarse en la eficiencia y la energía renovable puede duplicar la oferta energética doméstica primaria, reduciendo así considerablemente la dependencia en las importaciones. También posibilita (adaptado de Riahi et al., 2011):

- Mejorar el ritmo de caída histórica de la intensidad energética (de 1,2% al año desde los años 70); una merma de 1,5% anual lograda en la alternativa de oferta, comparada con una de 2,2% en la opción de eficiencia. No obstante, las diversas alternativas suponen diferentes niveles de uso de energía final: en el caso de ALC, las opciones de eficiencia pueden producir niveles de demanda de energía por parte del usuario final de alrededor de 50% menores que en el escenario BAU en 2050; las opciones combinadas implican un uso de energía 40% menor que en el BAU en 2050, y en las alternativas de oferta se reduce el uso final de energía en apenas 23% por debajo del nivel del BAU en 2050

- Cartera amplia de opciones de oferta que se concentre en fuentes renovables no combustibles de bajo carbono, bioenergía, y energía nuclear, así como en la captación y almacenamiento de carbono (CCS). Esta cartera alcanzaría una participación de fuentes de bajo carbono en la matriz de energía primaria de 60% a 80% al 2050. Las alternativas específicas planteadas en este estudio descartan la energía nuclear
- Expansión considerable de las fuentes de energía renovable comenzando de inmediato y que en última instancia alcance 165-650 EJ (exajulios) de energía primaria en el 2050
- Aumento de la tecnología de almacenamiento que contemple energía solar variable/intermitente y energía eólica
- Crecimiento en bioenergía, especialmente en el mediano plazo, a 80-140 Mj (megajulios) al 2050. Esto implica un extenso uso de residuos agrícolas y una segunda generación de tecnología bioenergética para mitigar el impacto adverso del uso de la tierra y de la producción de alimentos
- Mayor uso de CCS generado por combustibles fósiles, como tecnología puente en el mediano plazo y un incremento de la dependencia en CCS y biotecnología en el largo plazo (si la demanda es alta, se necesitará una capacidad de almacenamiento de 250 GtCO_{2e} al 2050)
- Desacoplamiento del sector eléctrico del carbono, con el bajo carbono aportando entre el 75% y el 100% de la matriz de energía en 2050. Eliminación gradual del carbón convencional (sin CCS) y uso de la generación termoeléctrica a partir de gas como tecnología puente o de transición de “menos carbono” en el corto y el mediano plazos
- Mejoras en el sector del transporte, lo que comprende la posibilidad de electrificación, introducción de vehículos que funcionen con hidrógeno, o un mayor desarrollo de la infraestructura actual de transporte basado en combustibles líquidos en la que los biocombustibles y los combustibles sintéticos vayan reemplazando cada vez más al petróleo
- Reducción del uso de combustibles fósiles. Una vez que el petróleo alcance su punto máximo de uso en el sector del transporte en 2050, su uso se irá reduciendo cada vez más en el mediano plazo y el uso de biocombustibles líquidos irá aumentando progresivamente en el corto y mediano plazo. A largo plazo, la combinación de combustibles líquidos y gaseosos estará determinada por decisiones futuras sobre el tipo de sistema de transporte y avances tecnológicos

Todas las alternativas exigen inversiones —a escala mundial— por el orden de US\$1,7 billones a US\$2,2 billones anuales (comparado con el nivel actual de US\$1,3 billones). De ese total será preciso destinar entre US\$300.000 millones y US\$550.000 millones anuales a medidas y tecnologías de aprovechamiento eficiente de la energía del lado de la demanda. A nivel global, las inversiones totales requeridas pueden ascender a 2% del PIB mundial. Existe un papel limitado para la energía nuclear en algunas versiones de las alternativas, pero puede ser completamente evitado sin afectar de manera significativa la adicionalidad financiera neta.

Fundamentos de las proyecciones de “adicionalidad financiera neta” y de costos de mitigación

En el Capítulo 2 se presentaron las proyecciones de costos financieros de una serie de posibles alternativas de mitigación que pueden ayudar a ALC a alcanzar las metas de estabilización climática en el 2050 (véase el Cuadro 2.5). Pero dichas proyecciones son globales —presentadas sin desglose por sector o por tipo de actividad— y regionales con respecto a la unidad geográfica de análisis objeto del presente estudio (ALC). Por su parte, la base de datos del modelo GEA de IIASA contiene proyecciones suficientemente detalladas que permiten elaborar proyecciones de “adicionalidad financiera neta” por sector (o por componente de actividad de intervención). En el Cuadro 2.9 se presentó este otro tipo de proyecciones de adicionalidad financiera neta más detalladas con respecto a una serie de elementos principales de actividad (o sector de inversión) de la vía Energética Combinada-I (plus), una de las vías con el potencial de permitir que ALC alcance las metas de mitigación al 2050. Este Apéndice presenta los detalles del proceso de formulación de proyecciones de costos por actividad.

La base de datos GEA del IIASA contiene proyecciones a nivel mundial y para las principales regiones (entre ellas ALC) para los años 2005 hasta el 2100. Estas incluyen categorías de GEI; requerimientos de inversión y gasto; niveles de uso de energía primaria, secundaria y final (desglosados por tipo de energía); y niveles de demanda final de energía, junto con una serie de otros indicadores de energía, emisiones y economía (ver en el Apéndice 2 mayores detalles sobre el modelo y la base de datos GEA del IIASA).

IIASA ha elaborado la mayoría de las proyecciones para una trayectoria “contrafáctica” de la región hasta el 2100. Estas proyecciones, presentadas periodos de diez años (y todas en términos de dólares de 2005 equivalentes) constituyen la base de la trayectoria sin cambios (BAU) de este estudio para ALC. Además de la trayectoria BAU, el IIASA también ha preparado proyecciones de 41 escenarios distintos de alternativas de intervención, agrupados en categorías alrededor de tres alternativas ilustrativas: eficiencia (Eficiencia), combinadas (Combinada) y de oferta (Oferta) (ver Apéndice 2). Estas opciones ilustrativas se diferencian principalmente por el nivel de relativos avances que se asume obtendrá la eficiencia energética al 2050. También se diferencian en cuanto al supuesto sobre el sistema de transporte del futuro: infraestructura convencional dependiente de combustibles líquidos o electrificación (ver Apéndice 2).

En este informe tres alternativas ilustrativas del IIASA han sido directamente adoptadas, con las siguientes advertencias:

- La alternativa ilustrativa Combinada del IIASA se basa en la suposición de que el sector del transporte continuará dependiendo de la mezcla de combustibles líquidos convencionales con su respectiva infraestructura, mientras que la versión Combinada-I que se presenta en este informe se basa en un sistema avanzado de transporte eléctrico
- La versión de las vías ilustrativas del IIASA presupone un rol (sumamente limitado) de la energía nuclear en la futura matriz energética de ALC, mientras que las alternativas ilustrativas analizadas la excluyen
- Las intervenciones del uso de la tierra y agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU) se han eliminado de las alternativas del modelo GEA que se usan en este informe. Pero las intervenciones en AFOLU, que se exponen por separado como opciones de uso de la tierra, han sido reinsertadas en las alternativas energéticas o “combinadas”

Estas tres alternativas del IIASA en conjunto constituyen el grupo de opciones moderadas (energía) del presente estudio (todas las cuales alcanzan un nivel de emisiones per cápita en ALC de 3,4-4,3 toneladas, exclusivamente mediante la reducción de las emisiones del sector energético). Por lo tanto, las proyecciones totales de adicionalidad financiera neta de ALC para las tres alternativas de intervención moderada (presentadas en el Cuadro 2.7) se han tomado directamente de la base de datos GEA. Los datos brutos de la GEA fueron refinados restándoles los niveles de la proyección BAU propia de la GEA, para producir un nivel neto de adicionalidad financiera—es decir, la cantidad “extra” de financiamiento que ALC deberá movilizar por encima de lo necesario en la trayectoria BAU.

Como fue mencionado más brevemente en el texto principal de este estudio, las proyecciones de las alternativas de AFOLU se elaboraron de forma independiente, pero se basan en ciertos elementos medulares de las proyecciones GEA. En las proyecciones de las alternativas energéticas (o combinadas) se combinan las proyecciones de la vía de AFOLU propia de este estudio (basadas, en sí mismas, en ciertas proyecciones del IIASA) con las de las opciones moderadas (energía) de la base de datos GEA del IIASA.

Cada vía energética fue formulada independientemente, produciendo ciertos cambios en los costos financieros adicionales netos de los sectores de AFOLU, y por lo tanto se desvía en menor medida de una suma total estricta de las proyecciones de las alternativas de AFOLU y del sector energético.

En este apéndice se presenta un resumen paso a paso del proceso que se utilizó para preparar las proyecciones de costos de AFOLU. Este ejercicio será seguido por una explicación similar de cómo fueron formuladas las proyecciones para la alternativa energética.

Costos por actividad de las alternativas de uso de la tierra (AFOLU)

La alternativa ZNDD 2020/ZNLU 2030, mediante iniciativas con respecto a la deforestación y otras relacionadas con el uso de la tierra, puede lograr: i) cero deforestación neta en ALC al 2020 y ii) cero emisiones netas por deforestación y uso de la tierra en el sentido más amplio (es decir, LULUCF, pero sin agricultura) al 2030, manteniendo indefinidamente este nivel de cero emisiones netas de ZNLU. Esta alternativa contempla una proyección de US\$37.000 millones anuales al 2050 en términos de “adicionalidad financiera neta” necesaria en toda la región de ALC. Esta proyección fue estimada de la siguiente forma:

Cada una de las alternativas “ilustrativas” GEA del IIASA incluye cierta medida de reducción de emisiones en el sector AFOLU. Sin embargo, las opciones combinadas sólo contemplan beneficios leves con respecto a las emisiones del uso de la tierra —menos de 50% de la disminución (con respecto a los niveles de 2010) comparados con la reducción de emisiones del uso de la tierra que el IIASA asume se obtendrán en BAU. La alternativa Combinada-I puede reducir esas emisiones anuales a 0,23 GtCO₂e en el 2050, mientras que la vía Combinada-II puede llevar estas emisiones del uso de la tierra a 0,18 GtCO₂e.

Además, para cada una de estas alternativas, IIASA ha proyectado “gastos no relacionados con la energía” necesarios en segmentos anuales de 10 años hasta el 2100:

- US\$31.400 millones anuales en 2050 en la alternativa Combinada-I (sistema avanzado de transporte, sin energía nuclear)
- US\$39.000 millones anuales en la alternativa Combinada-II (transporte convencional, sin energía nuclear)
- US\$38.400 millones anuales en 2050 en la alternativa Combinada-II con transporte convencional y una cartera completa, es decir, la opción combinada “ilustrativa” de IIASA

Según IIASA, esta categoría “no relacionada con la energía” abarca gastos por recuperación y ampliación de sumideros de carbono (incluidas REDD/REDD+ y actividades relacionadas), junto con los gastos dirigidos a actividades de mitigación de emisiones de gases distintos al CO₂, incluyendo el N₂O y el CH₄ tanto en la agricultura como en el sector industrial (y en cierta medida, también en el sector de desechos).⁶¹

Sin embargo, IIASA no presenta una división del requerimiento de gastos entre estas diversas iniciativas de reducción de emisiones no relacionadas con el sector energético. Por esta razón, en este informe se aplica un método distinto para determinar la magnitud de los gastos que se necesitan en sumideros —según las proyecciones del IIASA— para lograr la cantidad adicional de reducción de emisiones del uso de la tierra garantizadas en estas alternativas moderadas.

Con este objetivo, se desarrolla un valor sustituto para los gastos proyectados en el uso de la tierra y sumideros tomando la proyección de gastos anuales no relacionados con el sector energético al 2050 de GEA del IIASA para una versión específica de la alternativa combinada (una que incluye el transporte convencional y que permite que la energía nuclear compita en la cartera tecnológica, pero que excluye actividades de uso de la tierra y sumideros).⁶² Esto arroja una cifra de gastos financieros anuales proyectados para cada década hasta 2050 (US\$470 millones al año en la década de 2020; US\$2.500 millones al año en la de 2030; US\$4.600 millones al año en la de 2040 y US\$5.900 millones al año en la de 2050) por concepto de gastos no relacionados con el sector energético (de los que se han eliminado gastos de protección y ampliación neta de sumideros, al menos en las áreas de silvicultura y cambio del uso de la tierra).

A continuación se restan los gastos proyectados no relacionados con el sector energético de la alternativa Combinada-II (sin sumideros) de la cifra total de “gastos no relacionados con el sector energético” (US\$2.700 millones al año en 2020; US\$9.000 millones al año en 2030; US\$20.300 millones al año en 2040 y US\$38.400 millones al año en 2050) de la alternativa Combinada-II (opción ilustrativa de IIASA —con transporte convencional y sin restricciones en su cartera tecnológica), para llegar a los gastos totales anuales no relacionados con el sector eléctrico necesarios para el mantenimiento y ampliación neta de sumideros bajo la alternativa Combinada-II (US\$2.200 millones al año en la década de 2020; US\$6.400 millones al año en la de 2030; US\$15.700 millones al año en la de 2040 y US\$32.500 millones al año en la de 2050).

⁶¹ Aunque la definición de esta categoría de “gastos no relacionado con el sector energía” de la base de datos GEA no incluye “gastos por concepto de mitigación no relacionada con el sector energético, como la mitigación de emisiones de gases F, CH₄ y N₂O en el sector industrial, agrícola y de desechos”, los investigadores del IIASA han constatado que esta categoría considera gastos relacionados con los sumideros (es decir, la deforestación y el uso de la tierra, o AFOLU/REDD+). Pero IIASA no ha elaborado divisiones más detalladas de esta categoría separando las inversiones de los gastos distintos a la inversión, ni desglosando los niveles secundarios entre sumideros (CO₂), sector industrial (principalmente N₂O); agricultura, (N₂O y CH₄), y desechos (CH₄). Por lo tanto, fue necesario hacer ciertas suposiciones o confiar en datos sobre proyecciones del GEA para transformarlas en las proyecciones propias de los autores, como se explica en este apéndice.

⁶² No fue posible crear este valor sustituto usando una alternativa que excluyera la energía nuclear. Ninguna de las 41 opciones potenciales de IIASA excluye tanto la energía nuclear como los sumideros de carbono. Sin embargo, sólo hay una pequeña variación entre las alternativas de IIASA en términos de gasto total no relacionado con el sector energético y ganancias relativas en términos de emisiones del uso de la tierra con respecto al escenario BAU. (Este es el caso de todas las alternativas de IIASA usadas como base de este estudio.) Por lo tanto, el uso de este valor sustituto luce razonable. Pero cuando se usa este valor sustituto del gasto relacionado con el uso de la tierra y los sumideros para producir cada una de cuatro alternativas de manera independiente, se divide entre la reducción de emisiones del uso de la tierra de cada opción independiente (no simplemente la lograda en la opción ilustrativa combinada). Debido a lo anterior, si bien todas las alternativas de AFOLU usan el valor sustituto para los gastos de sumideros y reducciones de emisiones del uso de la tierra obtenidas en la opción ilustrativa combinada del IIASA, las alternativas de energía usan la variable sustituta pero comparándola con sus propias reducciones en emisiones del uso de la tierra, las cuales siempre son levemente distintas a las logradas en la opción ilustrativa combinada. De esta manera, las alternativas energéticas varían levemente del total que resultaría de sumar opciones de AFOLU y de energía.

⁶³ Aunque no se proyecta ninguna reducción de las emisiones del uso de la tierra desde 2030 (cuando llegan a cero) hasta 2050, se supone

Esta proyección derivada del “financiamiento adicional neto” necesario para reducir las emisiones generadas por la deforestación y el uso de la tierra al nivel indicado en las proyecciones de la alternativa ilustrativa Combinada-II, es dividida entre la reducción proyectada de emisiones anuales del uso de la tierra de IIASA con respecto a BAU al 2050 (0,48 GtCO₂e) a lo largo de la alternativa Combinada-II. En 2020, esta proyección es de US\$58/tCO₂e para el costo promedio (o “adicionalidad financiera”) de cada tonelada de emisiones del uso de la tierra reducida al 2020 en la opción Combinada-II en 2050 (US\$67/tCO₂e).

Las cifras de proyecciones del costo promedio (o “adicionalidad financiera”) de cada tonelada de emisiones del uso de la tierra eliminada al 2050 se multiplican por la cantidad de emisiones del uso de la tierra que se necesita eliminar cada año en cada década hasta 2050 en la alternativa ZNDD 2020/ZNLU 2030 con respecto a BAU para obtener la adicionalidad financiera total bruta requerida en la alternativa ZNDD 2020/ZNLU 2030 (US\$43.000 millones anuales en 2020 y US\$45.000 millones al año en 2050).

Esto arroja una cifra proyectada de “adicionalidad financiera” bruta que se necesita en la alternativa ZNDD 2020/ZNLU 2030 equivalente a US\$78.000 millones anuales al 2050 (US\$43.000 millones al año al 2020⁶³). Pero al tratar de sustraer los gastos proyectados en el BAU de IIASA correspondientes a los mismos gastos en sumideros y no relacionados con el sector energético para distinguir la adicionalidad financiera bruta de la neta (y determinar la “adicionalidad financiera promedio” bruta y neta por tCO₂e), se descubre un problema, en el sentido de que IIASA no proyecta gasto alguno (cero) relacionado con el sector energético en la trayectoria BAU, pese al hecho de que la trayectoria BAU proyecta una disminución neta de las emisiones del uso de la tierra de casi 1,0 GtCO₂e con respecto a los niveles actuales. IIASA asume que toda esta disminución de emisiones del uso de la tierra a lo largo de la trayectoria BAU se produce como consecuencia natural de los aumentos proyectados de ingresos, bienestar, urbanización y modernización de ALC.

Dadas las proyecciones disponibles en la base de datos GEA del IIASA, se presenta una dificultad metodológica en este aspecto. Lo anterior debido a que las proyecciones de gastos correspondientes a BAU son iguales a cero, no hay diferencia alguna entre la adicionalidad financiera bruta y neta en la alternativa ZNDD 2020/ZNLU 2030 (en ambos casos, US\$45.000 millones al año para 2050). Sin embargo, ya que los gastos en sumideros proyectados en la alternativa Combinada-II ascienden a US\$32.500 millones al año al 2050 y consiguen una reducción de apenas 0,3 GtCO₂e con respecto al escenario BAU (el cual de por sí contempla una reducción de esas emisiones más de tres veces mayor que esa cantidad con respecto al nivel actual), parece poco razonable suponer que se podrá alcanzar esa reducción de emisiones del uso de la tierra en el BAU sin gastos adicionales dirigidos específicamente a la reducción de las emisiones generadas por el uso de la tierra.

Además, tanto la adicionalidad financiera total como el costo financiero adicional promedio de la reducción de una tonelada de CO₂, si se calcula suponiendo que la cifra neta no se diferencia de la bruta, tiende a ser de dos a tres veces mayor (al menos para 2020) que el rango de proyecciones actuales de reducción de las emisiones generadas por la deforestación y el uso de la tierra (ver el Capítulo 2).

Pero si el cálculo se hace de otra manera, asumiendo que en el escenario BAU no se consigue ninguna reducción de las emisiones de LULUCF sin cierto apoyo financiero (y aceptando que con las proyecciones de adicionalidad financiera de combinación ilustrativa del IIASA —alternativa Combinada-II de este estudio— se obtendría el 100% de reducción de las emisiones del uso de la tierra con respecto al nivel actual, en vez de únicamente con respecto al escenario BAU), la adicionalidad financiera neta total y promedio en la alternativa combinada ilustrativa disminuye de US\$43.000 millones al año y US\$58/tCO₂e en 2020 a US\$17.000 millones al año y US\$21/tCO₂e en

que se necesitará el mismo nivel de gasto total adicional anual del 2030 hasta el 2050, dado que todavía habrá que sufragar el costo de oportunidad del mantenimiento de los sumideros con cero emisiones netas.

⁶⁴ El Cuadro 2.9 presenta proyecciones financieras de los componentes sectoriales de la alternativa Enérgica Combinada-I AFOLU+ (plus).

2020 —directamente en el rango de proyecciones de costos financieros reportados en la literatura (ver Capítulo 2). Igualmente, las proyecciones para 2050 se reducen de US\$78.000 millones al año y US\$67/tCO₂e a US\$37.000 millones al año y US\$23/tCO₂e.

Este supuesto es respaldado por el consenso de que los costos financieros de detener las emisiones generadas por la deforestación y el uso de la tierra son relativamente bajos comparados con las necesidades financieras para la reducción en el sector energía. También concuerda con la suposición de que el costo de reducir las emisiones generadas por el uso de la tierra va aumentando con el tiempo —a medida que los costos económicos de oportunidad de reducir esas emisiones aumenta (a raíz de que el valor de la tierra y de la madera aumenta con el tiempo, por ejemplo).

Alternativa ZNDD 2020/ZNLU 2030+ (plus)

Se hace la misma suposición al calcular las proyecciones de la alternativa ZNDD 2020/ZNLU 2030+ (plus), que continúa más allá de 2030 (mediante un mayor compromiso financiero continuado en prácticas innovadoras de silvicultura y uso de la tierra) para reducir las emisiones netas de los sumideros muy por debajo de cero, alcanzándose una reducción de 0,35 GtCO₂e o más al año hasta el 2040, y una reducción de 0,7 GtCO₂e al año hasta el 2050. Una vez más, multiplicando el costo financiero promedio por tonelada (US\$23) por la cantidad de reducción de emisiones generadas por el uso de la tierra obtenidas en esta alternativa al 2050 (2,3 GtCO₂e al año), resulta en una adicionalidad financiera neta proyectada de US\$53.000 millones al año en el 2050. Este mayor requerimiento de adicionalidad financiera neta es explicado por el nivel de reducción de emisiones que se contempla en esta opción más allá de 2030 (0,7 GtCO₂e más)—US\$53.000 millones al año en 2050; muy por encima de los US\$37.000 millones previstos en la vía ZNDD 2020/ZNLU 2030).

Este supuesto implica que i) hay que ajustar la trayectoria BAU del IIASA para ALC hacia arriba hasta en 0,7 GtCO₂e al año en 2050, o que ii) hay que reasignar buena parte o la totalidad de la reducción de las emisiones generadas por el uso de la tierra que el IIASA proyecta que se producirán en el escenario BAU a las alternativas ilustrativas del IIASA (las opciones moderadas de este estudio).

Si bien puede haber un argumento a favor de ajustar el escenario BAU de IIASA (hasta más de 7,5 GtCO₂e al año en 2050, comparado con alrededor de 6,7 GtCO₂e), o incluso mantener una parte asignada de reducción de emisiones del uso de la tierra para el escenario BAU, se decidió más bien modificar las proyecciones de IIASA sobre gastos no relacionados con la energía (en especial, la porción de sumideros) cambiando los supuestos sobre las emisiones del uso de la tierra en BAU (reasignando el 100% a las alternativas y manteniendo constantes las emisiones del uso de la tierra del BAU), en vez de modificar las proyecciones de IIASA sobre los niveles totales del BAU propiamente dichos.

Lo anterior (reasignación de la reducción de las emisiones generadas por el uso de la tierra del escenario BAU a cada una de las alternativas, a la vez que se mantiene estable el volumen total de emisiones de la trayectoria BAU), independientemente de lo problemático que pueda ser, parece más justificado en vista de la delicada naturaleza política de cualquier proyección de emisiones de la trayectoria BAU en negociaciones sobre el clima, lo que sugiere niveles potencialmente distintos de reducción de emisiones a nivel de país con respecto a los compromisos previamente asumidos con objetivos medidos en términos porcentuales con respecto a los niveles proyectados en BAU (viejos vs. nuevos).

Emisiones agrícolas y la alternativa AFOLU+

La alternativa AFOLU+ considera gastos y reducciones de emisiones del uso de la tierra de la opción ZNDD 2020/ZNLU 2030+ (plus), además de 50% de reducción en emisiones del sector agrícola para 2050 en comparación con las cifras correspondientes proyectadas en la trayectoria BAU.

El primer paso es entonces calcular la adicionalidad financiera “promedio” por tCO₂e para lograr una reducción determinada de emisiones del sector agrícola. A partir de las proyecciones del IIASA de gastos no relacionados con el sector energético y sin tomar en cuenta sumideros de carbono a lo largo de la alternativa ilustrativa combinada (US\$470.000 millones al año en 2020, US\$2.500 millones al año en 2030, US\$4.600 millones al año en 2040 y US\$5.900 millones al año en 2050), se puede calcular la adicionalidad financiera “promedio” por tCO₂e dividiendo los gastos anteriores no relacionados con los energéticos y sin sumideros entre la reducción neta de emisiones agrícolas (0,18 GtCO₂e al año en 2020, 0,37 GtCO₂e en 2030, 0,48 GtCO₂e en 2040 y 0,63 GtCO₂e en 2050) de la vía AFOLU+, con respecto a la trayectoria BAU. Esto arroja una adicionalidad financiera promedio por tCO₂e eliminada en el sector agrícola de ALC de US\$2,6/tCO₂e en 2020, US\$6,9 en 2030, US\$9,6 en 2040 y US\$9,3 en 2050.

Por último, se suma la adicionalidad financiera neta global de la alternativa ZNDD 2020/ZNLU 2030+ (plus) (US\$53.000 millones al año en 2050) con la adicionalidad financiera neta de la reducción de las emisiones del sector agrícola de la opción AFOLU+ (US\$10.100 millones al año en 2020) para obtener una adicionalidad financiera total neta anual al 2050 —para la alternativa AFOLU+ completa incluida ZNDD 2020/ZNLU 2030+ (plus)— de US\$63.000 millones (ver Cuadro A3.1). Si luego se divide esta cifra por la cantidad total de reducciones de emisiones logradas mediante la alternativa AFOLU+ con respecto al escenario BAU (2,45 GtCO₂e), el resultado es una adicionalidad financiera promedio por tCO₂e equivalente de US\$18,4/tCO₂e.

Alternativas ilustrativas del GEA y alternativas moderadas de intervención/energía

Las alternativas de intervención moderada (energía) contempladas en este estudio se basan directamente en seis opciones del GEA del IIASA: i) eficiencia, con sistemas avanzados de transporte y sin energía nuclear (Eficiencia-I); ii) combinada, con transporte avanzado y sin energía nuclear (Combinada-I); iii) de oferta, con transporte avanzado y sin energía nuclear (Oferta-I); iv) eficiente, con transporte convencional y sin energía nuclear (Eficiente-II); v) combinada, con transporte convencional y sin energía nuclear (Combinada-II), y vi) de oferta, con transporte convencional (o tradicional) y sin energía nuclear (Oferta-II).

Todas estas opciones llevan a ALC a un nivel de entre 2,0 tpc y 3,0 tpc al año en el 2050, antes de quitarles los limitados beneficios por concepto de intervenciones en AFOLU y emisiones que contienen (y entre 3,4 tpc y 4,3 tpc, una vez que se reducen a vías exclusivamente de “intervención en el sector energético”). La adicionalidad financiera bruta y neta de cada una de estas alternativas se ha tomado de las proyecciones totales de gastos en el sector energético contenidas en la base de datos del modelo GEA. Los gastos energéticos totales proyectados en la alternativa “contrafáctica” del modelo MESSAGE del IIASA (trayectoria BAU en este estudio) se han restado del gasto total bruto en energéticos, para obtener el monto total neto adicional en energéticos, o adicionalidad financiera neta. Estas proyecciones de adicionalidad financiera bruta y neta de cada una de las seis alternativas de “intervención moderada” se presentan en el Cuadro 2.7.

Alternativas energéticas (combinadas)

En este estudio se han preparado tres grupos distintos de seis alternativas energéticas en las que se combina la fundamental de intervenciones exclusivas en el sector energía de las tres opciones ilustrativas del GEA de IIASA (y sus versiones en las que se presupone un sistema de transporte convencional) con las tres opciones de AFOLU (ZNDD 2020/ZNLU 2030, ZNDD 2020/ZNLU 2030+ y AFOLU+). Estas 18 alternativas combinadas incluyen: Energética Combinada-I, Energética Eficiencia-I, Energética de Oferta-I, Energética Combinada-II, Energética Eficiencia-II, Energética de

Oferta-II, Energica Combinada-I+, Energica Eficiente-I+, Energica de Oferta-I+, Energica Combinada-II+, Energica Eficiencia-II+, Energica de Oferta-II+, Combinada-I AFOLU+, Eficiencia-I AFOLU+, de Oferta-I AFOLU+, Combinada-II AFOLU+, Eficiencia-II AFOLU+ y de Oferta-II AFOLU+.

Estas opciones se presentan en el Cuadro 2.9. Pero, para fines explicativos, en esta sección se describe el procedimiento para calcular las proyecciones financieras de la alternativa Energica Combinada-I (plus), junto con los diversos componentes sectoriales de intervención.

Se comienza por tomar la adicionalidad financiera neta necesaria en la intervención moderada Combinada-I (energía) del Cuadro 2.7: monto negativo de -US\$8.000 millones anuales al 2020, y de alrededor de US\$43.000 millones al año al 2050 (US\$500 millones anuales al 2030 y US\$12.000 millones al año al 2040).

A estas sumatorias se les añade la adicionalidad financiera neta requerida en la opción ZNDD 2020/ZNLU 2030+ (plus) (US\$18.000 millones anuales al 2020, US\$24.000 millones anuales al 2030, US\$37.000 millones anuales al 2040 y US\$53.000 millones anuales al 2050), para obtener la adicionalidad financiera neta total de la opción Energica Combinada-I+ (plus): US\$11.000 millones anuales al 2020, US\$25.000 millones anuales al 2030, US\$49.000 millones anuales al 2040 y US\$97.000 millones anuales al 2050.

La adicionalidad financiera total bruta para la alternativa Energica Combinada-I (plus) se obtiene sumando a esta adicionalidad neta total las cantidades totales previstas bajo trayectoria BAU (US\$140.000 millones al año en 2020, US\$241.000 millones al año en 2030, US\$371.000 millones al año en 2040 y US\$464.000 millones al año en 2050), resultando en un total US\$151.000 millones al año para 2020, US\$266.000 millones al año para 2030, US\$420.000 millones al año para 2040 y US\$561.000 millones al año para 2050.

La adicionalidad financiera promedio (bruta) de esta opción se calcula dividiendo las proyecciones brutas anteriores entre la cantidad total de reducciones de emisiones de GEI (1,3 GtCO₂e anuales al 2020, 2,8 GtCO₂e anuales al 2030, 4,1 GtCO₂e anuales al 2040 y 5,3 GtCO₂e anuales al 2050), lo que arroja US\$113/tCO₂e en 2020, US\$95/tCO₂e en 2030, US\$102/tCO₂e en 2040 y US\$105/tCO₂e en 2050.

Finalmente, la adicionalidad financiera neta promedio de esta opción se obtiene al dividir las proyecciones anteriores de adicionalidad financiera neta entre la cantidad total de reducciones de emisiones de GEI (1,3 GtCO₂e anuales al 2020, 2,8 GtCO₂e anuales al 2030, 4,1 GtCO₂e anuales al 2040 y 5,3 GtCO₂e anuales al 2050). Esto resulta en una adicionalidad financiera neta promedio de US\$7/tCO₂e en 2020, US\$9/tCO₂e en 2030, US\$12/tCO₂e en 2040 y US\$18/tCO₂e en 2050.

Componentes de intervención de inversión/por sector de la alternativa Energica Combinada-I (plus)

En los Cuadros 2.8 y 2.9 se han presentado los gastos proyectados necesarios para alcanzar cada uno de los componentes sectoriales principales de la alternativa Energica Combinada-I+ (plus)⁶⁴. Los pasos para obtener dichas proyecciones son descritos a continuación.

El primer componente de intervención que se incluyó en la opción Energica Combinada-I (plus) es la alternativa ZNDD 2020/ZNLU 2030 con igual adicionalidad financiera bruta y neta (US\$37.000 millones anuales al 2050), tomada directamente del Cuadro 2.6 (ver una explicación detallada de la forma en que se obtuvo esta proyección en la subsección correspondiente de este apéndice).

mientras que en la explicación anterior se presenta únicamente la opción Energica Combinada-I+ (plus), diferenciándose las dos en la exclusión (en el segundo caso) o inclusión de la mitigación de emisiones que se presupone en el sector agrícola (50% comparada con el escenario BAU en 2050) o apenas US\$10.000 millones anuales en 2050, tanto en términos brutos como netos.

Del mismo modo, para obtener los beneficios adicionales previstos en la alternativa ZNDD 2020/ZNLU 2030+ (plus), se necesitarán US\$16.000 millones anuales más al 2050. Por último, para obtener los últimos beneficios adicionales de ir más allá de la opción ZNDD 2020/ZNLU 2030+ (plus) para lograr la alternativa AFOLU+ (una reducción de 50% de las emisiones del sector agrícola, con respecto a los niveles previstos en BAU), se incluye igualmente un monto anual adicional de US\$10.000 millones al 2050 (ver Cuadro 2.6).

El siguiente paso implica proyectar los requerimientos financieros para cuatro componentes principales de intervención incluidos en la opción moderada Combinada-I (intervención en energía): ganancias en eficiencia energética, desvinculación del sector de generación eléctrica del carbono, electrificación del transporte y desarrollo de suficiente tecnología de CCS.

- Las medidas de eficiencia energética, capaces de reducir la demanda final de energía de ALC en 40% con respecto a los niveles previstos de consumo de energía en BAU, costarían aproximadamente US\$104.000 millones anuales al 2050 en términos de adicionalidad financiera bruta (y de US\$88.000 millones al año en términos de adicionalidad financiera neta). La proyección bruta se obtiene sumando i) US\$83.000 millones anuales al 2050 que IASA proyecta como inversión necesaria del lado de la demanda, y ii) US\$21.000 millones anuales al 2050 equivalentes a la mitad de la inversión que IASA proyecta que se necesitará en transmisión y distribución de electricidad (los US\$21.000 millones anuales restantes se destinan a la desvinculación del sector de generación eléctrica del carbono, ver la subsección siguiente)
- En términos de la adicionalidad financiera neta requerida para las medidas de eficiencia energética previstas en la alternativa Energética Combinada-I+ (plus), la proyección de US\$88.000 millones anuales al 2050 se obtiene restando US\$16.000 millones al año (la mitad de los US\$32.000 millones anuales previstos en inversión en transmisión y distribución de energía eléctrica en el escenario BAU) de la adicionalidad financiera bruta (US\$104.000 millones anuales)
- La desvinculación del sector eléctrico del carbono conllevaría US\$133.000 millones anuales al 2050 por concepto de adicionalidad financiera bruta y US\$66.000 millones anuales al 2050 por adicionalidad financiera neta. La primera se obtiene sumando i) la inversión de US\$62.000 millones anuales al 2050 que se necesita en la generación de energía eléctrica a partir de fuentes no fósiles según proyecta IASA, ii) US\$21.000 millones anuales al 2050 que representan la mitad del requerimiento de inversión proyectado por IASA en transmisión y distribución de energía eléctrica (destinándose los otros US\$21.000 millones al año a la eficiencia energética, ver el párrafo anterior), y iii) US\$50.000 millones anuales adicionales provenientes del monto total de gastos “distintos a la inversión” de US\$216.000 millones anuales al 2050 en la vía Combinada-I, monto que no se ha asignado según las proyecciones del IASA (se han asignado anualmente otros US\$50.000 millones a la electrificación del transporte, US\$10.000 millones a CCS y US\$100.000 millones a “otros” gastos en el sector energético)

Por otro lado, la adicionalidad financiera neta para la desvinculación del sector eléctrico del carbono, de US\$66.000 millones anuales al 2050, se obtiene restando lo siguiente de cada elemento de la adicionalidad financiera bruta: i) US\$31.000 millones anuales en inversión necesaria según el escenario BAU en generación de energía eléctrica a partir de fuentes no fósiles, ii) los US\$16.000 millones al año en inversiones proyectadas en transmisión y distribución eléctrica en el escenario BAU, y, por último, iii) los US\$20.000 millones anuales de gastos distintos a inversión asignados a la desvinculación del sector eléctrico del carbono en el escenario BAU de los gastos distintos a inversión no asignados previstos por el IASA en el escenario BAU.

La adicionalidad financiera bruta global en CCS ascenderá a US\$17.000 millones anuales al 2050 (el IASA proyecta que será necesario invertir US\$7.000 millones al año, y se estima que habrá que destinar US\$10.000 millones anuales en gasto “distinto a inversión” previsto por el IASA

a CCS). La adicionalidad financiera neta será igual que la bruta, en vista de que no se anticipa que se efectuará gasto alguno en CCS en la trayectoria BAU.

Se proyecta que los “otros” gastos financieros brutos en la opción Energética Combinada-I+ ascenderán a US\$204.000 millones anuales al 2050, monto que incluye: i) inversión en extracción de combustibles fósiles (US\$54.000 millones anuales al 2050 vs. los US\$170.000 millones al año proyectados en el escenario BAU); ii) inversión en generación de energía eléctrica a partir de fuentes fósiles (US\$2.000 millones anuales en 2050; la mitad de los US\$4.000 millones al año previstos en el escenario BAU); iii) otras inversiones del lado de la oferta (US\$42.000 millones anuales al 2050, incluidas las inversiones en refinerías de petróleo, calefacción urbana y extracción de bioenergía, así como en producción de hidrógeno y combustibles sintéticos, comparado con los US\$38.000 millones al año previstos en el escenario BAU), y iv) otros gastos distintos a inversión no asignados a renglones específicos por el IIASA (US\$106.000 millones anuales al 2050, frente a los US\$150.000 millones anuales previstos en el BAU).

En términos de adicionalidad financiera neta, esta categoría de “otros” resulta ser de un monto negativo de -US\$158.000 millones anuales al 2050. Esto implica que la opción Energética Combinada-I+ (plus) contempla gastos anuales adicionales considerablemente menores que la trayectoria BAU en ciertos subsectores, en los que se registran grandes economías generadas por una menor inversión en el futuro en extracción de combustibles fósiles y generación eléctrica a partir de esas fuentes (US\$118.000 millones ahorrados anualmente al 2050) y el menor gasto “distinto a inversión” destinado a combustibles fósiles cada vez más costosos en el futuro para transporte y consumo de electricidad (una economía de US\$44.000 millones anuales al 2050).

De los cuatro elementos principales de intervención sobre los que se hacen proyecciones independientes de necesidades financieras en este estudio (eficiencia energética, desvinculación de la energía eléctrica del carbono, CCS y electrificación del sector del transporte) junto con las opciones Energética Combinada-I+ (plus)/Energética Combinada-I AFOLU+ (plus), todos ellos, con excepción del transporte, se pueden obtener directamente, o al menos en forma parcialmente directa, de las cifras de la base de datos del modelo GEA de IIASA. Pero las proyecciones de la electrificación del sector del transporte pueden extraerse directamente de los datos del modelo, incluso si es necesario hacer suposiciones adicionales para extender y completar más el modelo.

La proyección estimada en este estudio para este sector asciende a US\$50.000 millones anuales al 2050; superior a los US\$20.000 millones al año proyectados en el escenario BAU, lo que arroja una proyección de US\$30.000 millones anuales al 2050 por concepto de “gastos financieros adicionales netos”. Esta proyección se basa sólo indirectamente en las cifras de la base de datos del modelo GEA de IIASA, debido a que la base de datos no ofrece ningún desglose específico de los gastos necesarios (de inversión o distintos a inversión) proyectados para la electrificación del transporte. No obstante, en la mitad de las vías ilustrativas del modelo IIASA (que sirven de base de las vías de intervención de este estudio) se asume la electrificación del transporte (e incluso pequeñas cantidades de hidrógeno en la generación o mezcla de combustibles). Debido a que las proyecciones de gasto de inversión y de gasto distintos a inversión del IIASA se refieren al “sistema energético en general” —lo que abarca todo, desde el sector público y el privado, y desde las actividades de exploración corriente arriba hasta el consumo final de energía— el gasto necesario para la electrificación del transporte se incluirá en algún punto de la proyección mundial de gasto global necesario, incluso si no figura en ningún desglose explícito en renglones de la base de datos.

Además, cabe suponer que al menos parte de las necesidades financieras de la posible electrificación del sector del transporte deberá tomar la forma de inversión (particularmente en la adaptación y construcción de infraestructura), mientras que se asume que la proyección de este estudio de US\$50.000 millones anuales al 2050 será totalmente en forma de gasto distinto a inversión (por ejemplo, para la compra de vehículos eléctricos o híbridos por parte de particulares

y cualquier incentivo gubernamental en apoyo de dichas compras), en vista de que se basa en la reasignación de la cantidad proyectada inferida en la base de datos del modelo GEA del IIASA que se necesitará en “gasto distinto a inversión en el sector energético”.

Pero al menos parte —si no todo— el gasto de inversión que se necesita para la electrificación del transporte será en forma de modificación o reacondicionamiento de sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica, una inversión esencial en apoyo de la electrificación. Para esto se requerirá un gran cambio infraestructural para pasar de estaciones de gasolina a estaciones de carga de baterías de vehículos, aprovechando las sinergias disponibles en las “redes inteligentes” mediante la integración de los objetivos y la dinámica de la electrificación del transporte con los de la desvinculación del sector eléctrico del carbono y el mejoramiento de la eficiencia, resiliencia y la flexibilidad de la red.

En este sentido, gran parte del gasto de inversión necesario para modificar la infraestructura de transporte está incluido en las proyecciones de IIASA sobre inversión necesaria en la transmisión y distribución eléctrica. Se ha dividido esta proyección de IIASA en partes iguales entre los componentes de eficiencia energética y de desvinculación del sector eléctrico del carbono. Una vez más, se podría argumentar que al menos una parte se destinaría al componente transporte, pero esto no altera la proyección aquí estimada de electrificación del transporte en ALC en más del 10%. Esto se debe a que la división en tres partes del gasto adicional en inversión proyectado que se necesita en transmisión y distribución añadirá apenas US\$8.000 millones anuales al 2050 en términos brutos y sólo US\$2.000 millones anuales al 2050 en términos netos (si el gasto de inversión equivalente proyectado en el escenario BAU también se dividiera en tres partes iguales entre eficiencia, desvinculación del carbono y electrificación). Tampoco alteraría las proyecciones de este estudio para ninguna de las alternativas de intervención, aunque sí reduciría marginalmente las proyecciones sobre los demás elementos de intervención. En todo caso, al menos parte de esta inversión, independientemente de la manera en que se divida, será fundamental para apoyar la electrificación del sistema.

Por otro lado, aunque la base de datos del modelo GEA de IIASA ofrece directamente proyecciones totales de gastos en energía y del sistema en general, deja sin especificar una gran cantidad de gastos proyectados distintos a inversión: US\$216.000 millones anuales al 2050, en el caso de la alternativa Combinada (sistema avanzado de transporte) de IIASA (opción Energica Combinada-I+ de este estudio), y US\$189.000 millones anuales al 2050 en el caso de la trayectoria “contrafáctica” BAU de IIASA. Según IIASA, la categoría “gastos distintos a inversión” se refiere a aquellos gastos necesarios para apoyar la continuidad de las inversiones y, en particular, las que se necesitan para la operación y mantenimiento del sistema. Suponiendo que ésta abarca la totalidad del gasto en el sistema energético no destinado a inversión, pero necesario para mantener el sistema funcionando continuamente, entonces el gasto distinto a inversión (tanto público como privado) para la compra (o en apoyo de la compra) de combustible, vehículos eléctricos o baterías, se incluiría en las proyecciones de “gasto distinto a inversión” no especificado de IIASA (al igual que el gasto distinto a inversión en petróleo y carbón, con las correspondientes inversiones en obras de infraestructura específicas propias de una economía dependiente de combustibles fósiles, en el caso de la trayectoria BAU).

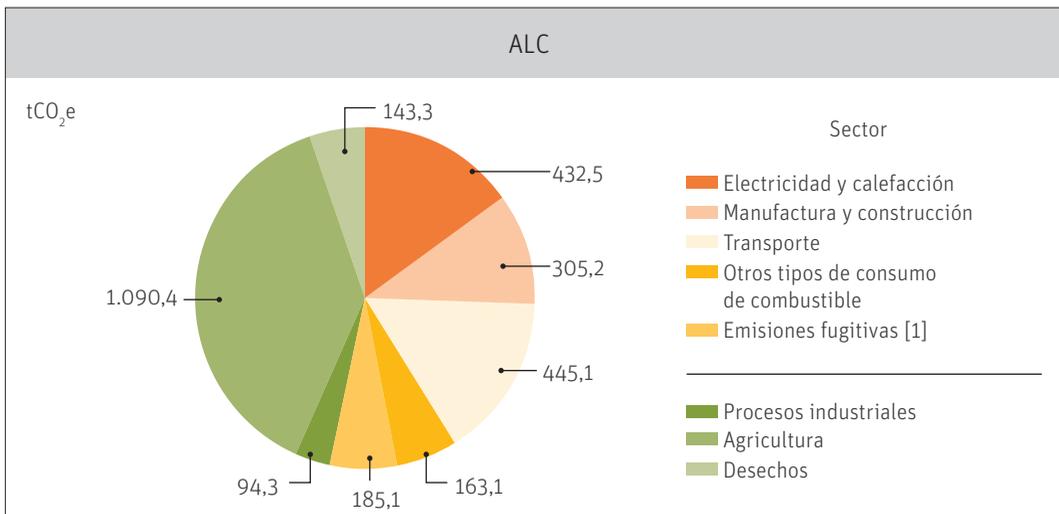
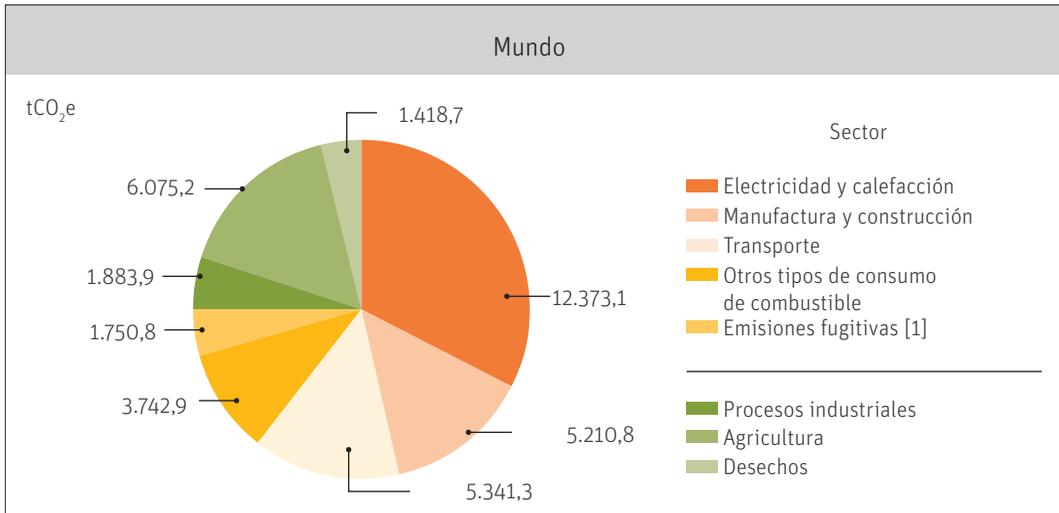
Dada esta suposición, se han asignado estos gastos proyectados a varios de los componentes de intervención de este estudio en la opción Energica Combinada-I+: i) US\$50.000 millones al año a la electrificación del sector del transporte, en apoyo de la conversión a un parque vehicular electromotor, incluyendo diseminación de la tecnología de baterías (se supone que este elemento de intervención requerirá al menos el equivalente del doble de esfuerzo que la electrificación en la trayectoria BAU, por lo tanto se asignan sólo US\$20.000 millones al año por concepto de gastos en electrificación en el escenario BAU. Esto probablemente se destine a apoyar el aumento del porcentaje de vehículos híbridos, en vez de vehículos exclusivamente eléctricos); ii) US\$50.000

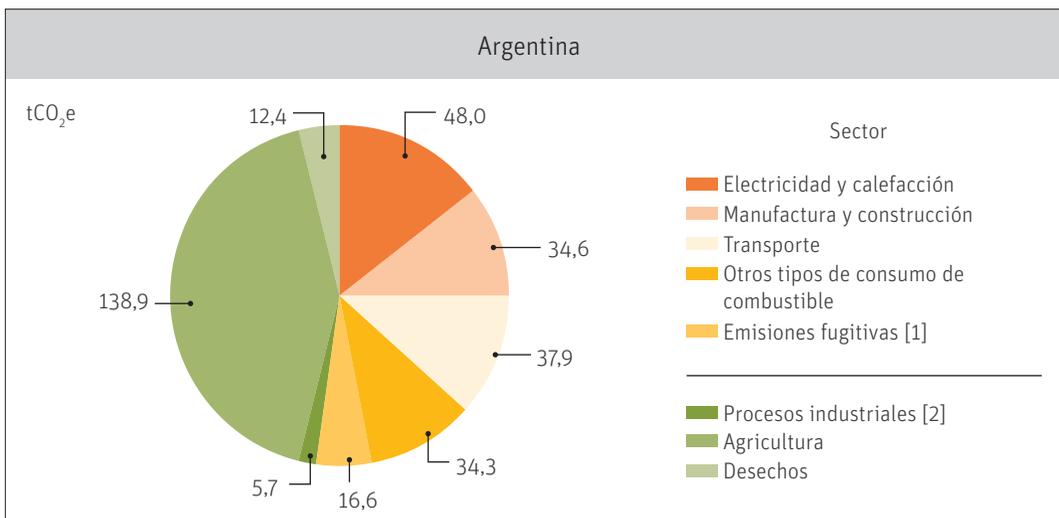
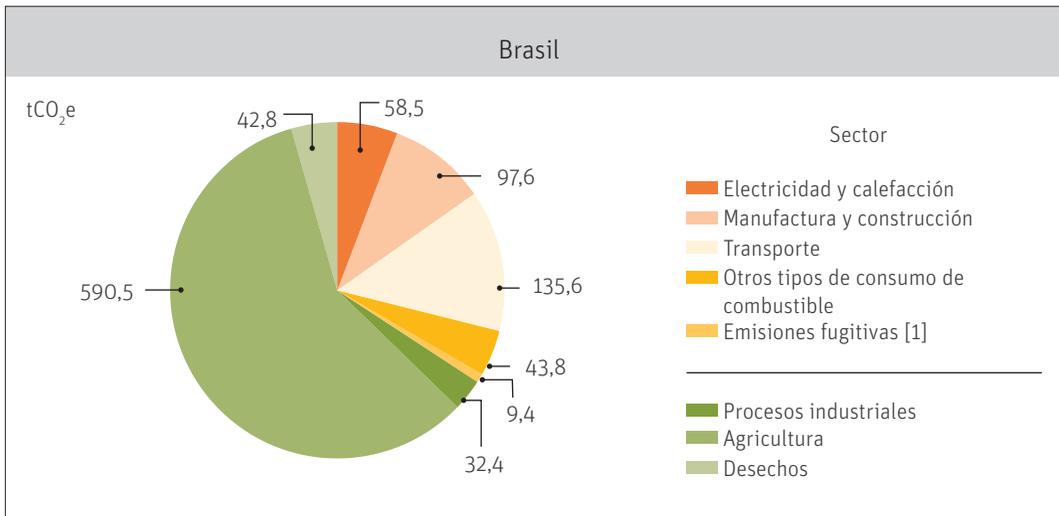
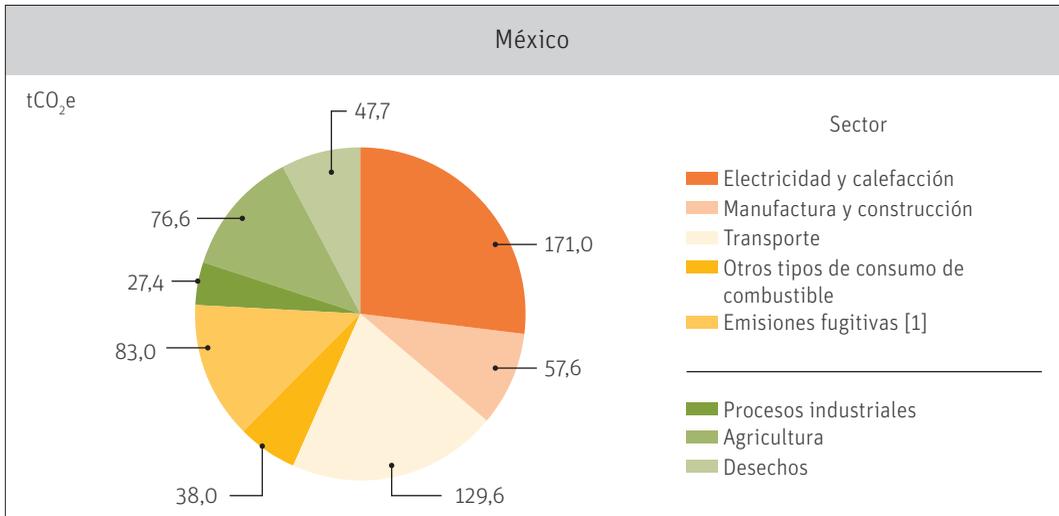
millones anuales al 2050 a la desvinculación del sector eléctrico del carbono, para apoyar la compra de energía de fuentes renovables, que en un principio serán más costosas (en el escenario BAU sólo se asignan US\$20.000 millones al año a este fin); iii) se asignan US\$10.000 millones al año a gastos destinados a apoyar la inversión en CCS (el escenario BAU no contempla asignación alguna en este renglón), y iv) US\$106.000 millones al año en apoyo de la compra de energía por parte del usuario final, principalmente electricidad de bajo carbono (inferior a los US\$150.000 millones anuales asignados a este fin en el escenario BAU, lo que representa combustibles fósiles cada vez más costosos que se verían desplazados bajo las vías de intervención).

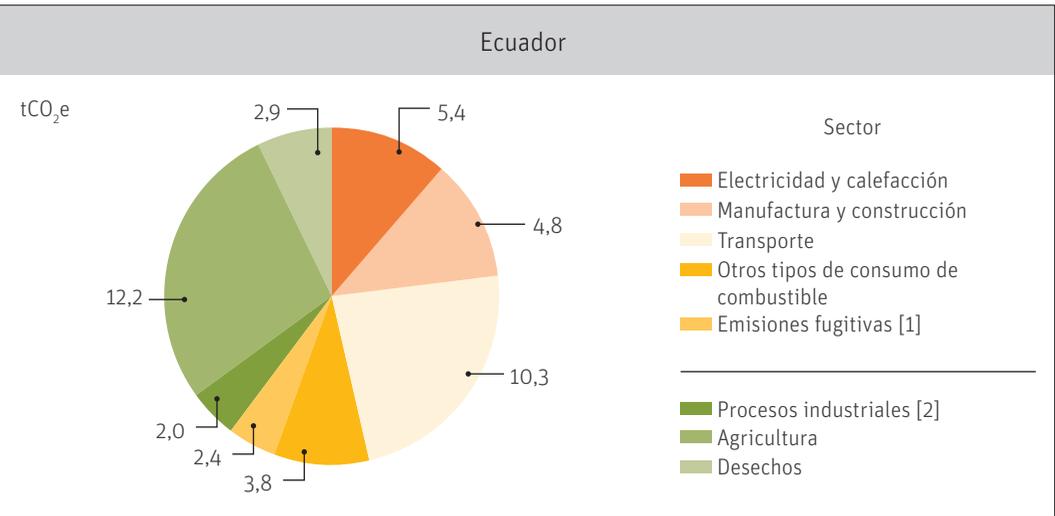
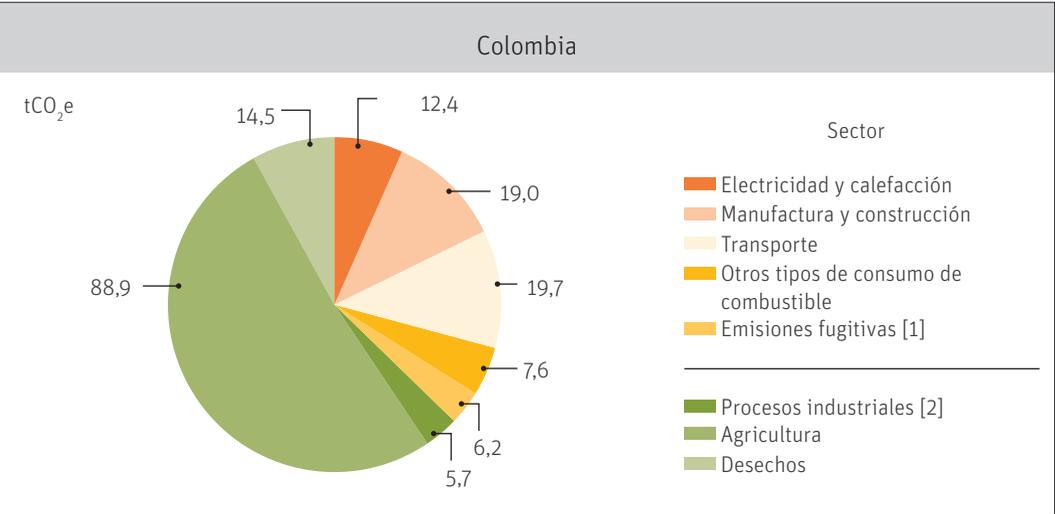
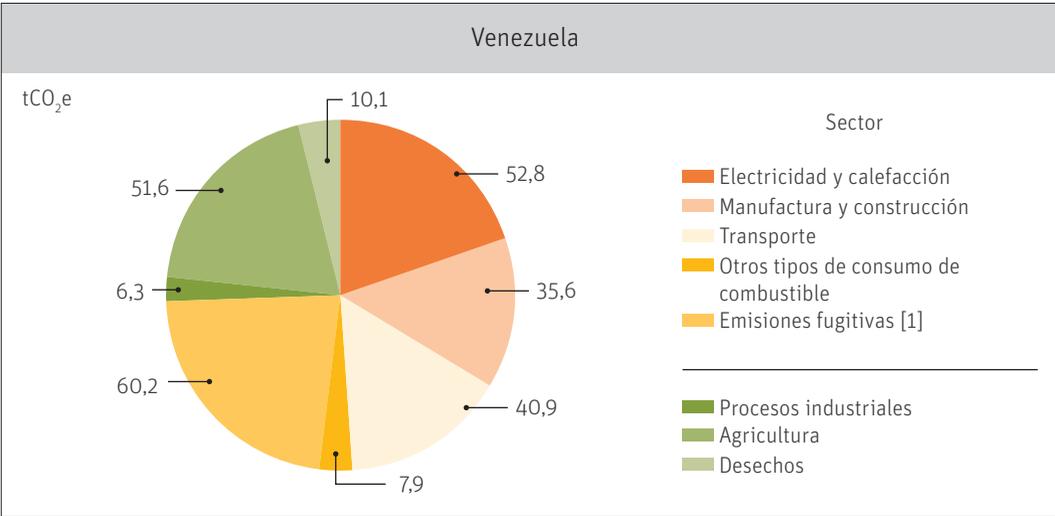
Con base en la naturaleza mundial e integrada del modelo GEA de IIASA, la reasignación del “gasto distinto a inversión” no especificado por IIASA parece razonable. Se puede argumentar que la asignación a la electrificación del transporte debe ser mayor —más acorde con el 38% de consumo de energía final, tanto en la actualidad como en el 2050. Pero éste no necesariamente es el caso, una vez que se toma en cuenta la estrecha articulación y traslape de muchas inversiones enfocadas a eficiencia, red de transmisión y desvinculación del sector eléctrico del carbono.

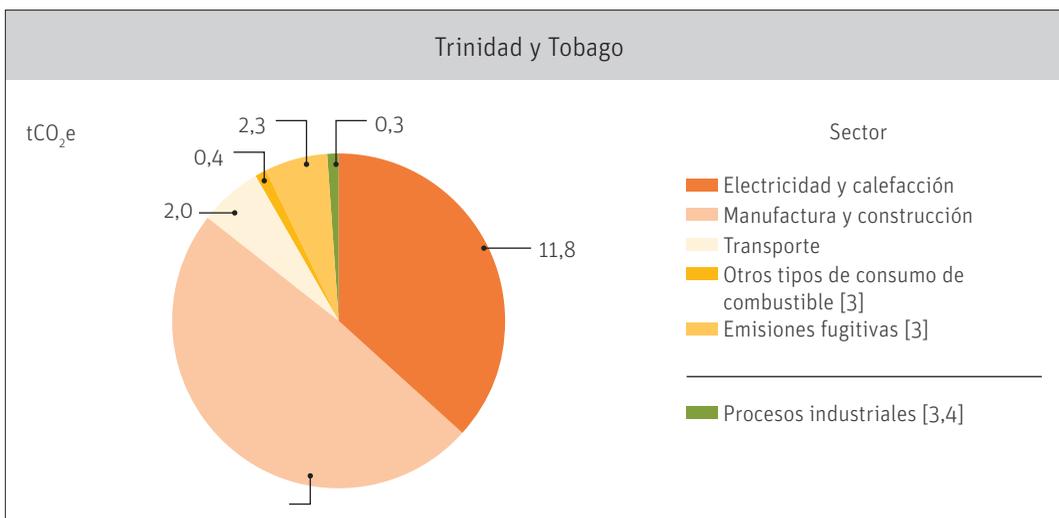
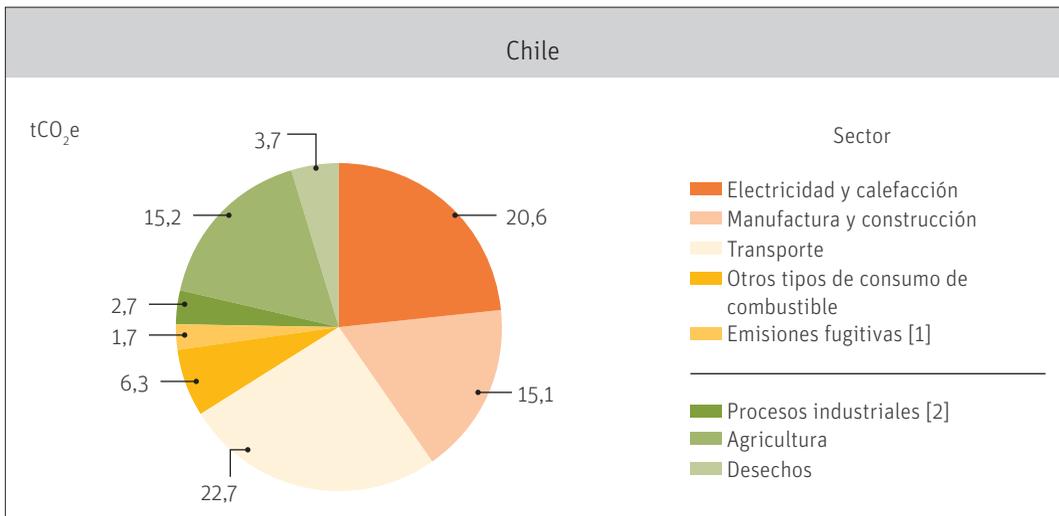
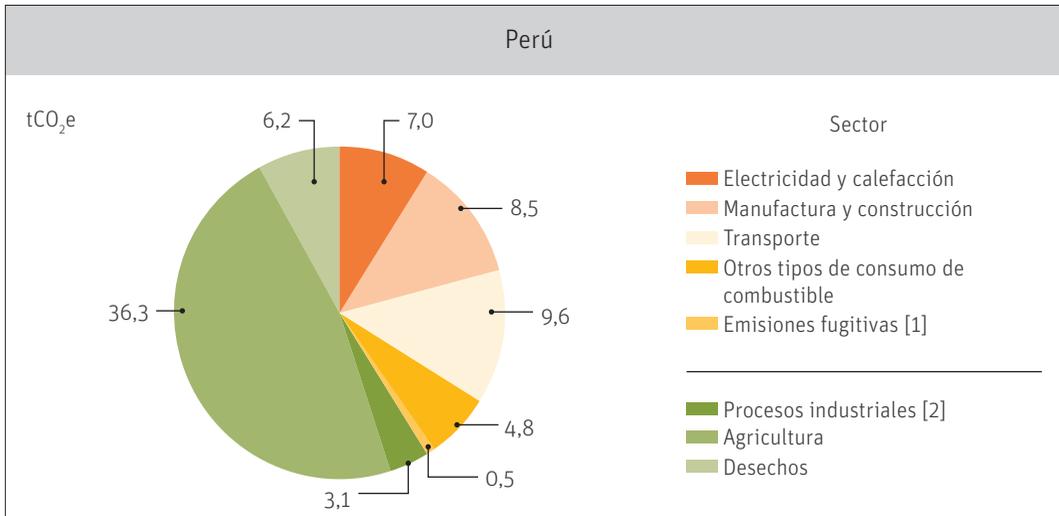
Apéndice 4

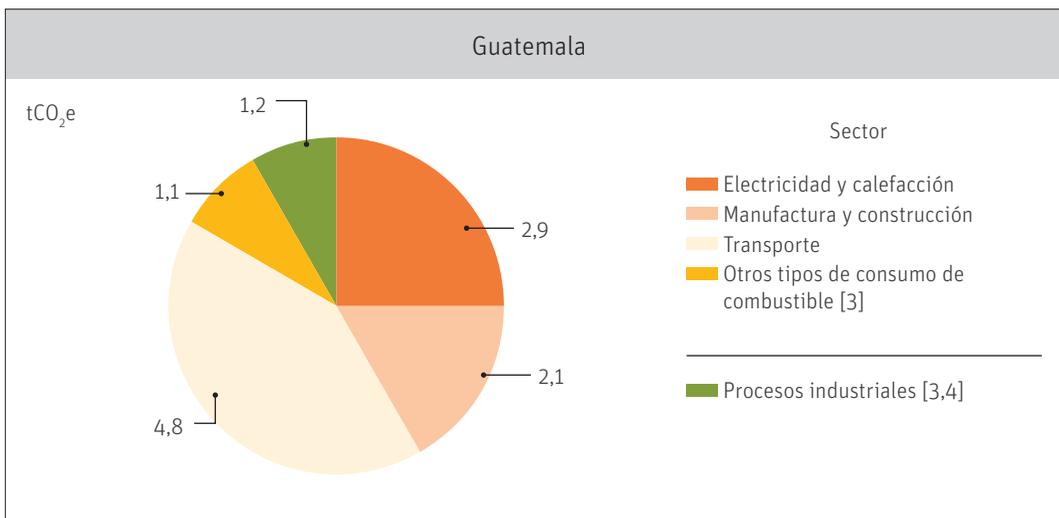
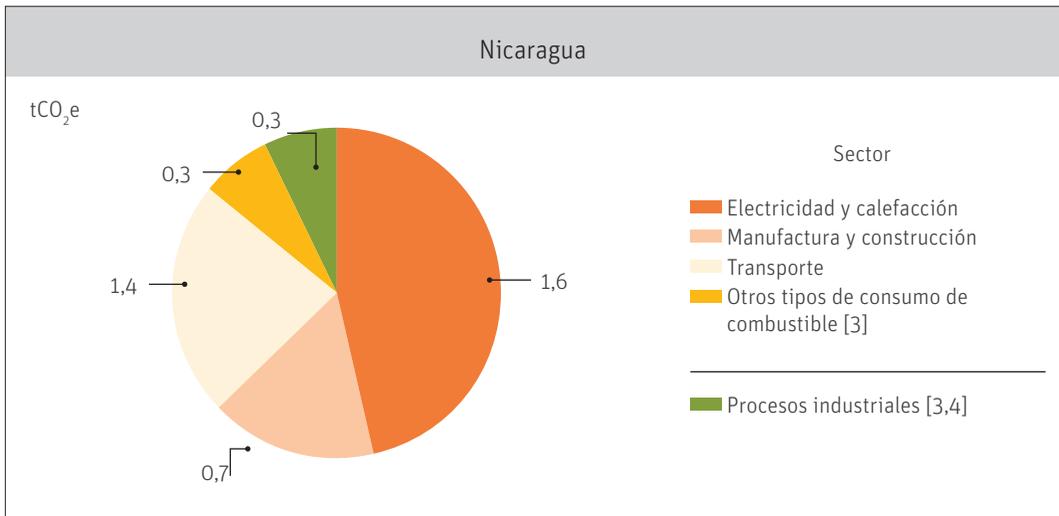
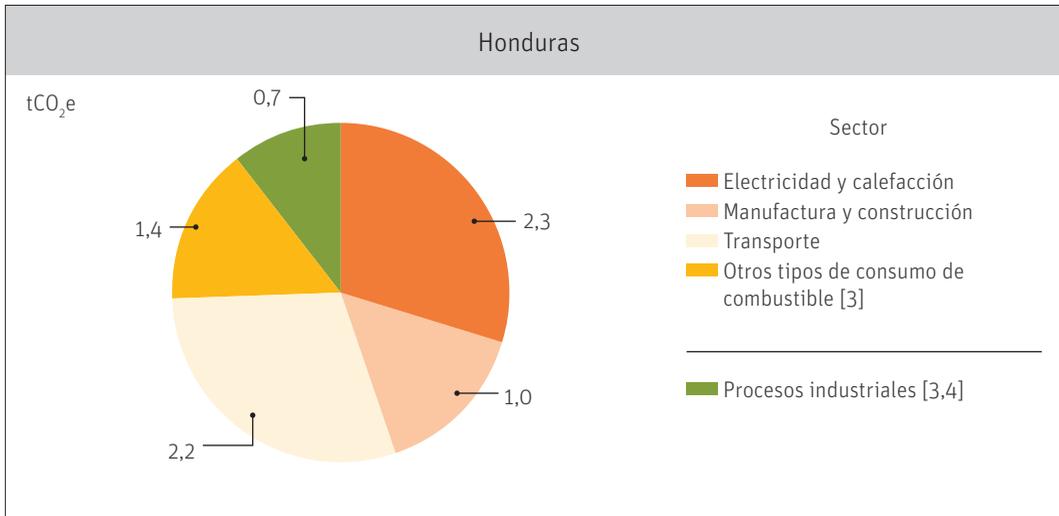
Emisiones de gases de efecto invernadero por sector en 2005 (CO₂, CH₄, N₂O, PFC, HFC, SF₆), excluyendo cambios en el uso de la tierra











Fuente: WRI 2010.

Nota: [1] Datos sobre N₂O no disponibles. [2] Datos sobre CH₄ no disponibles. [3] Datos sobre CH₄ y N₂O no disponibles. [4] Datos sobre PFC, HFC y SF₆ no disponibles.

