

LA ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ECUADOR

2012



NACIONES UNIDAS

CEPAL



UKaid



UNION EUROPEA



cooperación
alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEITUNG



**La economía del cambio climático en el Ecuador
2012**

Alicia Bárcena
Secretaria Ejecutiva

Antonio Prado
Secretario Ejecutivo Adjunto

Joseluis Samaniego
Director
División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos

Ricardo Pérez
Director
División de Documentos y Publicaciones

Los montos que se indican en dólares corresponden a la denominación de dólares de los Estados Unidos. Las opiniones expresadas en este documento, son de exclusiva responsabilidad de los funcionarios y consultores que colaboraron en él y pueden no coincidir con las de la Organización.

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

La elaboración de los gráficos y cuadros que aparecen en esta publicación estuvo a cargo de los autores, salvo que se indique lo contrario.

Este documento debe ser citado como:
CEPAL, 2012. La economía del cambio climático en el Ecuador 2012

Foto portada ©iStockphoto.com/Elena Kalistratova
Publicación de las Naciones Unidas

LC/W.560
Copyright © Naciones Unidas, octubre de 2013. Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

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

LA ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ECUADOR

2012



NACIONES UNIDAS

CEPAL

Listado de colaboradores

En la elaboración de este documento participaron los siguientes funcionarios de la CEPAL: Joseluis Samaniego, Carlos de Miguel, Luis Miguel Galindo, Karina Martínez y Mauricio Pereira, quienes contaron con la colaboración de los consultores en el Ecuador Miguel Castro (elaboración de bases de datos), Javier Cervantes (proyección climática y cartografía), Adriana Flachier (Islas Galápagos), Roberto Gomelsky (mitigación), Santiago Izquierdo (salud), Sandra Jiménez, (coordinación e integración económica de los sectores), Ana María Núñez (biodiversidad), Gustavo Solórzano (agricultura y modelación econométrica), Lucy Vargas (asistencia general), Raúl Vega (recursos hídricos), Ruth Viera (infraestructura).

Además, se recibió el apoyo del grupo internacional de expertos conformado por Daniel Bouille (mitigación), Graciela Magrin (adaptación y agricultura), César Morales (agricultura) y Gustavo Nagy (adaptación).

Se agradece la colaboración y aportes en la provisión de datos por parte del Instituto de Pesquisas Espaciais de Brasil (INPE), en particular de los funcionarios José Marengo y Lincoln Muniz.

Se recibieron comentarios y aportes por parte de las autoridades y funcionarios del Ministerio del Ambiente, del Ministerio de Finanzas, del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, del Ministerio del Patrimonio y de la Secretaría Nacional de Planificación. Se agradece en especial a los siguientes funcionarios de las distintas reparticiones por sus contribuciones para llevar adelante esta investigación: Marco Chiu, María Victoria Chiriboga, Juan Carlos García Folleco, Eduardo Noboa, Andrea Heredia, Mario Ruales y Dania Quirola.

Este estudio se elaboró en el marco del Programa de la Cuenta del Desarrollo de las Naciones Unidas y fue posible gracias a la colaboración y financiamiento de las siguientes organizaciones:



Índice

Introducción	13
I. El cambio climático a nivel nacional	15
II. Contexto socioeconómico y demográfico.....	25
III. La metodología del análisis económico del cambio climático.....	31
IV. Análisis sectorial del impacto del cambio climático	43
V. Síntesis de la evaluación económica del impacto del cambio climático en el Ecuador.....	145
VI. Adaptación al cambio climático.....	151
VII. Mitigación del cambio climático	157
VIII. Estrategias de cambio climático en el país	185
IX. Conclusiones del estudio de la economía del cambio climático en el Ecuador y algunas opciones de política	187
Bibliografía	191

Índice de cuadros

Cuadro I.1	Ecuador: Temperatura promedio por década, escenarios A2 y B2.....	17
Cuadro I.2	Ecuador: Variación de la temperatura por provincia, escenario A2	18
Cuadro I.3	Ecuador: Precipitación promedio por década, escenarios A2 y B2	21
Cuadro I.4	Ecuador: Variación porcentual de las precipitaciones, escenario A2	22
Cuadro II.1	Ecuador: Fuentes del crecimiento económico agregado, 1960-2004	27
Cuadro II.2	Ecuador: Crecimiento proyectado del PIB, 2100.....	29
Cuadro II.3	Ecuador: Población proyectada, por década.....	29
Cuadro III.1	Ecuador: Metodología del análisis del impacto del cambio climático, recursos hídricos	34
Cuadro III.2	Ecuador: Metodología del análisis del impacto del cambio climático, sector agropecuario	35

Cuadro III.3	Ecuador: Metodología del análisis del impacto del cambio climático, biodiversidad	36
Cuadro III.4	Ecuador: Metodología del análisis del impacto del cambio climático, recursos marinos y costeros	37
Cuadro III.5	Ecuador: Metodología del análisis del impacto del cambio climático, salud	38
Cuadro III.6	Ecuador: Metodología del análisis del impacto del cambio climático, Islas Galápagos	39
Cuadro III.7	Ecuador: Metodología del análisis del impacto del cambio climático, infraestructura	40
Cuadro III.8	Ecuador: Metodología del análisis del impacto del cambio climático, eventos extremos.....	41
Cuadro IV.1	Ecuador: escenario base del recurso hídrico, por región, 1980-1989.....	46
Cuadro IV.2	Ecuador: Variación hídrica por región, según escenarios alternativos.....	47
Cuadro IV.3	Ecuador: Variación de la oferta hídrica por región, según escenarios alternativos	48
Cuadro IV.4	Ecuador: Variación de la oferta hídrica, por región, escenario A2	49
Cuadro IV.5	Ecuador: Demanda neta de recursos hídricos para uso consuntivo, escenarios A2 y B2.....	53
Cuadro IV.6	Ecuador: Estructura de costos unitarios para los diferentes usos del agua.....	55
Cuadro IV.7	Ecuador: Valoración económica del uso consuntivo del agua	55
Cuadro IV.8	Ecuador: Resumen de la oferta frente a la demanda de agua	57
Cuadro IV.9	Ecuador: Impacto del cambio climático en la disponibilidad del recurso hídrico	59
Cuadro IV.10	Ecuador: Costo económico de la disponibilidad hídrica para uso consuntivo, proyección por década	60
Cuadro IV.11	Ecuador: Concentración y especialización de la producción	61
Cuadro IV.12	Ecuador: Beneficios y pérdidas netas en el valor de la producción agropecuaria	65
Cuadro IV.13	Ecuador: Categorías de las formaciones vegetales de las áreas protegidas continentales.....	69
Cuadro IV.14	Ecuador: Nodos identificados a partir de las formaciones vegetales y sus siglas	72
Cuadro IV.15	Ecuador: Permanencia de especies por categoría vegetal, escenarios A2 y B2.....	79
Cuadro IV.16	Ecuador: Pérdida del almacenamiento de la biomasa por categoría vegetal, escenarios A2 y B2.....	82
Cuadro IV.17	Ecuador: Pérdida económica anual por emisiones de CO ₂ asociado a cambios en la estructura de formaciones vegetales	83
Cuadro IV.18	Ecuador: Variación de la temperatura media en la zona costera, escenario A2.....	86
Cuadro IV.19	Ecuador: Variación de las precipitaciones en la zona costera, escenario A2.....	88
Cuadro IV.20	Ecuador: Zonas agrícolas con alta susceptibilidad a la inundación	90
Cuadro IV.21	Ecuador: Tipos de sustratos en la zona costera, por provincia	91
Cuadro IV.22	Ecuador: Afectación a la oferta ambiental del manglar y el costo para la pesca de concha prieta y cangrejo, escenarios A2 y B2	93
Cuadro IV.23	Ecuador: Pérdidas de producción de camarón por elevación del nivel medio del mar, escenarios A2 y B2.....	96
Cuadro IV.24	Ecuador: Pérdida de sustrato arenoso por elevación del nivel medio del mar, escenario A2 (0,51 metros), a 2100	98
Cuadro IV.25	Ecuador: Impacto económico en el sector del turismo debido a la disminución del sustrato arenoso por elevación del nivel del mar, escenarios A2 y B2.....	99

Cuadro IV.26	Ecuador: Costos totales por elevación del nivel medio del mar, décadas seleccionadas	100
Cuadro IV.27	Ecuador: Impacto del cambio climático en la malaria, escenarios A2 y B2.....	107
Cuadro IV.28	Ecuador: Impacto del cambio climático en el dengue, escenarios A2 y B2.....	109
Cuadro IV.29	Ecuador: Impacto anual del cambio climático en la infraestructura vial, escenario A2.....	117
Cuadro IV.30	Ecuador: Impacto anual del cambio climático en la infraestructura de generación eléctrica, escenario A2	117
Cuadro IV.31	Ecuador: Impacto anual del cambio climático en la infraestructura de transmisión eléctrica, escenario A2.....	118
Cuadro IV.32	Islas Galápagos: Comportamiento de las variables climáticas en eventos ENOS	120
Cuadro IV.33	Islas Galápagos: Zonificación de los ecosistemas, según altitud y formas de vida.....	127
Cuadro IV.34	Islas Galápagos: Territorio perdido por isla, islote o roquerío a causa de inundación, escenario de elevación del nivel medio del mar de un metro	128
Cuadro IV.35	Islas Galápagos: Pérdidas de ingreso por turismo por elevación del nivel medio del mar de un metro.....	135
Cuadro IV.36	Islas Galápagos: Costos totales por pérdidas de turismo para décadas seleccionadas en el período 2020-2100.....	138
Cuadro IV.37	Ecuador: Efectos físicos y económicos asociados a eventos extremos, por regiones geográficas, 2000-2009	139
Cuadro IV.38	Ecuador: Correlaciones entre parámetros meteorológicos (Modelo Precip) y efectos físicos por eventos extremos.....	140
Cuadro V.1	Ecuador: Costos económicos totales del cambio climático hasta 2050.....	147
Cuadro V.2	Ecuador: Costos económicos totales del cambio climático hasta 2100.....	148
Cuadro V.3	Ecuador: Participación del costo económico del cambio climático hasta 2050 en el PIB de 2010.....	148
Cuadro V.4	Ecuador: Participación del costo económico del cambio climático hasta 2100 en el PIB de 2010.....	149
Cuadro VI.1	Ecuador: Medidas de adaptación al cambio climático.....	152
Cuadro VII.1	Ecuador: Oferta y demanda agregada, escenario inercial	159
Cuadro VII.2	Ecuador: Estrategias de mitigación para los principales sectores consumidores.....	160
Cuadro VII.3	Ecuador: Estructura del consumo de energía en 2030, escenarios base y de mitigación	161
Cuadro VII.4	Ecuador: Capacidad instalable en proyectos hidroeléctricos disponibles para desarrollo.....	164
Cuadro VII.5	Ecuador: Emisiones totales de GEI por USCUS.....	175
Cuadro VII.6	Ecuador: Estructura de las emisiones de GEI por USCUS.....	175
Cuadro VII.7	Ecuador: Emisiones de CO ₂ por USCUS, escenario base	176
Cuadro VII.8	Ecuador: Emisiones de CO ₂ por USCUS, escenario mitigación.....	178
Cuadro VII.9	Ecuador: Emisiones totales GEI por residuos	180
Cuadro VII.10	Ecuador: Emisiones de CH ₄ por residuos, escenario base	181
Cuadro VII.11	Ecuador: Emisiones de CH ₄ por residuos, escenario mitigación	183
 Índice de gráficos		
Gráfico I.1	Ecuador: Precipitación promedio por década, escenarios A2 y B2	23
Gráfico II.1	Ecuador: Evolución del PIB	26
Gráfico II.2	Ecuador: Participación sectorial en el PIB real, 1987-2008	28

Gráfico III.1	Ecuador: Esquema metodológico del análisis de la economía del cambio climático	33
Gráfico IV.1	Ecuador: Variación de la oferta hídrica por década, escenarios A2 y B2	50
Gráfico IV.2	Ecuador: Estructura del consumo de agua, por región y por uso	54
Gráfico IV.3	Ecuador: Superávit/déficit del recurso hídrico por el cambio climático, escenarios A2 y B2	58
Gráfico IV.4	Ecuador: Senda de crecimiento según función de producción de algunos cultivos seleccionados	63
Gráfico IV.5	Ecuador: Diagrama de clima, escenario base (1991-2000) de 2 de los 33 nodos seleccionados	73
Gráfico IV.6	Ecuador: Variación de temperatura y la precipitación para las formaciones vegetales, escenarios A2 y B2	74
Gráfico IV.7	Ecuador: Alteraciones en los regímenes climáticos (número de meses secos), escenarios A2 y B2	75
Gráfico IV.8	Ecuador: Áreas de vegetación afectadas por el cambio climático, escenarios A2 y B2, 1991-2100	77
Gráfico IV.9	Ecuador: Alteraciones en las superficies de las formaciones vegetales, escenario A2	78
Gráfico IV.10	Ecuador: Pérdida económica anual por emisiones de CO ₂ y probabilidad de excedencia, 2020-2100	84
Gráfico IV.11	Ecuador: Principales sitios de interés turístico a nivel nacional, 2008	97
Gráfico IV.12	Ecuador: Incidencia histórica de la malaria, 1990-2008	102
Gráfico IV.13	Ecuador: Correlación entre la variación de la temperatura y el número de casos de malaria, análisis provincial, 2003-2007	103
Gráfico IV.14	Ecuador: Relación entre variables climáticas y malaria	104
Gráfico IV.15	Ecuador: Incidencia histórica del dengue, 1990-2009	105
Gráfico IV.16	Ecuador: Relación entre variables climáticas y dengue	106
Gráfico IV.17	Isla Santa Cruz: Tendencias en precipitación, temperatura del aire y del mar, 1965-2008	121
Gráfico IV.18	Islas Galápagos: Población de cormoranes, censos 1977-2008	123
Gráfico IV.19	Islas Galápagos: Variación de la población de iguanas marinas durante el fenómeno ENOS, 1997-2005	124
Gráfico IV.20	Islas Galápagos: Población de pingüinos, censos 1977-2008	125
Gráfico IV.21	Parque Nacional Galápagos: Evolución del número de visitantes, 1979-2008	134
Gráfico IV.22	Islas Galápagos: Distribución de las visitas turísticas, 2002-2007	134
Gráfico IV.23	Ecuador: Estimación total del impacto económico del cambio climático, 2010-2100, escenarios A2 y B2	142
Gráfico IV.24	Ecuador: Impacto económico por eventos extremos asociados al cambio climático, valores decadales	143
Gráfico VII.1	Ecuador: Síntesis de la modelación aplicada en mitigación	159
Gráfico VII.2	Ecuador: Demanda final e intensidad energética por escenarios hasta 2030	161
Gráfico VII.3	Ecuador: Demanda de energía e intensidad energética del transporte hasta 2030	162
Gráfico VII.4	Ecuador: Sector residencial, demanda energética en usos térmicos hasta 2030	163
Gráfico VII.5	Ecuador: Consumo de la industria e intensidad energética por escenarios hasta 2030	164
Gráfico VII.6	Ecuador: Costos unitarios de generación hasta 2030, escenarios base y de mitigación	165
Gráfico VII.7	Ecuador: Emisiones GEI demanda final de energía, escenarios base y de mitigación	166

Gráfico VII.8	Ecuador: Emisiones GEI en la demanda final de energía por sector hasta 2030, escenarios base y de mitigación.....	167
Gráfico VII.9	Ecuador: Reducción de emisiones demanda final hasta 2030	168
Gráfico VII.10	Ecuador: Reducción de emisiones en la generación eléctrica hasta 2030	169
Gráfico VII.11	Ecuador: Reducción de emisiones totales en el sector energía hasta 2030	169
Gráfico VII.12	Ecuador: Escenarios de demanda de energía hasta 2050	170
Gráfico VII.13	Ecuador: Emisiones GEI en la demanda final de energía hasta 2050	171
Gráfico VII.14	Ecuador: Reducción de emisiones en la demanda final hasta 2050.....	172
Gráfico VII.15	Ecuador: Reducción de emisiones en la generación eléctrica, escenarios hasta 2050	173
Gráfico VII.16	Ecuador: Reducción de emisiones totales en el sector energía hasta 2050	173
Gráfico VII.17	Ecuador: Reducción de emisiones totales, conversión de bosques y praderas hasta 2050	177
Gráfico VII.18	Ecuador: Emisiones de CO ₂ en USCUS, comparación de escenarios	178
Gráfico VII.19	Ecuador: Población urbana y tasa de urbanización	181
Gráfico VII.20	Ecuador: Reducción de emisiones de CH ₄ por residuos.....	182
Gráfico VII.21	Ecuador: Emisiones de CH ₄ por residuos, comparación de escenarios	183

Índice de mapas

Mapa I.1	Ecuador: Variación de temperatura promedio, escenario A2, 2050.....	19
Mapa I.2	Ecuador: Variación de temperatura promedio, escenario A2, 2100.....	20
Mapa I.3	Ecuador: Variación de las precipitaciones diarias, escenario A2, 2050.....	23
Mapa I.4	Ecuador: Variación de las precipitaciones diarias, escenario A2, 2100.....	24
Mapa IV.1	Ecuador: Regiones hídricas.....	45
Mapa IV.2	Ecuador: Formaciones vegetales de las áreas naturales protegidas continentales.....	70
Mapa IV.3	Ecuador: Estructura climática de la vegetación.....	71
Mapa IV.4	Ecuador: Contenido de carbono almacenado en la biomasa de las áreas naturales protegidas	81
Mapa IV.5	Ecuador: Variación de la temperatura media en la línea de costa, escenario A2.....	87
Mapa IV.6	Ecuador: Variación de las precipitaciones medias en la zona costera, escenario A2.....	87
Mapa IV.7	Ecuador: Precipitación media anual por cuencas hidrográficas, década de 2050, escenario A2.....	89
Mapa IV.8	Ecuador (zonas rurales): Tendencia de incremento de la incidencia de la malaria por aumento de la temperatura.....	108
Mapa IV.9	Ecuador: Zonas de vulnerabilidad física frente a eventos climáticos	112
Mapa IV.10	Ecuador: Infraestructura vial en zonas de riesgo	113
Mapa IV.11	Ecuador: Infraestructura de distribución eléctrica en zonas de riesgo.....	114
Mapa IV.12	Isla Santa Cruz: Atractivos turísticos altamente vulnerables al cambio climático	131
Mapa IV.13	Isla San Cristóbal: Atractivos turísticos altamente vulnerables al cambio climático	132

Acrónimos

BCE	Banco Central del Ecuador
CAF	Corporación Andina de Fomento
CELADE	Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía-División de Población de la CEPAL
CENAIM	Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas del Ecuador
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CIFEN	Comité Técnico de Coordinación Interinstitucional para el Fenómeno de El Niño
CNRH	Consejo Nacional de Recursos Hídricos
COFENAC	Consejo Cafetalero Nacional
CONELEC	Consejo Nacional de Electricidad del Ecuador
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FCD	Fundación Charles Darwin
GEI	gases de efecto invernadero
GLP	gas licuado de petróleo
GNC	gas natural comprimido
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador
INEFAN	Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales y Vida Silvestre
INHMT	Instituto Nacional de Higiene y Medicina Tropical
INPE	Instituto Nacional de Pesca del Ecuador
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón

LEAP	Sistema de planificación de otras fuentes de energía para los países menos desarrollados (<i>Long-range Energy Alternatives Planning system</i>)
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
PEA	Población económicamente activa
PIB	Producto interno bruto
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PSB	Programa Socio Bosque
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua
SENPLADES	Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo
SIAGRO	Sistema de información geográfica y agropecuaria
SIISE	Sistema Indicadores Sociales del Ecuador
SNAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
SNEM	Sistema Nacional de Erradicación de la Malaria
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

Introducción

Este documento se elaboró en conjunto con otros países en el marco del Estudio regional para la economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Se usaron los mismos escenarios climáticos y tasas de descuento para evaluar los impactos, con el fin de obtener información confiable y cotejada que pueda ser agregada y comparada a nivel regional. Esta iniciativa es coordinada por la CEPAL.

Es necesario identificar los efectos que podría provocar el cambio climático con una perspectiva de largo plazo, a fin de determinar la capacidad nacional que se requerirá para enfrentar los problemas económicos, sociales y ambientales derivados de estos impactos en el futuro. En este estudio se analiza la posible dimensión del impacto físico del cambio climático y su cuantificación económica en diferentes sectores: recursos hídricos, agricultura, biodiversidad, recursos marinos y costeros, salud, infraestructura, eventos extremos y, en particular, las islas Galápagos. Para ello, se analizaron los escenarios A2 y B2 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático para los años de corte seleccionados hasta 2100. Los resultados que se presentan no deben considerarse pronósticos exactos, dados los altos márgenes de incertidumbre de los modelos, pero muestran claras tendencias que permiten iniciar acciones y prevenir efectos negativos en el proceso de desarrollo del país.

El documento se compone de nueve partes. En el capítulo I se realiza un análisis histórico y se presentan las proyecciones futuras de las principales variables climáticas: temperatura y precipitaciones. Esta información fue desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales del Brasil (INPE) para el Estudio regional de la economía del cambio climático en América del Sur, se basó en el modelo PRECIS con proyecciones mensuales de las principales variables climáticas y un modelo de reducción de escala estadística a 50 km (longitud-latitud). Las proyecciones para el Ecuador indicaron un aumento promedio de la temperatura y la precipitación a nivel nacional de hasta 3°C y 5,5 mm/día, respectivamente, hacia finales de siglo. La evidencia histórica ya muestra variaciones de la temperatura y la pluviosidad, incluso superiores al promedio mundial proyectado.

En el capítulo II se presenta una síntesis de los principales indicadores macroeconómicos y sociales del Ecuador, así como el escenario macroeconómico para el análisis de los impactos económicos del cambio climático, mientras que en el capítulo III se resume la metodología empleada en todo el estudio.

En el capítulo IV se presenta el dimensionamiento físico y económico del impacto del cambio climático en los sectores seleccionados —recursos hídricos, agricultura, biodiversidad, recursos marinos y costeros, salud, infraestructura, eventos extremos y, en particular, las Galápagos—. Para identificar

los efectos en estos sectores se desarrollaron metodologías específicas para cada uno de ellos, basadas, sobre todo, en modelos econométricos, herramientas cartográficas y la información climática del modelo PRECIS. Los hallazgos demuestran que las posibles variaciones de la temperatura y las precipitaciones y la mayor frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos podrían reducir la capacidad productiva agrícola de algunas zonas, afectar las principales obras de infraestructura vial, eléctrica y turística, provocar ingentes pérdidas de biodiversidad y su capacidad de almacenamiento de carbono, modificar la capacidad de oferta y demanda hídrica, y provocar el aumento de los casos de malaria y dengue por transmisión vectorial. También a causa de la variación de temperatura y pluviosidad y de la probable elevación del nivel del mar, se vería afectada la capacidad y oferta ambiental de los ecosistemas costeros del Ecuador. El análisis del impacto del cambio climático en las islas Galápagos, en particular, cobra gran relevancia por tratarse de un ecosistema único, ya que tendría fuertes implicaciones para los hábitats de diversas especies que en la actualidad ya son catalogadas como vulnerables. A esto se sumarían los efectos causados por las inundaciones de zonas costeras, lo que podría elevar el nivel del mar y afectar tanto al turismo como a los ecosistemas y sus valores de uso y no uso.

En el capítulo V se muestra la agregación de los resultados de los impactos en los sectores y las consecuencias futuras para la economía ecuatoriana. Los resultados agregados se analizan aplicando distintas tasas de descuento, lo que refleja diversas relaciones de los efectos futuros.

En el capítulo VI se resumen las principales acciones de adaptación llevadas a cabo a nivel nacional y se sugieren algunas medidas a partir de los resultados del estudio, abordadas desde una perspectiva de desarrollo sostenible que incluya acciones integrales en los distintos niveles de acción.

Considerando que los impactos del cambio climático están determinados por los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero y las acciones que los países adopten al respecto, en el capítulo VII se presenta un análisis de la estructura de las emisiones totales de estos gases en el Ecuador, sobre todo del sector energético y los cambios en el uso del suelo y los residuos, además de simulaciones de escenarios de abatimiento de carbono y posibles medidas de mitigación.

En el capítulo VIII se resumen los compromisos internacionales adoptados por el Gobierno del Ecuador y sus acciones a nivel nacional para enfrentar los impactos del cambio climático.

Por último, en el capítulo IX se sintetizan los principales hallazgos del estudio y se sugieren algunas opciones de política.

De este modo, este estudio cumple con el objetivo central de brindar información clave sobre los impactos del cambio climático en el Ecuador y proponer algunas posibles medidas de adaptación y mitigación. Algunos datos adolecen de limitaciones en ciertos campos, lo que obligó a definir un conjunto de supuestos que permitieran subsanar, al menos en parte, la limitada información científica y estadística. La existencia de efectos que no pudieron ser cuantificados y la necesidad de profundizar la recopilación de datos y de mejorar el diseño de las políticas y estrategias necesarias para enfrentar este fenómeno sugieren que es vital llevar a cabo más estudios de este tipo.

I. El cambio climático a nivel nacional

El Ecuador es considerado un país extremadamente diverso, pues se encuentra entre los cinco países con la mayor diversidad biológica del mundo. Esto se debe a sus características climatológicas particulares, su ubicación geográfica y la presencia de la cordillera de los Andes, donde se presentan altos niveles de pluviosidad y diversos microclimas, lo que ha propiciado la existencia de 26 zonas de vida, según la clasificación de Holdridge (INEFAN, 1998).

Las condiciones climáticas en el Ecuador son influenciadas por variables que dan lugar a marcados cambios temporales y espaciales en las regiones del país. Dos de las variables principales son la temperatura y la precipitación. A diferencia de los países de latitudes altas, en el Ecuador se observan dos épocas bien diferenciadas por la distribución temporal de las precipitaciones —una lluviosa y otra seca—, excepto la Amazonía, donde las lluvias son considerables durante todo el año (Ministerio del Ambiente, 2001).

En el Ecuador, al igual que en el resto del planeta, las observaciones de temperatura muestran una leve tendencia creciente, con aumentos de las variaciones interanuales e interestacionales. Las conclusiones de un estudio de Cáceres y otros (1998) en el que se analizaron los datos históricos hasta finales de la década de 1990 de 14 estaciones meteorológicas localizadas en las regiones litoral e interandina fueron que la temperatura media presenta una suba de hasta 1,6°C en la zona urbana de altura y de 1,5°C en la zona rural de altura, mientras que en la zona urbana marina habría un cambio permanente de temperatura entre 0,5°C y 1°C¹. Para la precipitación, los datos temporales han sido bastante irregulares, con una tendencia a disminuir sobre todo en la región litoral (Cáceres y otros, 1998).

¹ En cada una de las estaciones, los años de registro varían en cuanto al período de análisis y el año de origen, según los datos disponibles. Ocho de las estaciones estuvieron ubicadas en la región interandina y seis, en la región litoral.

En este estudio se contó con la información generada por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales del Brasil (INPE) para el Estudio regional de la economía del cambio climático en América del Sur, y se elaboraron promedios históricos mensuales, proyectando escenarios climáticos de las principales variables. La resolución de la escala estadística es de 50 km por 50 km para los escenarios A2 y B2², derivados del modelo PRECIS (HadCM3)³.

Con el modelo climático PRECIS, los valores registrados para la temperatura media de 1961 a 2007 indican que se ha incrementado 0,68°C a nivel nacional⁴. Estos datos muestran que ha habido variaciones interanuales con un aumento en los últimos años: en 2000 las variaciones oscilaban entre 0,5°C y 0,6°C. En cuanto al registro de las precipitaciones para el mismo período (1961-2007), se observa una tendencia ligeramente creciente con un incremento del 2,3%, pero con variaciones considerables intra- e intertemporales⁵. El valor medio de los registros de las precipitaciones a lo largo de las cuatro décadas presenta una variación máxima de hasta 5,9 mm/día en el mismo mes de años diferentes. La diferencia entre distintos meses del año es de 10,4 mm/día como máximo, lo que refleja la existencia de fenómenos cíclicos. Entre las regiones del Ecuador, las variaciones de las precipitaciones son diferenciadas: por ejemplo, en la década de 1990 se experimentó un descenso promedio del 3,4% en la Sierra, mientras que se observó una tendencia creciente del 2,5% y el 0,8% en la Costa y la Amazonía, respectivamente.

² El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) presentó un conjunto de escenarios de emisión —denominados IS92—, para ser utilizados como base de las proyecciones climáticas del segundo informe de evaluación. El escenario A2 se refiere a una economía internacional dinámica con un uso intensivo de los combustibles fósiles y un crecimiento demográfico alto y sostenido, que provoca un aumento de la concentración de GEI en la atmósfera con valores muy superiores a los actuales. El escenario B2 supone un cierto nivel de mitigación de las emisiones por medio de un uso más eficiente de la energía, mejoras tecnológicas y un menor dinamismo económico y demográfico, por lo que habría una menor concentración de GEI y, por ende, un menor impacto asociado al calentamiento global.

³ El Ecuador viene trabajando con tres modelos para elaborar escenarios de cambio climático, cada uno con bondades e incertidumbres. El modelo PRECIS, utilizado aquí, es uno de ellos, por lo que los resultados de este estudio se podrían definir como un caso piloto. Para enfrentar esta incertidumbre, el análisis de consenso realizado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), con el apoyo del Ministerio del Ambiente del Ecuador y el proyecto PRAA, el Sistema de Cuentas Nacionales (SCN) y el Proyecto de Adaptación al Cambio Climático (PACC), indica que no hay coincidencia nacional entre los resultados de los tres modelos y que la forma en que cada uno refleja la realidad depende de la zona geográfica. Los resultados de este análisis, incluidos en el anexo de este documento, se podrían definir como un caso piloto según el modelo PRECIS. Dadas las incertidumbres mencionadas, deben tomarse con cautela los resultados obtenidos con un solo modelo aplicable a todo el territorio nacional.

⁴ Para los objetivos del estudio se ha visto la necesidad de interpolar las observaciones discretas para cada variable con información social, ambiental y relativa a la producción a fin de obtener variables continuas en todo el espacio de estudio.

⁵ Estos resultados coinciden con los de otros estudios regionales, llevados a cabo en la región andina del Ecuador, el Perú, Bolivia (Estado Plurinacional de) y el norte de Chile, que determinan una tendencia creciente de las precipitaciones en el Ecuador (Vuille, 2003). De igual forma, Haylock y otros (2006) sugieren que habrá una tendencia hacia condiciones más húmedas en el Ecuador y el norte del Perú en las últimas décadas.

A. Escenarios futuros de la temperatura

En general, las variables climáticas proyectadas con datos de modelo PRECIS indican que en las décadas venideras, conforme el escenario A2, la temperatura media experimentaría un incremento de hasta 5°C hacia finales del siglo en comparación con el escenario de base, lo que afectaría en mayor medida a la región de la Amazonía norte (véanse los mapas I.1 y I.2)⁶.

En los cuadros I.1 y I.2 se muestra que hacia 2020 la temperatura media presentaría un incremento de alrededor 1°C en el 70% del Ecuador continental, sobre todo en la Sierra y la Amazonía. Hacia 2050, este aumento llegaría a 1,8°C en el promedio nacional y afectaría mayormente las regiones interiores (Sierra y Amazonía), con aumentos de hasta 2°C en la región amazónica —provincias de Sucumbios, Orellana y Pastaza—. Hacia finales del siglo, la totalidad del territorio experimentaría incrementos por sobre los 3°C en promedio, la mayoría de los cuales se concentran en la Amazonía y alcanzan los 5,4°C, lo que afectaría casi el 50% del territorio.

En contraste, en el caso del escenario B2, el aumento de la temperatura sería más moderado y se percibiría de forma más nítida a partir de mediados de siglo. En el cuadro I.1 se observa que, al igual que en el escenario A2, la Amazonía experimenta los mayores aumentos y que, en promedio, la temperatura se elevaría 3°C hacia finales de siglo.

CUADRO I.1
ECUADOR: TEMPERATURA PROMEDIO POR DÉCADA, ESCENARIOS A2 Y B2
(En grados Celsius)

Región	Área (en kilómetros cuadrados)	Línea de base ^a	2020-2030		2040-2050		2060-2070		2090-2100	
			A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Sierra	60 210	14,0	15,0	14,9	15,5	15,2	16,5	15,7	17,9	16,7
Costa	71 592	23,3	24,2	24,1	24,6	24,3	25,3	24,7	26,5	25,6
Amazonía	116 604	20,5	21,7	21,5	22,3	21,9	23,5	22,6	25,5	23,9
Superficie total	248 406									
Temperatura promedio ^b		19,8	20,8	20,6	21,3	21,0	22,3	21,5	24,0	22,7
Variación porcentual			1,1	0,9	1,6	1,2	2,6	1,8	4,2	2,9

Fuente: Elaboración propia sobre la base de información proporcionada por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales del Brasil (INPE) y datos del modelo PRECIS.

^a Promedio ponderado del período 1961-2009.

^b Promedio ponderado por la superficie.

⁶ Se toma como valor de comparación —línea de base— el promedio de las observaciones entre 1961 y 2009.

CUADRO I.2
ECUADOR: VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA POR PROVINCIA, ESCENARIO A2
(En porcentajes)

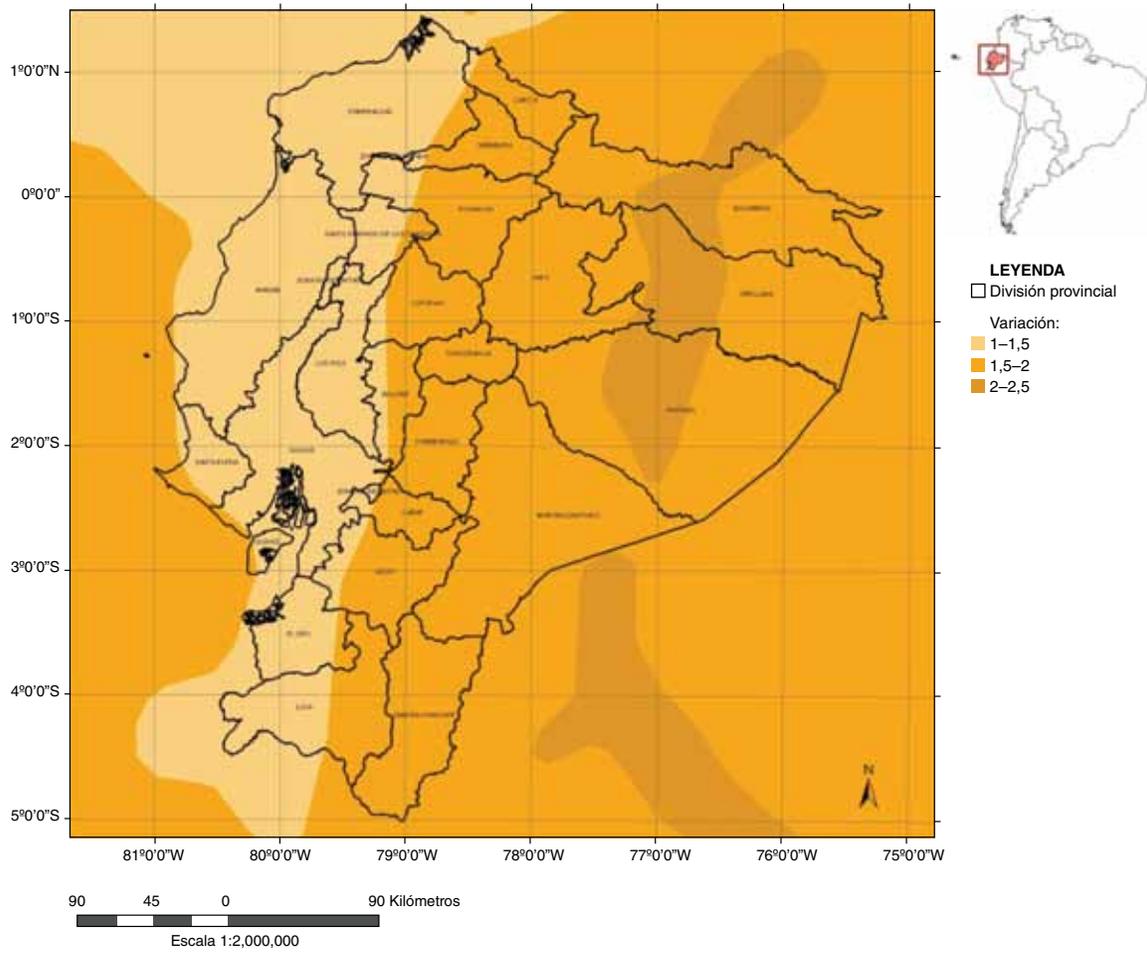
Provincia	Área (en kilómetros cuadrados)	Línea de base (en grados Celsius) ^a	Variación respecto de la línea de base								
			2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	
SIERRA	Azuay	8 171,85	13,8	1,06	1,22	1,59	1,78	2,53	2,92	3,35	4,06
	Bolívar	3 945,48	15,9	0,98	1,14	1,45	1,63	2,32	2,59	3,08	3,74
	Cañar	3 145,52	12,9	1,05	1,22	1,58	1,78	2,52	2,92	3,34	4,06
	Carchi	3 779,09	14,5	1,07	1,25	1,57	1,76	2,51	2,89	3,32	4,03
	Cotopaxi	6 105,47	12,7	1,04	1,23	1,53	1,73	2,46	2,8	3,25	3,95
	Chimborazo	6 501,76	9,7	1,1	1,28	1,64	1,86	2,63	3,13	3,47	4,2
	Imbabura	4 576,76	14,4	1,05	1,25	1,55	1,75	2,5	2,83	3,3	4,01
	Loja	11 062,25	18,1	0,96	1,09	1,43	1,6	2,26	2,6	3,03	3,58
	Pichincha	9 535,88	13,6	1,05	1,26	1,55	1,75	2,5	2,86	3,29	4,01
	Tungurahua	3 386,39	10,2	1,08	1,28	1,6	1,82	2,59	3,07	3,4	4,11
COSTA	El Oro	5 795,78	20,8	0,89	1	1,32	1,47	2,07	2,38	2,79	3,27
	Esmeraldas	16 054,33	23,0	0,91	1,04	1,31	1,44	2,04	2,28	2,69	3,3
	Guayas	15 613,56	24,3	0,86	0,98	1,27	1,41	1,98	2,2	2,66	3,21
	Los Ríos	7 208,44	22,9	0,83	0,96	1,23	1,38	1,95	2,15	2,58	3,16
	Manabí	18 989,20	24,3	0,83	0,95	1,21	1,33	1,88	2,07	2,49	3,09
	Santo Domingo de los Tsáchilas	3 446,46	19,5	0,93	1,1	1,37	1,53	2,18	2,42	2,89	3,53
AMAZONÍA	Santa Elena	3 701,03	23,9	0,99	1,1	1,43	1,58	2,2	2,4	2,97	3,6
	Morona Santiago	24 047,57	17,8	1,15	1,35	1,72	1,98	2,82	3,33	3,71	4,63
	Napo	12 543,30	15,6	1,09	1,31	1,63	1,88	2,7	3,2	3,51	4,37
	Pastaza	29 666,58	23,4	1,25	1,5	1,85	2,19	3,12	3,65	4,12	5,3
	Zamora Chinchipe	10 583,51	15,3	1,1	1,27	1,66	1,86	2,64	3,13	3,45	4,24
	Sucumbíos	18 075,28	21,9	1,25	1,5	1,84	2,15	3,1	3,62	4,1	5,26
	Orellana	21 687,81	23,9	1,26	1,51	1,86	2,2	3,15	3,68	4,17	5,41
Zona no delimitada	783,19	21,98	0,86	0,99	1,26	1,41	2	2,21	2,65	3,24	
Superficie total	248 406,49										
Temperatura promedio (en grados Celsius) ^b		19,75	20,81	21,00	21,33	21,55	22,31	22,71	23,14	23,97	

Fuente: Elaboración propia sobre la base de información del modelo PRECIS.

^a Promedio del período 1965-2007.

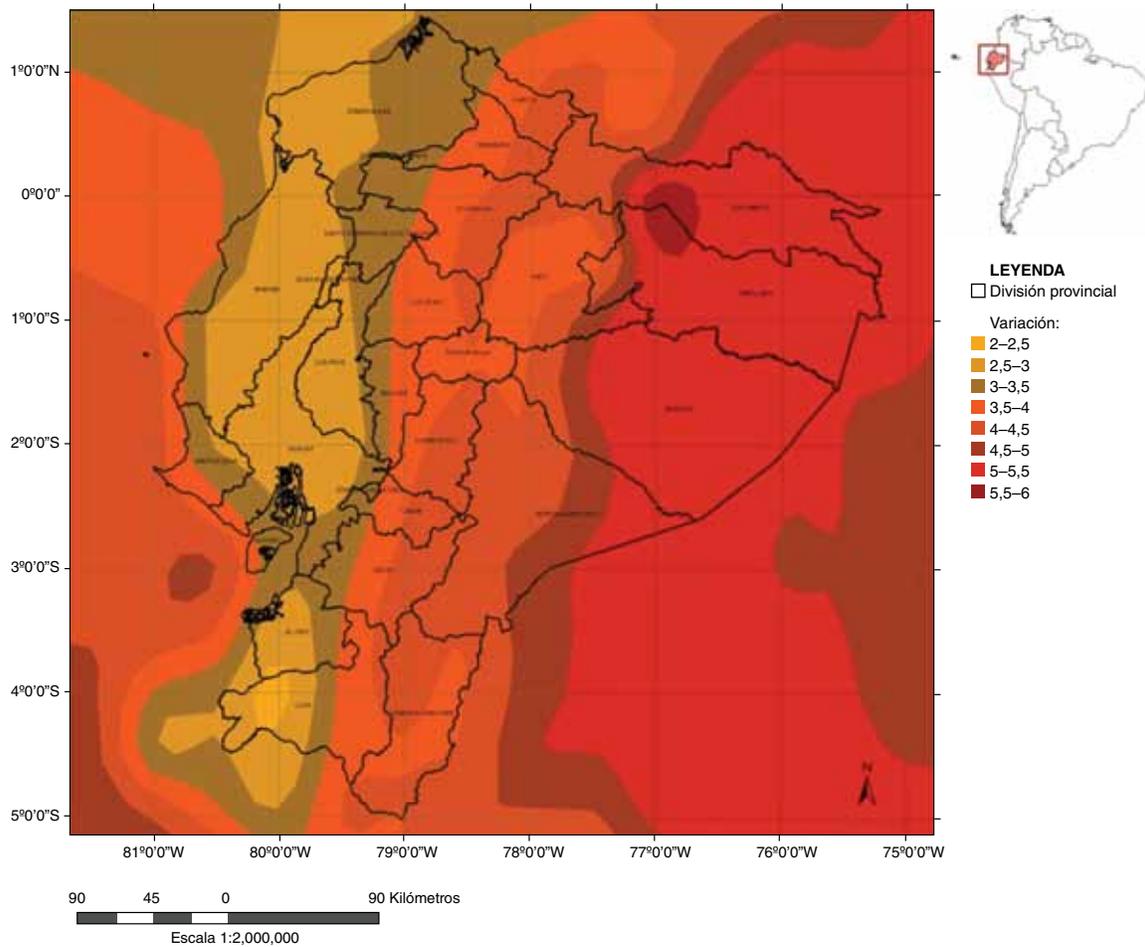
^b Promedio ponderado por superficie.

MAPA I.1
ECUADOR: VARIACIÓN DE TEMPERATURA PROMEDIO, ESCENARIO A2, 2050
(En grados Celsius)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de información proporcionada por el INPE y datos del modelo PRECIS.

MAPA I.2
ECUADOR: VARIACIÓN DE TEMPERATURA PROMEDIO, ESCENARIO A2, 2100
(En grados Celsius)



Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por el INPE con el modelo PRECIS.

B. Escenarios futuros de las precipitaciones

En el escenario A2, los cambios en el nivel de precipitaciones durante la primera mitad del siglo serían más moderados (véase el mapa I.3). Como se observa en los cuadros I.3 y I.4, habría una posible variación adicional del 1,6% en la primera mitad del siglo en las provincias ubicadas en la zona norte de la Costa y la cordillera occidental. Los efectos más graves se darían en las provincias de Manabí y Santa Elena y, con menor incidencia, en Esmeraldas. Mientras que en la Sierra las precipitaciones disminuirían entre un 6% y un 7%, serían más serias en las provincias ubicadas en el centro de esta región, especialmente en Chimborazo.

CUADRO I.3
ECUADOR: PRECIPITACIÓN PROMEDIO POR DÉCADA, ESCENARIOS A2 Y B2
(En milímetros por día)

Región	Área (en kilómetros cuadrados)	Línea de base ^a	2020-2030		2040-2050		2060-2070		2090-2100	
			A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Sierra	60 210	5,4	5,12	5,34	5,28	5,25	5,5	5,45	5,61	5,65
Costa	71 592	3,6	4,03	4,00	4,26	3,9	4,58	4,23	5,92	5,07
Amazonía	116 604	6,6	6,73	6,83	6,83	6,77	6,78	6,81	6,97	7,07
Superficie total	248 406									
Precipitación ^b		5,5	5,56	5,65	5,71	5,57	5,84	5,74	6,34	6,15
Variación porcentual			0,1	0,2	0,2	0,1	0,4	0,3	0,9	0,7

Fuente: Elaboración propia sobre la base de información proporcionada por el INPE con el modelo PRECIS.

^a Promedio ponderado del período 1961-2009.

^b Promedio ponderado por la superficie.

Hacia 2070, el incremento promedio del volumen de precipitaciones sería de un 15,8%. A lo largo de toda la costa ecuatoriana se llegarían a registrar aumentos de hasta el 47% (provincia de Santa Elena), mientras que la caída de los niveles de pluviosidad se mantiene en la Sierra y se agudiza en la provincia de Chimborazo (16%), y en Tungurahua y Bolívar (13%). Por otra parte, en la Amazonía ecuatoriana se llegaría a variaciones porcentuales entre el 4% y el 13%. Hacia fin del siglo (véase el mapa I.4), el promedio nacional de aumento porcentual de los volúmenes de precipitaciones llegaría al 16%. En zonas como el centro de la Costa, los porcentajes alcanzan hasta el 95% —el doble del nivel promedio registrado el año de base—. En el caso de la Sierra, los niveles de lluvias se reducen hasta un 15%; sin embargo, algunas provincias meridionales, como Loja y Cañar, registran variaciones positivas.

CUADRO I.4
ECUADOR: VARIACIÓN PORCENTUAL DE LAS PRECIPITACIONES, ESCENARIO A2
(En porcentajes)

Provincia	Área (en kilómetros cuadrados)	Línea de base (en milímetros por día) ^a	Variación respecto de la línea de base								
			2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	
SIERRA	Azuay	8 171,85	6,06	2,48	0,50	0,33	1,65	5,45	2,64	5,45	15,51
	Bolívar	3 945,48	6,48	-6,17	-9,26	-8,80	-6,48	-3,40	-12,96	-13,43	-4,01
	Cañar	3 145,52	5,76	2,26	0,00	0,00	1,39	5,21	2,95	3,13	15,97
	Carchi	3 779,09	6,03	2,32	1,16	1,82	2,16	2,99	5,31	2,65	9,78
	Cotopaxi	6 105,47	5,31	-7,34	-9,60	-9,04	-7,53	-6,21	-13,94	-19,02	-8,85
	Chimborazo	6 501,76	7,43	-7,67	-8,61	-8,34	-7,94	-7,13	-15,88	-21,00	-14,67
	Imbabura	4 576,76	5,03	0,20	-1,59	-0,80	-0,20	0,99	1,59	-0,60	6,56
	Loja	11 062,25	3,47	6,92	4,90	3,17	5,48	12,39	11,53	17,00	30,55
	Pichincha	9 535,88	5,09	-2,95	-4,72	-4,13	-3,34	-2,55	-3,93	-8,45	0,20
	Tungurahua	3 386,39	6,19	-6,95	-7,92	-7,75	-7,27	-6,62	-12,60	-19,71	-12,60
COSTA	El Oro	5 795,78	3,36	11,01	8,93	6,55	9,82	19,64	21,43	28,27	45,54
	Esmeraldas	16 054,33	5,43	9,94	8,29	9,02	10,87	11,60	19,89	24,49	30,39
	Guayas	15 613,56	3,1	10,00	8,06	5,81	10,97	20,97	19,35	31,29	46,13
	Los Ríos	7 208,44	5,11	0,20	-2,35	-2,74	1,37	5,28	-0,59	6,65	12,92
	Manabí	18 989,20	2,21	19,91	17,19	15,84	24,89	29,86	39,37	52,94	74,21
	Santo Domingo de los Tsáchilas	3 446,46	4,87	-0,62	-3,08	-2,67	0,00	1,23	-0,62	0,00	10,68
	Santa Elena	3 701,03	1,67	21,56	22,16	15,57	25,75	43,11	47,90	57,49	94,61
AMAZONÍA	Morona Santiago	24 047,57	7,12	1,97	0,98	1,12	0,98	1,69	5,90	0,84	5,48
	Napo	12 543,30	8,89	0,22	-0,45	-0,34	-0,22	0,34	4,61	-2,81	2,14
	Pastaza	29 666,58	6,36	4,87	3,93	3,77	3,30	4,25	10,53	9,28	10,38
	Zamora Chinchipe	10 583,51	5,64	2,48	1,42	1,77	1,77	2,30	4,08	3,72	8,33
	Sucumbíos	18 075,28	5,85	2,05	1,54	1,20	0,85	2,05	6,67	2,56	4,27
	Orellana	21 687,81	6,41	2,65	2,18	1,72	1,09	2,34	6,40	4,99	5,15
	Zona no delimitada	783,19	4,75	6,95	4,63	4,63	8,00	11,16	12,84	18,95	30,74
Superficie total	248 406,49										
Precipitación promedio (en milímetros por día) ^b			5,6	5,7	5,7	5,7	5,9	6,4	6,2	6,4	
Variación porcentual			1,6	3,7	4,3	4,5	6,6	15,8	12,09	15,76	

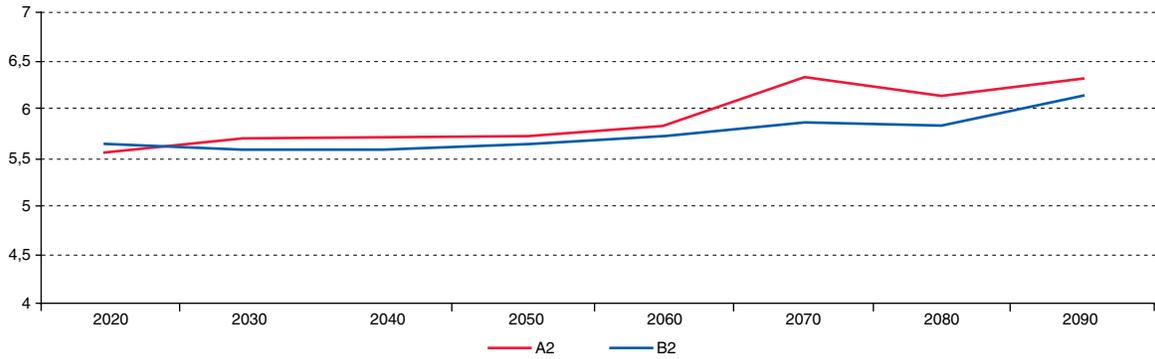
Fuente: Elaboración propia sobre la base de información del modelo PRECIS.

^a Promedio ponderado del período 1961-2009.

^b Promedio ponderado por la superficie.

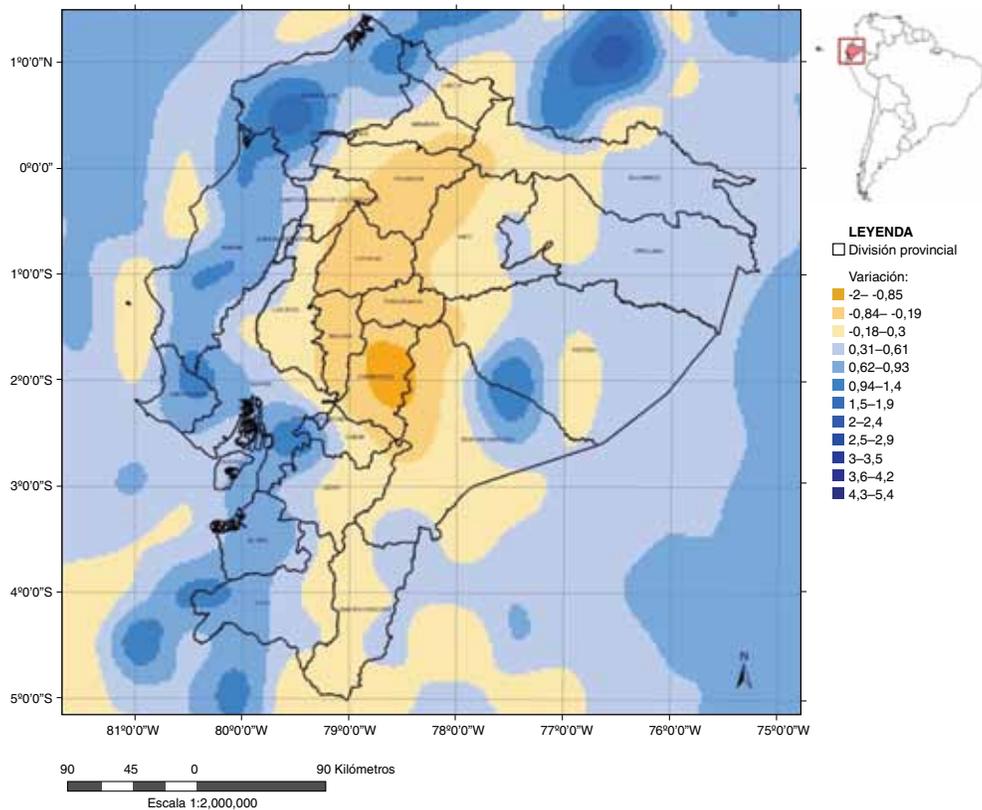
Como se muestra en el gráfico I.1, el escenario B2 mostraría resultados similares al escenario A2 hasta mediados de siglo y, posteriormente, cambios más moderados. Por lo tanto, los resultados presentados en este capítulo se enfocan en el escenario con mayor impacto: el escenario A2.

GRÁFICO I.1
ECUADOR: PRECIPITACIÓN PROMEDIO POR DÉCADA, ESCENARIOS A2 Y B2
(En milímetros por día)



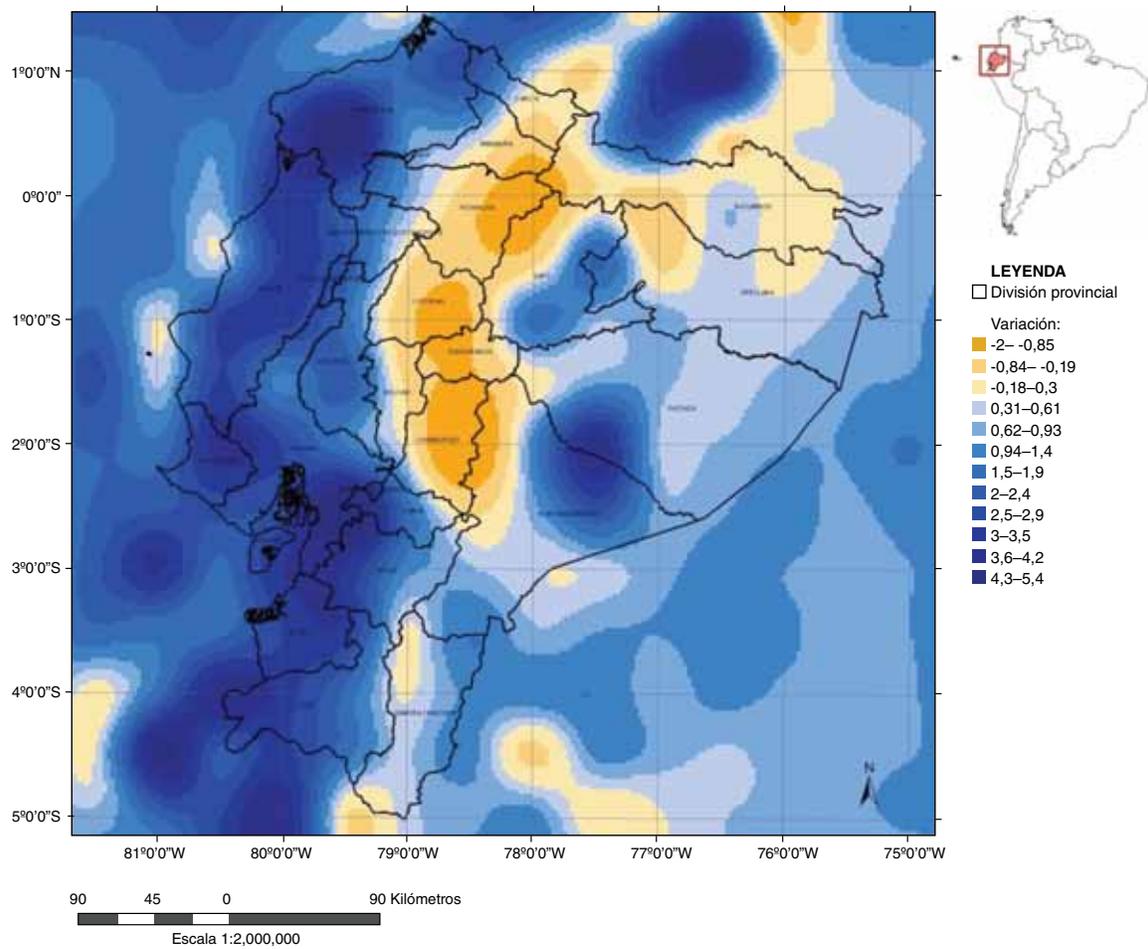
Fuente: Elaboración propia sobre la base de información proporcionada por el INPE con el modelo PRECIS.

MAPA I.3
ECUADOR: VARIACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES DIARIAS, ESCENARIO A2, 2050
(En milímetros por día)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de información del modelo PRECIS.

MAPA I.4
ECUADOR: VARIACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES DIARIAS, ESCENARIO A2, 2100
(En milímetros por día)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de información del modelo PRECIS.

II. Contexto socioeconómico y demográfico

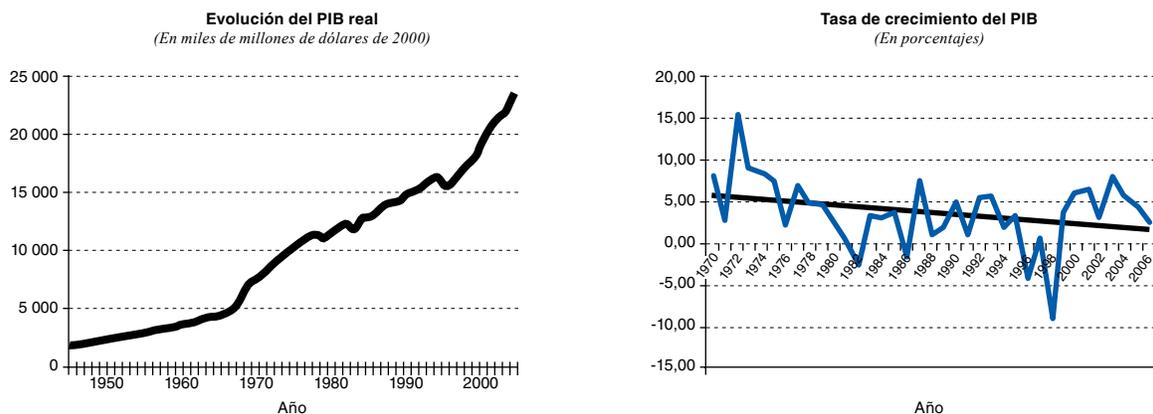
En 2008 el Ecuador tenía una población total de 13,3 millones de habitantes, el 65% de los cuales residía en zonas urbanas, mientras que el 35% se encontraba en situación de pobreza. El 30% del total de la población urbana se concentra en Quito y Guayaquil. El crecimiento demográfico es del 1,3% anual y, según estimaciones del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), el total de habitantes del país llegará a 18,4 millones en 2100¹.

El Ecuador se caracteriza por ser un país de crecimiento altamente volátil, con un ingreso per cápita de 3.080 dólares y un crecimiento del 3,4% entre 1994 y 2007. Su estructura productiva no está muy diversificada y se centra en actividades primarias, como el petróleo, la agricultura y un incipiente sector industrial.

Desde 1970, el crecimiento económico ecuatoriano ha experimentado una desaceleración, explicada por su alta vulnerabilidad ante fenómenos externos y climatológicos, su baja productividad y una estructura productiva poco diversificada y con una fuerte dependencia de la explotación petrolera. De 1950 a 2008, el PIB real del Ecuador creció casi 12 veces: de 1.819 a 23.526 millones de dólares de 2000 (gráfico II.1). Sin embargo, el crecimiento real de la economía ha variado de manera considerable: de niveles que rondaban el 4,8% anual promedio antes del auge petrolero subió al 8,9% y luego cayó al 2,8% desde 1981 hasta la fecha (Burneo y Oleas, 1996; Falconi y Oleas, 2004). El crecimiento antes del boom petrolero fue producto de la estabilidad macroeconómica mundial imperante entre el fin de la Segunda Guerra Mundial y la debacle de la década de 1970 (el colapso de Bretton Woods y las crisis petroleras). La extraordinaria tasa de crecimiento anual promedio de los años setenta se debe al inicio de la explotación petrolera en la Amazonía ecuatoriana, que sorteó las crisis internacionales sin ningún problema. El enfriamiento económico después de los años ochenta viene dado en gran parte por la crisis de la deuda, que castigó a la región desde 1982 e impidió el acceso a los mercados financieros internacionales privados por un largo período (en el caso de Ecuador, hasta 2005). De igual manera, se puede citar la inestabilidad financiera de la mayoría de las economías emergentes a lo largo de los años noventa y, por supuesto, la debacle bancaria del Ecuador a finales de dicha década.

¹ Datos basados en las proyecciones de población 2001-2100 del INEC ([en línea]: http://www.inec.gob.ec/c/document_library/get_file?folderId=155251&name=DLFE-17803.zip).

GRÁFICO II.1 ECUADOR: EVOLUCIÓN DEL PIB



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos publicados en “75 años de información estadística 1927-2002”, “Cuentas Nacionales 1972-1995” y “Cuentas Nacionales 1993-2007”, Banco Central del Ecuador (BCE).

En el período 1970-2006 se observa que hubo cuatro años en los que las tasas de crecimiento fueron negativas. Tres de estos episodios estuvieron relacionados con los impactos provocados por eventos climatológicos adversos, como el fenómeno El Niño en 1982, 1983 y 1999, en cuyo caso la tasa negativa también se asocia a los efectos de este fenómeno ocurrido en 1997-1998 y a las repercusiones de la crisis bancaria financiera del Ecuador que culminó con la dolarización (Falconi y Oleas, 2004). En 1987 se observó la cuarta tasa de crecimiento negativo, causada por la recesión económica ante la interrupción de las exportaciones de petróleo ecuatoriano a raíz de la ruptura del oleoducto tras el terremoto de ese año.

RECUADRO II.1 PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES

En la literatura económica ecuatoriana es muy común encontrar análisis del incremento de la producción donde no se lo justifica a raíz de mayor trabajo o capital sino de un aumento de la capacidad productiva de los trabajadores y del capital: la productividad total de los factores. En este sentido, resulta interesante observar que solo en los períodos 1970-1979 y 2000-2004 se registra un incremento significativo del valor agregado per cápita, cuyo principal motor de crecimiento radica en la productividad total de los factores, asociados en gran medida a mejoras educativas, en lugar del incremento del capital o del trabajo^a.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Banco Mundial, 2006.

^a Puede encontrarse un análisis más detallado en el documento “Ecuador Country Economic Memorandum”, Banco Mundial (2006). Sin embargo, no se toman en cuenta los recursos naturales como otro factor que seguramente ejerce una fuerte influencia en la productividad total de los factores.

Estos factores aleatorios han tenido una incidencia significativa en el crecimiento de la economía ecuatoriana. Las principales fuentes de este crecimiento con tendencia negativa han sido factores económicos estructurales asociados al tipo de crecimiento experimentado por el país históricamente (véase el recuadro II.1). En el cuadro II.1 se puede observar la contribución al crecimiento nacional tanto del trabajo como del capital, al igual que el residuo, que no puede ser explicado por estos factores.

CUADRO II.1
ECUADOR: FUENTES DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO AGREGADO, 1960-2004^a
(En porcentajes)

Período	Cambio observado en el valor agregado del trabajo por persona	Contribución a los cambios en el empleo efectivo	Contribución a los cambios en el capital	Contribución a los cambios en la productividad total de los factores
1960-2004	1,2	-0,1	0,3	1,1
1960-1969	0,9	-0,1	-0,6	1,6
1970-1979	4,7	-0,4	-0,2	5,3
1980-1989	-1,3	0	1,2	-2,4
1990-1999	-0,6	-0,8	0,7	-0,5
2000-2004	1,9	0,9	-0,5	1,5

Fuente: Banco Mundial, (2006), “Ecuador country economic memorandum”, sobre la base de datos del Banco Central del Ecuador.

^a En el cuadro se presenta el resultado de la descomposición de los rubros del crecimiento. Cada fila representa la contribución del capital, el empleo y la productividad total de los factores como un porcentaje de todo el crecimiento económico.

El comportamiento sectorial del crecimiento económico registrado muestra la predominancia de los servicios —en especial, comerciales y financieros— y la producción primaria, sobre todo, petróleo. En el gráfico II.1 se observa que la estructura básica de la economía ecuatoriana ha mantenido una tendencia relativamente estable en los últimos 20 años, donde los servicios abarcan cerca del 40% de la economía nacional y la producción primaria total representa cerca del 30%, mientras que las manufacturas apenas llegan al 15% en promedio en el período 1995-2008². Esto también refleja que la economía tiende a lograr una mayor apertura y que aún depende de los bienes primarios, en especial el petróleo.

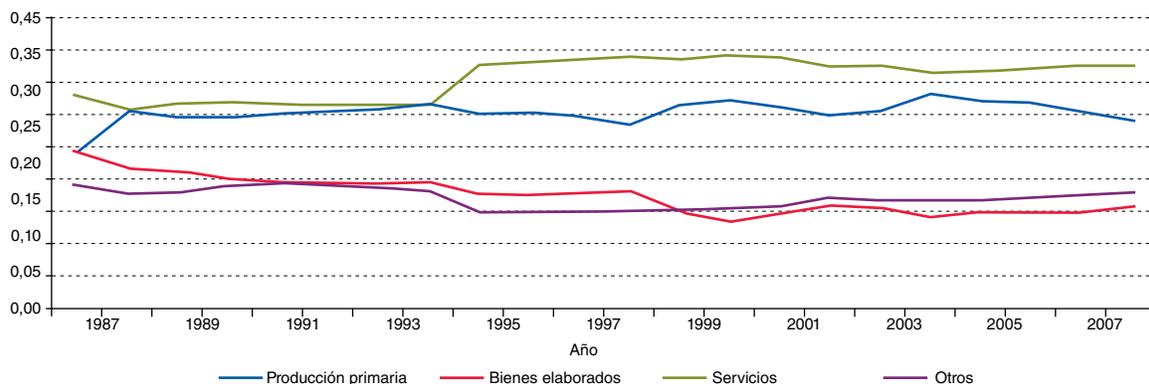
Respecto de su grado de apertura, la economía ha presentado una evolución favorable desde 1990, cuando el peso del comercio exterior en el PIB representaba un 42%, valor que alcanzó el 58% en 2006 y bordeó el 70% en 2008. Esta estructura productiva primaria exportadora se manifiesta, incluso, al observar el peso de las exportaciones no petroleras en el PIB, que han pasado de un 26% en 1990 a un 30% en 2006 y a un 35% en 2008, lo que representa un incremento del 9% en 18 años. Sin embargo, la estructura productiva continúa concentrada en el sector primario.

Para poder evaluar el efecto de cualquier evento o política que afecte la economía ecuatoriana en lo que resta del siglo, es necesario tener un escenario de referencia con el cual efectuar las comparaciones. Dicho escenario se elaboró cruzando distintas técnicas macroeconómicas hasta alcanzar los resultados más sólidos basados en la mejor información disponible, pero reconociendo que se trata de escenarios hipotéticos e instrumentales destinados a analizar los impactos del cambio climático en lugar de predicciones exactas. Entre las formas de desarrollar este escenario, se calculó la evolución de la producción del país basada en su propio comportamiento tendencial, para lo cual se fijaron intervalos de confianza utilizando el método “Delta” y se los contrastó usando el método de simulación de Montecarlo³.

² A pesar de que en 1994-1995 se observó una significativa sustitución de los bienes elaborados por servicios, se supuso que esta situación se debía al cambio en la metodología usada por el Banco Central del Ecuador para clasificar los sectores.

³ En el capítulo VII se usa una metodología de proyección del PIB utilizando el modelo de equilibrio general, que refleja las tendencias inerciales, sobre el cual se plantean las hipótesis de cambio estructural —inversión y balanza comercial— y eficiencia de la demanda energética —consumo final e intermedio de la generación eléctrica— para obtener un escenario de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, que es más apropiado para períodos de mediano plazo con escenarios de cambio estructural. Los resultados son compatibles.

GRÁFICO II.2
ECUADOR: PARTICIPACIÓN SECTORIAL EN EL PIB REAL, 1987-2008
 (En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos publicados por el Banco Central del Ecuador (BCE), Quito, 2007.

RECUADRO II.2 HORIZONTE DE AGOTAMIENTO DEL PETRÓLEO

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable elaboró tres escenarios probables para afrontar el declive de la producción petrolera: i) campos en producción; ii) campos en producción más campos que no están en producción, y iii) los campos anteriores más las nuevas reservas. Estos tres escenarios incluyen las reservas globales remanentes.

Según estos escenarios, las reservas probadas de petróleo se agotarían en 30 o 40 años; sin embargo, la producción posible no puede mantenerse por razones operativas, puesto que los pozos comienzan a declinar a gran velocidad y los saldos exportables de petróleo se reducirían en un plazo más corto que el del agotamiento de las reservas.

Por ello, se tomó 2025 como año de referencia de la era petrolera del Ecuador, según la metodología “Delta”, que proyecta el PIB a 2100.

En el capítulo VII se presenta la modelización con el programa LEAP, donde se proyectan dos escenarios que son compatibles con las hipótesis aquí analizadas.

Fuente: Elaboración propia.

Según se desprende de los resultados del cuadro II.2, el crecimiento económico proyectado sugiere que, si se mantienen las tendencias observadas en los últimos 60 años e intervalos de entre el 5% y el 95%, el valor promedio del PIB de 2100 sería de unos 270.000 millones de dólares constantes⁴. Esto equivale a casi 12 veces el valor del PIB registrado en 2007 y un valor del PIB per cápita de 8.100 dólares a fin de siglo, teniendo en cuenta que la población rondaría los 18,4 millones de habitantes, según estimaciones del INEC.

Por otro lado, en un escenario que contemple el fin de la era petrolera a partir de 2025, el crecimiento económico proyectado para fin de siglo sería un 90% menor que la estimación tendencial, lo que implicaría un PIB per cápita de 3.600 dólares. Con el objeto de comparar los impactos futuros del cambio climático, se ha elegido como referencia el PIB de 2010.

⁴ En el caso de los períodos posteriores a t+1, la varianza aumentaría por el error en la predicción del PIB, lo cual conllevaría un gran esfuerzo, pero no cambiaría los resultados de manera radical, por lo que no se lo abordará en este apartado.

CUADRO II.2
ECUADOR: CRECIMIENTO PROYECTADO DEL PIB, 2100

	Promedio		Intervalo inferior (5%)		Intervalo superior (95%)	
	Con petróleo	Fin de la era petrolera	Con petróleo	Fin de la era petrolera	Con petróleo	Fin de la era petrolera
Tasa de crecimiento promedio (en porcentajes)	2,7	2,0	2,0	1,1	3,2	2,6
PIB de 2100 (en miles de millones de dólares de 2000)	270,7	143,4	148,4	66,6	410,1	243,1
PIB per cápita de 2100 (en miles de dólares de 2000)	14,7	7,8	8,1	3,6	22,3	13,2

Fuente: Elaboración propia.

La población ecuatoriana ha experimentado un crecimiento del 38% en los últimos 20 años, lo que entraña un crecimiento de casi 3,9 millones de habitantes, y se proyecta que llegará en 2010 a los 14,2 millones. Sin embargo, se percibe un cambio en la estructura etaria de la población, siendo los grupos de edad infantil (0-14 años) y de jóvenes (20-24 años) los que han experimentado una ligera reducción del 3% y el 1%, respectivamente.

Las proyecciones del crecimiento poblacional realizadas por la CEPAL reflejan una tendencia hacia una merma del ritmo de crecimiento. En el cuadro II.3 se muestra que la población seguiría creciendo hasta 2070, pero disminuiría para finales de siglo. La participación del Ecuador en la población total de América Latina y el Caribe experimentaría incrementos leves hasta llegar al 2,5% en 2020 y al 2,7% en 2100.

CUADRO II.3
ECUADOR: POBLACIÓN PROYECTADA, POR DÉCADA
(En números de habitantes)

Grupos etarios	2020	2030	2050	2070	2100
0-14	4 236 985	4 132 923	3 740 913	3 435 543	3 002 581
15-64	10 056 350	11 153 824	12 023 233	11 381 258	9 952 142
Más de 65	1 895 473	2 654 191	4 423 165	5 826 420	5 962 823
Total	16 188 808	17 940 938	20 187 311	20 643 220	18 917 546
Porcentaje respecto de América Latina y el Caribe	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7

Fuente: Elaboración propia sobre la base de proyecciones del Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE)-División de Población de la CEPAL.

Al analizar la población ecuatoriana basándose en el comportamiento histórico de su crecimiento y estructura, se puede concluir que a partir de 2030 transitará hacia un paulatino envejecimiento.

III. La metodología del análisis económico del cambio climático

Para los países resulta fundamental identificar los posibles efectos del cambio climático por medio de un análisis que incorpore un enfoque económico, ya que permite dimensionar de manera general la envergadura del desafío que entraña para su desarrollo sostenible. Sin embargo, este análisis es complejo, pues implica relacionar diversos procesos que van desde los naturales, sociales, ambientales y económicos hasta los relacionados con la energía y la política internacional (CEPAL, 2009).

Un aspecto relevante del análisis económico del cambio climático es el gran margen de incertidumbre de los modelos utilizados en este estudio; por ello, las proyecciones elaboradas constituyen escenarios que probablemente pueden ocurrir, pero no son pronósticos. Además, se debe destacar el amplio margen de métodos y técnicas que permiten llevar a cabo este análisis, por lo que no se puede definir una opción que se considere superior a las otras (Stern, 2007). Por consiguiente, para llevar adelante este estudio se diseñó una metodología específica —adecuada a la información disponible para el período del estudio— que integra la identificación de los impactos físicos y económicos del cambio climático así como las posibles medidas de adaptación y mitigación, y luego se atenuaron algunas de sus limitaciones.

La base metodológica utilizada para valorar el impacto económico en los diversos sectores —recursos hídricos, recursos agropecuarios, biodiversidad, recursos marinos y costeros, salud y eventos extremos— se sintetiza en las siguientes etapas de aproximación y en el capítulo IV se describe el abordaje metodológico de manera más detallada.

En primer lugar, se delimitó el impacto biofísico y socioeconómico asociado al cambio climático en los ocho rubros del estudio sobre la base de la información cartográfica y estadística disponible para cada sector. En esta etapa se elaboraron mapas desagregados a nivel de la unidad político-administrativa cantonal a partir de escenarios climáticos de temperatura y precipitaciones para una grilla de 50 km por 50 km utilizando datos mensuales proporcionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales del Brasil (INPE) y basados en la información del modelo PRECIS. Luego, se añadieron las curvas de nivel. Este análisis se procesó agrupando la información por trimestre para el período 1962-2100¹.

¹ Esta tarea requirió procesar aproximadamente 12.000 archivos de datos climáticos proporcionados por el INPE, lo que permitió recuperar variables mensuales para todo el período de información (1962-2100).

Al comenzar los estudios sobre la Economía del Cambio Climático en los países de América Latina y el Caribe, se decidió en conjunto con los representantes de los países de la región y con el panel de expertos internacionales, utilizar el modelo PRECIS, desarrollado por el Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) de Brasil, como base para las simulaciones de cambio climático. Esta decisión se basó en la mejor información disponible a la fecha de inicio del estudio, buscando comparabilidad internacional entre países y por el grado de precisión que este modelo regional entregaba. No obstante, todo modelo está sujeto a incertidumbres como se muestra en el Anexo I de este estudio, el cual incluye un análisis detallado del modelo PRECIS y su comparación y validación estadística con otros modelos disponibles.

Con esta información ya organizada se procedió a desarrollar dos subprocesos:

- i) Identificar los territorios provinciales (expresados en km²) con mayor grado de variación en las variables climáticas, sobre todo temperatura y precipitaciones, y
- ii) Definir zonas sensibles sobre la base de variaciones de temperatura y pluviosidad que permitieran obtener una base de datos sobre la que se pudiera superponer información específica para cada sector.

A continuación se estimaron las elasticidades correspondientes a los efectos sufridos por la producción bruta sectorial como consecuencia de las variaciones climáticas, utilizando modelos econométricos validados con anterioridad.

Posteriormente, se ajustaron los efectos del cambio climático estimados para los sectores y territorios considerados vulnerables, tanto desde el análisis biofísico y socioeconómico como econométrico y sobre la base de las elasticidades ajustadas se procedió a elaborar escenarios de afectación para los cortes temporales a 2030, 2050, 2070 y 2100.

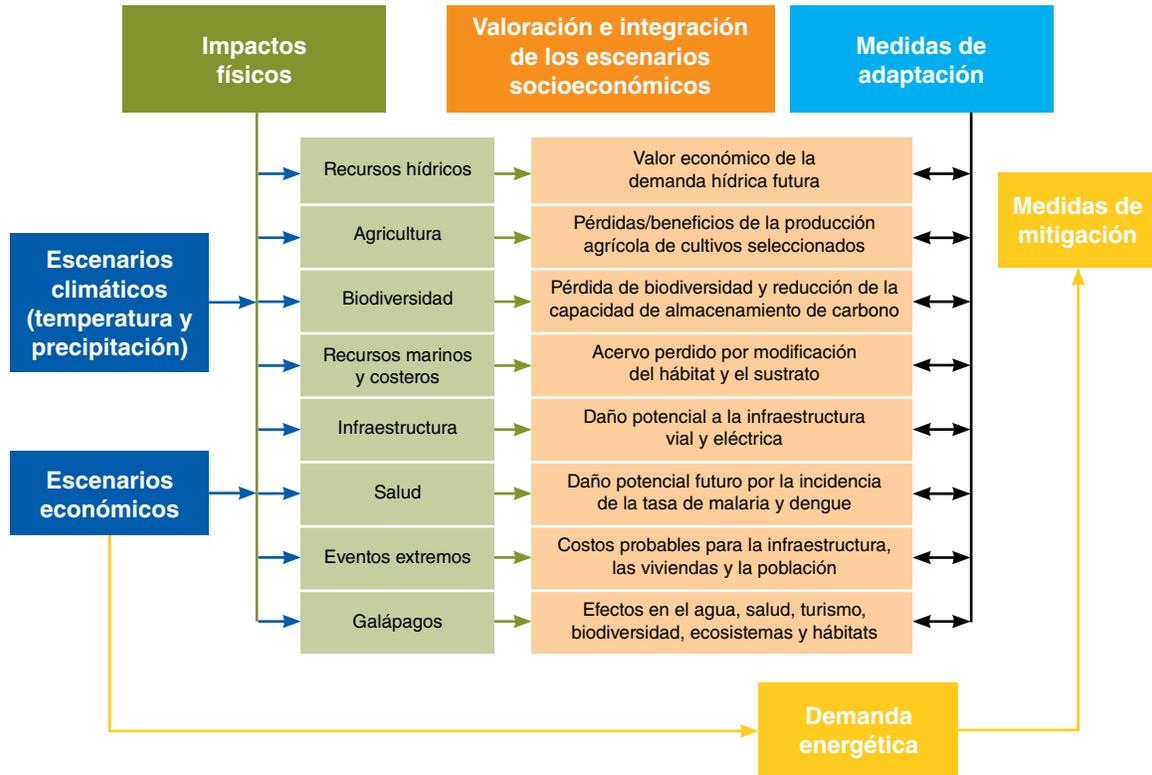
Una vez obtenidos los resultados para los sectores seleccionados, se sumaron los impactos directos y, luego, los indirectos, identificados solo en el sector de la salud. El total de estos impactos económicos se actualizó a diversas tasas de descuento anuales —0,5%, 2% y 4%— para reflejar las incertidumbres, valorizando aun más los datos presentes y cercanos (véase un resumen de los ocho sectores en los cuadros III.1 a III.8)².

Por otro lado, se analizaron los efectos económicos en los procesos de mitigación, donde se simuló un escenario de abatimiento de carbono, para lo cual fue necesario crear modelos específicos que permitieran definir la prospectiva económica, un modelo energético integrado (basado en la matriz energética del país) y la prospectiva de la demanda energética.

En el gráfico III.1 se presenta una síntesis de las etapas metodológicas.

² Al comienzo de los estudios ERECC en la región, la CEPAL junto con los representantes de los países de la región y con los expertos internacionales decidieron utilizar estas tres tasas de descuento (0,5%, 2% y 4%). Valorar los impactos usando estas tasas permite comparar los costos económicos intertemporales del cambio climático bajo distintos supuestos de valoración del futuro en relación al presente. Hay que recalcar que la mayoría de las tasas encontradas en la literatura internacional caen dentro del intervalo de 0,5%-4% para análisis en periodos largos de tiempo, siendo la sugerencia generalizada utilizar tasas de descuento bajas o decrecientes en el tiempo. El informe Stern estima una tasa del 1,4% a partir del método de Ramsey; el estudio de la economía del cambio climático en México, que fue en primero en la región de América Latina, usó las tasas de 0,5%, 2% y 4%; y el Garnaut de Australia utilizó las tasas de 1,4 y 2,7%.

GRÁFICO III.1
ECUADOR: ESQUEMA METODOLÓGICO DEL ANÁLISIS DE LA ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO



Fuente: Elaboración propia.

Dentro de las limitaciones particulares de las aproximaciones metodológicas se encuentran, sobre todo, las asociadas con la falta de información en algunos sectores, además de los distintos grados de incertidumbre del propio fenómeno del cambio climático. De todos modos y a pesar de estas limitaciones, los cálculos realizados permiten definir las áreas de estudio, los sectores que se deben profundizar y, en especial, las acciones prioritarias que se deben tomar basándose en los resultados.

CUADRO III.1
ECUADOR: METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DEL IMPACTO
DEL CAMBIO CLIMÁTICO, RECURSOS HÍDRICOS

Pasos metodológicos	Resultados intermedios	Producto final
1. Construcción de la línea de base.	Zonificación total del país basada en las cuencas y redes hidrográficas existentes y su correspondencia con la división política, administrativa y regional del Ecuador.	Zonificación del país en ocho regiones hidrográficas ^a .
2. Estimación física de la oferta hídrica por regiones (período 1980-2009).	a. Volumen de agua total aportado por cada cuenca en cada uno de los cuatro escenarios analizados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) ^b .	Identificación del volumen de agua aportado por cada cuenca hidrográfica en cada uno de los cuatro escenarios elaborados por el INAMHI.
	b. Variaciones porcentuales en cada uno de los escenarios (A2 y B2) sobre la base de la disponibilidad de la oferta hídrica.	Oferta de los recursos hídricos por región hidrográfica para condiciones climáticas específicas en los años de referencia del estudio en los escenarios A2 y B2.
3. Estimación de la demanda de los recursos hídricos por regiones (período 2002-2010).	a. Incidencia de las variables climatológicas en la oferta y la demanda hídricas en cada una de las ocho regiones hidrográficas.	Demanda actual y potencial para los distintos usos y aprovechamiento: doméstico, agrícola, preservación de ecosistemas, hidroeléctrico e industrial. Parámetros porcentuales de uso y variación del volumen utilizado por cambios en las condiciones de evapotranspiración en el período 2010-2100. Demanda neta del recurso —incremento o decremento— asociada a los escenarios de cambio climático.
	b. Valoración económica del impacto del cambio climático en los escenarios A2 y B2.	Variación económica de la demanda del recurso hídrico en los escenarios A2 y B2. Déficit o superávit del recurso a partir de su disponibilidad por regiones y determinación de zonas de estrés hídrico.
4. Estimación económica de la variación esperada en los recursos hídricos por efecto del cambio climático en el tiempo.	Valoración del costo promedio ponderado de los diferentes usos del recurso que tienen un valor de mercado: doméstico, industrial y riego.	Costo total de la disponibilidad hídrica por uso consuntivo.

Fuente: Elaboración propia.

^a Esta división no corresponde a la clasificación actual de las cuencas hídricas del Ecuador.

^b “Análisis del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos en el Ecuador”, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI), 2001.

CUADRO III.2
ECUADOR: METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DEL IMPACTO
DEL CAMBIO CLIMÁTICO, SECTOR AGROPECUARIO^a

Pasos metodológicos	Resultados intermedios	Producto final
1. Identificación de productos agrícolas para el análisis.	Criterios de selección: contribución al PIB agrícola, seguridad alimentaria, relevancia social (subsistencia).	Banano, cacao, arroz, maíz duro y suave, caña de azúcar, fréjol y papa, los que representan aproximadamente el 70% del PIB sectorial.
2. Construcción de la línea de base: uso de los datos climáticos correspondientes a 1985-2008 y comparación de los rendimientos históricos. Se tomó en cuenta la fenología de los cultivos y las etapas de desarrollo.		Coefficientes de las regresiones para la línea de base con las funciones de producción respectivas.
3. Estimación de las funciones de producción y simulación de la coyuntura productiva del sector —variación de rendimientos respecto de la línea de base— para los próximos 90 años en los escenarios de cambio climático A2 y B2 mediante un modelo probabilístico del tipo Montecarlo (programa Crystal Ball).		Cálculos de estática comparativa para determinar la evolución de la producción ante variaciones de temperatura y pluviosidad para cada cultivo, ajustados según la fenología de cada uno de ellos.
4. Desarrollo de las funciones de producción, correspondientes a la forma Translog, basadas en datos transversales del III Censo Agropecuario Nacional y de ecuaciones para cada cultivo y nivel de desarrollo tecnológico ^a .	Además de los dos insumos clásicos —mano de obra y capital—, se incluyeron dos variables: temperatura y pluviosidad.	Coefficientes de variación de los niveles de productividad debido a variaciones de temperatura para los años de análisis (2010, 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100).
5. Estimación de la variación de la productividad agrícola de los cultivos seleccionados utilizando precios del año de base.	Análisis de escenarios contrafactuales: se supone que el crecimiento agrícola es tal que se mantiene la estructura con respecto al PIB.	Pérdidas o beneficios en la producción agrícola de los cultivos seleccionados, descontados al 0,5%, el 2% y el 5%.

Fuente: Elaboración propia.

^a Análisis de corte transversal y funciones translogarítmicas aplicados a datos obtenidos del III Censo Agropecuario Nacional.

CUADRO III.3
ECUADOR: METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DEL IMPACTO
DEL CAMBIO CLIMÁTICO, BIODIVERSIDAD^a

Pasos metodológicos	Resultados intermedios	Producto final
1. Delimitación del escenario de base a partir de las características climáticas de las formaciones vegetales del Ecuador.	Diagramas de clima para el escenario de base de las formaciones vegetales del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) del Ecuador.	Estructura climática que determina la vegetación existente en las áreas naturales protegidas mediante diagramas de clima de los 33 nodos analizados.
2. Identificación del estado de conservación de la biodiversidad y de los bienes y servicios ambientales.	Mapas de las bases de formaciones vegetales y de intervención a escala 1 : 500.000 —criterios topográficos, características florísticas y fenológicas, características climáticas e hídricas, y tipo fisonómico—, con datos desde 1996 (Sierra y otros, 1999).	Descripción cuantitativa y cualitativa del grado de fragmentación de 46 formaciones vegetales y uso del suelo a partir de la delimitación del estudio del SNAP.
	Variación de los regímenes climáticos en los escenarios A2 y B2 e incidencia en las formaciones vegetales.	Nueva estructura geográfica de las formaciones vegetales (escenarios futuros A2 y B2 para el período 2020-2100).
	Modelo de conservación de la biodiversidad INVEST para determinar las alteraciones de las formaciones vegetales presentes en las áreas naturales protegidas, en el escenario de impacto.	Grado de alteración o conservación de las formaciones vegetales: determinación de la nueva capacidad de almacenamiento de carbono y número de especies extintas a causa de la alteración de la estructura de las formaciones vegetales (escenarios A2 y B2).
	Estimación de la proporción de especies extintas a causa de la alteración de las formaciones vegetales por el cambio climático (destrucción del hábitat).	Estimación del número de especies extintas en relación con la cantidad de especies por área.
3. Estimación del modelo de almacenamiento de carbono.	Modelo para determinar el almacenamiento de carbono en la biomasa del suelo en el futuro a partir de los mapas de calidad de las formaciones vegetales elaborados utilizando el modelo Invest y los valores establecidos por el IPCC (2007).	Determinación de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa de cada formación vegetal sobre el nivel del suelo
4. Estimación económica del impacto del cambio climático por pérdida de biodiversidad.	Pérdida de biodiversidad ^b .	Valor actual neto de la reducción de la capacidad de almacenamiento de carbono.
	Estimación del valor social del carbono almacenado: \$30 por tonelada métrica de CO ₂ .	

Fuente: Elaboración propia.

^a Se consideró que la amenaza y vulnerabilidad por potenciales cambios en la temperatura y la precipitación se evaluarán en términos de las distribuciones probabilísticas de la variación de los regímenes climáticos. La amenaza se estableció estimando la intensidad y la probabilidad de ocurrencia de los cambios climáticos. La vulnerabilidad, representada por la exposición y la fragilidad de las formaciones vegetales ante los efectos del cambio climático, se reflejó en las potenciales pérdidas de biodiversidad y la probable pérdida de servicios ambientales, que, en este estudio, se define como el servicio de almacenamiento de carbono. Se debe tener en cuenta que a mayor vulnerabilidad, será mayor el daño ocasionado. El riesgo se representó por medio de la curva de daños y probabilidad de ocurrencia del valor del daño esperado de los impactos a partir de Moench y otros (2008).

^b Existen metodologías que permiten analizar el valor económico de la pérdida de biodiversidad basado en la valoración de los ecosistemas (Costanza, R. y C. Folke, 1997; Costanza, R. y otros, 1997; Vogel, 1994 y 1995).

CUADRO III.4
ECUADOR: METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DEL IMPACTO
DEL CAMBIO CLIMÁTICO, RECURSOS MARINOS Y COSTEROS^a

Pasos metodológicos	Resultados intermedios	Producto final
1. Delimitación de las zonas costeras afectadas y la incidencia del cambio climático en el comportamiento de las especies tomadas en cuenta.	Análisis de los ecosistemas marinos y costeros del Ecuador (mapa “Cuencas Hidrográficas”, Plan Nacional de Desarrollo 2008, SENAGUA).	Análisis de los probables impactos en los diferentes hábitats y la biodiversidad en condiciones climáticas futuras (escenarios A2 y B2).
2. Superposición y comparación de la información climática del año de base en la zona costera y las variaciones de la temperatura y pluviosidad en décadas futuras ^a .	Identificación y cuantificación de las áreas de los principales sustratos a nivel nacional y provincial.	Identificación, ubicación geográfica y descripción general de los principales sustratos. Caracterización de los principales usos económicos de los recursos biológicos en los distintos sustratos según su ubicación y distribución geográfica ^b .
3. Desarrollo del modelo de simulación de elevación del nivel medio del mar.	Modelo digital de terreno y curvas de nivel y geoprocésamiento para identificar zonas de inundación a nivel provincial (mapa “Cuencas Hidrográficas”, Plan Nacional de Desarrollo 2009, SENAGUA). Formas funcionales de Conrad y otros (2006) mediante la variable de acervo (Xt), que depende de la disponibilidad de sustrato y se calcula multiplicando la superficie del hábitat por la abundancia de individuos (oferta ambiental).	Identificación de la incidencia de escenarios de elevación del nivel medio del mar en la pérdida de los distintos sustratos en tres escenarios —referencial, A2 y B2— y en la productividad económica: pesca de recolección (fauna demersal), cultivo de camarón y turismo. Nivel de oferta ambiental por hectárea y por tipo de sustrato en cada provincia. Rendimiento económico (valor de mercado) de las actividades productivas seleccionadas.
4. Estimación económica del impacto.		Acervo disponible o afectado por los cambios en la oferta ambiental de pesca de recolección (fauna demersal), cultivo de camarón y turismo.

Fuente: Elaboración propia.

^a Los datos sobre el nivel del mar y la nubosidad se incluyeron sobre la base de revisiones bibliográficas para modelar posibles escenarios de pérdida de ecosistemas costeros, como manglares y playas.

^b Plan Nacional de Desarrollo, SENAGUA (2009) y modelo cartográfico de simulación de elevación del nivel mar.

CUADRO III.5
ECUADOR: METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DEL IMPACTO
DEL CAMBIO CLIMÁTICO, SALUD

Pasos metodológicos	Resultados intermedios	Producto final
1. Identificación de la influencia de las variables climáticas y las condiciones de saneamiento en las tasas de incidencia de la malaria y el dengue.	Modelo econométrico para desagregar la influencia de la temperatura, las precipitaciones y las condiciones de saneamiento en las tasas de incidencia de la malaria y el dengue (período de la línea de base: 2003-2007).	Coefficiente de incidencia histórica del efecto combinado de la temperatura y las precipitaciones en la prevalencia de la malaria y el dengue en el Ecuador. Rangos de temperatura y precipitación como condiciones climáticas para la reproducción de los vectores transmisores de la malaria y el dengue.
2. Estimación de los escenarios futuros de la malaria y el dengue por el impacto de las variables climáticas.	Modelo geográfico utilizado para identificar las zonas de transición, donde existe mayor riesgo potencial de incidencia de nuevos casos de malaria y dengue. Impacto combinado de las precipitaciones y la temperatura en la tasa de incidencia de la malaria y el dengue hacia fin de siglo.	Identificación de las zonas de transición de la enfermedad hacia ecosistemas de altura con condiciones climáticas que favorezcan la expansión de la epidemia. Número de casos adicionales de malaria y dengue en los escenarios futuros A2 y B2 en los años de corte. Delimitación geográfica de las zonas rurales y urbanas con mayor propensión y riesgo a la prevalencia de la malaria.
3. Estimación económica del incremento de la incidencia de la malaria y el dengue por el impacto de las variables climáticas.	Costos directos —prevención y tratamiento— e indirectos —pérdida de productividad— asociados a los nuevos casos epidémicos.	Valoración económica del daño potencial futuro de la incidencia de la tasa de malaria y dengue.

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO III.6
ECUADOR: METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DEL IMPACTO
DEL CAMBIO CLIMÁTICO, ISLAS GALÁPAGOS

Pasos metodológicos	Resultados intermedios	Producto final
1. Caracterización histórica del clima de las islas Galápagos.	Base de datos de 1965-2009 de la estación meteorológica Charles Darwin de la Fundación Charles Darwin, ubicada en Puerto Ayora, isla Santa Cruz (FCD, 2009a).	Estadísticas climáticas descriptivas y gráficas —temperatura del aire y el mar, y precipitaciones— y curvas de tendencias temporales.
2. Identificación del impacto de las variables climáticas en la biodiversidad de las islas Galápagos.	Estadísticas de correlación entre las poblaciones de especies seleccionadas (cormorán no volador, pingüino, iguana marina, lobo marino, tortuga verde y especies coralinas) y los factores climáticos mediante el uso de censos históricos de población. Descripción de los posibles efectos en la zonificación de los ecosistemas a causa del cambio climático.	Gráficas y matrices de correlación basadas en el coeficiente de Pearson, que explican la correlación de variabilidad climática y la variación de las poblaciones de las especies seleccionadas. Análisis interpretativo y descriptivo de los posibles efectos en las poblaciones de especies invasoras a raíz del cambio climático que afecta la biodiversidad de las islas. Análisis cualitativo de las posibles implicaciones en las economías locales del impacto en la salud de los habitantes y los recursos hídricos de las Galápagos.
3. Identificación del impacto de la elevación media del nivel del mar en los ecosistemas y hábitats de las islas.	Modelo de simulación de una elevación del nivel medio del mar de 1 m: modelo digital de terreno, curvas de nivel y geoprocusamiento para identificar las zonas de inundación (escenario de base elaborado a partir de información del Plan Nacional de Desarrollo 2009, SENAGUA). Descripción de las transformaciones sufridas por los ecosistemas —arrecifes submareales, arrecifes de coral, zona intermareal y lagunas interiores— por efectos del fenómeno El Niño.	Información cartográfica sobre la ubicación y la distribución de los ecosistemas terrestres, marinos y costeros. Mapa de zonas de vulnerabilidad de ecosistemas marino-costeros y terrestres según un escenario de elevación del nivel del mar de 1m en 2100. Análisis interpretativo y descriptivo de las implicaciones económicas de las posibles pérdidas de ecosistemas y hábitats.
4. Identificación del impacto de la elevación media del nivel del mar en el turismo.	Identificación cartográfica de los atractivos turísticos (escenario de base). Estadísticas del sector turismo, con tendencias a partir de datos históricos del número de visitas, afluencia turística, flujo temporal, capacidad de carga e ingresos por turismo.	Mapa de atractivos turísticos y zonas de inundación según un escenario de elevación del nivel del mar de 1 m. Cálculo del costo económico por la pérdida de atractivos turísticos en las islas Galápagos.

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO III.7
ECUADOR: METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DEL IMPACTO
DEL CAMBIO CLIMÁTICO, INFRAESTRUCTURA

Pasos metodológicos	Resultados intermedios	Producto final
1. Delimitación de las zonas y los posibles daños a la infraestructura productiva con potencial afectación durante su vida útil.	La selección de la infraestructura productiva se basó en dos parámetros: i) relevancia para el producto nacional: su destrucción y reposición tiene un costo de oportunidad en los factores de la producción, y ii) ubicación según el patrón de lluvias y la susceptibilidad geomorfológica de las zonas donde ocurren los eventos (rebalses e inundaciones de áreas costeras por aumento del nivel del mar, aluviones e inundaciones, y deslizamientos de tierra).	Infraestructura vial, eléctrica y petrolera identificada en riesgo ^a . Mapa de riesgo físico integrado, que incluye movimientos en masa, zonas de inundación, pendientes pronunciadas e identificación de la infraestructura analizada.
2. Identificación de la probabilidad de ocurrencia de daños por eventos causados por las variables climáticas y su magnitud.	Tres escenarios de la magnitud de los efectos del cambio climático en la infraestructura productiva seleccionada: A2, B2 y trayectoria inercial (<i>business as usual</i>).	Cambios esperados en los escenarios globales A2 y B2 por mayor precipitación e incidencia en los deslizamientos. El escenario de trayectoria inercial corresponde al nivel inercial de vulnerabilidad de esta infraestructura, independientemente de las transformaciones producidas por efecto del cambio climático.
3. Estimación del potencial impacto económico en la infraestructura ^a .	Cálculo del costo unitario de reposición de la infraestructura vial y de transmisión eléctrica, y de la pérdida de generación de energía eléctrica.	Daño económico potencial en vialidad e infraestructura eléctrica asociado al cambio climático.

Fuente: Elaboración propia.

^a En el caso del sector petrolero, no se halló evidencia que sustente el grado de susceptibilidad de la infraestructura petrolera a los eventos asociados al cambio climático.

CUADRO III.8
ECUADOR: METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DEL IMPACTO
DEL CAMBIO CLIMÁTICO, EVENTOS EXTREMOS

Pasos metodológicos	Resultados intermedios	Producto final
1. Análisis de la evidencia de los impactos.	Función de correlación entre el impacto físico provisto por la base de datos del Sistema de Inventario de Desastres DesInventar (eventos extremos de origen climatológico) y los parámetros meteorológicos contenidos en los resultados del modelo PRECIS.	Determinación de la función de correlación. Extrapolación de los impactos físicos a futuro en la población, las viviendas y la infraestructura pública, excluida la infraestructura vial.
2. Estimación del costo económico de los impactos.	Análisis de correlación entre eventos extremos y costos históricos identificados a partir de los costos unitarios referenciales ^a . Cuantificación económica de los costos por eventos extremos en el futuro en los escenarios A2 y B2, según el objeto del impacto (viviendas, personas, agricultura e infraestructura pública) ^b .	Costos históricos totales de los impactos por eventos extremos en la infraestructura, las viviendas y la población. Costos probables —directos e indirectos— que ocasionarán los impactos físicos en el futuro en los escenarios A2 y B2 ^c .

Fuente: Elaboración propia.

^a “El fenómeno El Niño 1997-1998: memoria, reto y soluciones: Volumen IV: Ecuador”, CAF (2000).

^b Se analizaron posibles problemas de doble contabilidad en los impactos del cambio climático en sectores específicos.

^c Inferir que todos los gastos y/o daños directos e indirectos estimados en la población, las viviendas y la infraestructura pública por efecto de los eventos climáticos extremos son causantes del cambio climático puede sobredimensionar los valores reales. Por lo tanto, se considera solo la valoración a partir de la situación actual que produce estos efectos como la diferencia entre los dos escenarios probables (A2 y B2).

IV. Análisis sectorial del impacto del cambio climático

En el presente capítulo se realiza un análisis de la dimensión física de los probables efectos asociados al cambio climático en ocho sectores y se brinda una aproximación cuantitativa del impacto económico de dichos efectos. Los sectores analizados son: recursos hídricos, agricultura, biodiversidad, recursos marinos y costeros, salud, infraestructura, islas Galápagos y eventos meteorológicos extremos.

En la revisión de cada sector se incluye una descripción de la metodología aplicada, del estado actual y de las estimaciones de efectos futuros. Además, se realiza una valoración de los costos del cambio climático para cada uno de los sectores considerados (estos costos se presentan como valores presentes).

A. Recursos hídricos

Sobre todo en la costa y en las islas Galápagos, el régimen de precipitaciones del país se ve influenciado por la corriente fría de Humboldt, la corriente submarina ecuatorial y la corriente cálida de El Niño. A su vez, la conformación del sistema hidrográfico y sus cuencas de drenaje natural están determinados por la cordillera de los Andes, que atraviesa el país de norte a sur, lo que da lugar a la estructuración de tres regiones naturales continentales muy diferenciadas: Costa, Sierra y Oriente (Amazonía).

Sobre la base de la propuesta de codificación del antiguo Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), el país posee 31 sistemas hidrográficos, de los cuales 24 pertenecen a la vertiente del Pacífico (con un 49% de la superficie total) y 7 corresponden a la vertiente del Amazonas (con un 51% de la superficie)¹.

Debido a su ubicación geográfica y a su escarpada topografía, el Ecuador es muy vulnerable a los potenciales cambios climáticos, como el aumento de las temperaturas medias, las sequías e inundaciones recurrentes, el retroceso de los glaciares y los distintos patrones de precipitación². En el estudio sobre gobernabilidad del agua realizado por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2008) se indica

¹ En virtud de un Decreto Ejecutivo, el CNRH fue reorganizado mediante la creación de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA).

² Por encima de los 4.555 msnm, la cobertura de hielo sobre los glaciares del Antisana ha disminuido del 70% al 54% entre 1956 y 1998 (Banco Mundial, 2003).

que “esta vulnerabilidad a los riesgos relacionados con el clima agravará aún más los problemas de gobernabilidad del agua que existen actualmente en el Ecuador”.

En el mencionado estudio también se revela que “durante los eventos El Niño (ENOS) de 1982-83 y 1991-92 ocurrieron condiciones de sequía relacionadas con un balance negativo de las masas de los glaciares y de las capas de hielo en las laderas orientales andinas del Ecuador. Durante estos eventos la parte noroccidental de los Andes y la cordillera oriental presentó una precipitación menor al promedio, lo que pudo haber exacerbado el estrés hídrico que actualmente ya se presenta en ciertas áreas de los Andes”.

Además, los cambios en los patrones de derretimiento y escorrentía podrían también afectar a los sistemas fluviales de los valles, por lo que se esperaría una menor disponibilidad de agua y un incremento del estrés hídrico en la región andina y un aumento de la disponibilidad de agua en la región de la costa.

En términos generales, la metodología aplicada para este sector consistió en: i) zonificar el país en virtud de sus cuencas hídricas, ii) estimar las reservas hídricas existentes, iii) realizar una estimación de la cantidad del recurso demandada por región, iii) proyectar, sobre estos valores, la variación de la oferta y de la demanda hídrica por efecto de los cambios climáticos esperados, para los escenarios A2 y B2, y iv) calcular y valorar el déficit o superávit futuro de los recursos hídricos.

1. Zonificación por regiones hídricas

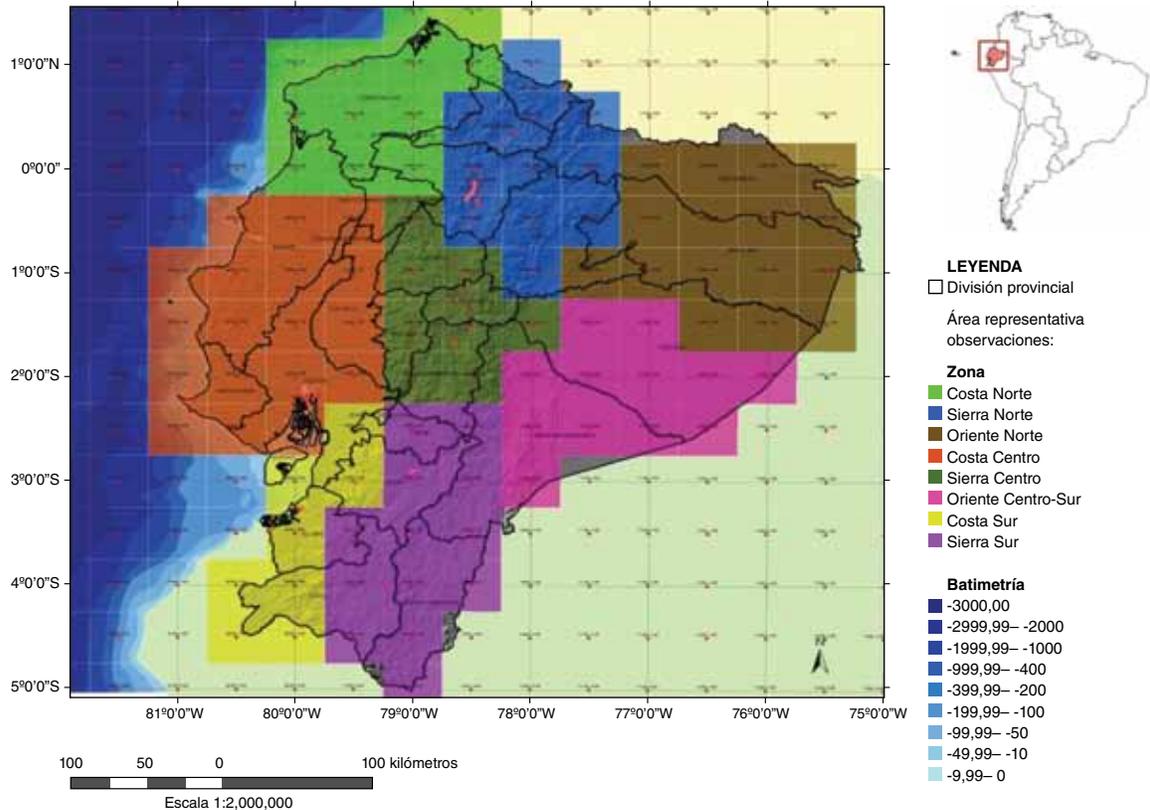
La diversidad en la oferta natural del recurso hídrico, sumada a otras características de tipo orográfico y fluviomorfológico, así como a la demarcación política interna, hizo necesario incorporar una división por regiones hidrográficas que permitiera la adecuada caracterización de la disponibilidad de los recursos hídricos, así como la estimación de los efectos físicos y económicos del cambio climático³. De esta forma, se obtiene como resultado una zonificación del país en las siguientes ocho regiones hídricas, que se pueden identificar en el mapa IV.1⁴:

- **Costa Norte**, que constituye la vertiente del Pacífico Norte zona baja;
- **Costa Centro**, que constituye la vertiente del Pacífico Centro zona baja;
- **Costa Sur**, que constituye la vertiente del Pacífico Sur zona baja;
- **Sierra Norte**, que constituye las zonas altas de las vertientes del Pacífico y Amazónica Norte;
- **Sierra Centro**, que constituye las zonas altas de las vertientes del Pacífico y Amazónica Centro;
- **Sierra Sur**, que constituye las zonas altas de las vertientes del Pacífico y Amazónica Sur;
- **Oriente (Amazonía) Norte**, que constituye la vertiente Amazónica Norte zona baja, y
- **Oriente (Amazonía) Centro**, que constituye la vertiente Amazónica Norte zona central.

³ En el posicionamiento geográfico de la información disponible se tomaron en cuenta variables sociales y eventos climatológicos extremos a nivel cantonal, evidencias de balances hídricos a nivel de cuencas y proyecciones de variables meteorológicas del modelo PRECIS, a escala de 50 km x 50 km, cuyas semejanzas climáticas se refieren a pisos altitudinales (zonas bajas frente a la región de la Sierra) y geográficos (norte, centro y sur del país).

⁴ En este estudio no fue posible usar la división administrativa territorial propuesta por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) porque esta corresponde a la agrupación de provincias en sentido latitudinal, lo que no coincide con las conformación de las cuencas hidrográficas actuales. En ese análisis se zonifica al país en nueve demarcaciones hídricas de gestión de cuenca, estructuradas por la SENAGUA y oficializadas en diciembre de 2009.

MAPA IV.1 ECUADOR: REGIONES HÍDRICAS



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Esta zonificación permitió organizar la información de las variables climatológicas correspondientes a cada una de las ocho regiones hídricas y caracterizar meteorológicamente a las regiones hidrogeográficas con el fin de establecer su incidencia en la oferta y demanda hídrica de cada región identificada.

2. Oferta del recurso hídrico

La capacidad de oferta hídrica actual en el Ecuador ascendería a 245.000 hm³ anuales. La región de la Amazonía es la que más aporta a los caudales con un 44% del total⁵. Por el contrario, la región Costa Sur es donde se concentra el menor volumen aportado, ya que representa apenas el 2% de la oferta hídrica (véase el cuadro IV.1). A pesar de la extensa superficie que cubren las cuencas hídricas de la región Costa Centro, su capacidad de aporte es más baja que la de la Amazonía, básicamente por los menores rendimientos de esta red hídrica y porque, al igual que la región Sierra Centro, en términos potenciales, estas cuencas serían zonas muy afectadas por el cambio climático al reducir sus caudales. Además, son las zonas con mayor densidad poblacional.

⁵ La región de la Amazonía incluye a la Amazonía Norte y a la Amazonía Centro, formadas por la vertiente Amazónica Norte zona baja y por la vertiente Amazónica Norte zona central, respectivamente.

CUADRO IV.1
ECUADOR: ESCENARIO BASE DEL RECURSO HÍDRICO,
POR REGIÓN, 1980-1989

Región	Costa			Sierra			Amazonia			Total			
	Cuenca	Área (En miles de km ²)	Volumen (En miles de hm ³)	Rendimiento (En hm ³ /km ²)	Cuenca	Área (En miles de km ²)	Volumen (En miles de hm ³)	Rendimiento (En hm ³ /km ²)	Cuenca		Área (En miles de km ²)	Volumen (En miles de hm ³)	Rendimiento (En hm ³ /km ²)	Volumen (En miles de hm^{3})
Norte	Esmeraldas	23,4	32,4	1,38	Carchi Mira Napó	34,7	21,3	0,61	Esmeraldas	45,2	62,4	1,38	116,1
Centro	Chone Jama Portoviejo Brisaño Guayas	40,1	38,5	0,96	Pastaza	22	10,1	0,46	Esmeraldas	32,6	45	1,38	93,7
Sur	Chone Portoviejo	8,8	5,8	0,66	Paute	41,6	30,0	0,72	...	...	...	...	35,8
Totales		72,3	76,7	1,06	...	98,3	61,5	0,62	...	77,8	107,4	1,38	245,6
Participación (en porcentajes)		29	31	...	...	40	25	...	...	31	44	...	...

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del sistema hidrográfico del Ecuador (ex Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA)).

CUADRO IV.2
ECUADOR: VARIACIÓN HÍDRICA POR REGIÓN,
SEGÚN ESCENARIOS ALTERNATIVOS^a
(En hm³)

Región	Escenario base			Escenario I T +1°C, P -15%			Escenario II T +1°C, P +20%			Escenario III T +2°C, P -15%			Escenario IV T +2°C, P +20%		
	Costa	Sierra	Oriente	Costa	Sierra	Oriente	Costa	Sierra	Oriente	Costa	Sierra	Oriente	Costa	Sierra	Oriente
Norte	32 371	21 293	62 444	24 196	18 548	46 676	38 078	24 189	73 455	23 176	18 401	447 08	36 748	23 877	70 889
Centro	38 543	10 115	44 998	30 886	7 791	33 635	45 661	12 571	52 932	30 269	7 574	32 217	45 490	12 263	51 083
Sur	5 783	30 048	...	4 650	22 115	...	7 249	39 630	...	4 638	21 261	...	7 210	38 419	...
Total regional	76 697	61 456	107 442	59 732	48 454	80 311	90 988	76 390	126 387	58 083	47 236	76 925	89 448	74 559	121 972
Total nacional	245 595			188 497			293 765			182 244			285 979		

Fuente: Elaboración propia, sobre la base del modelo PRECIS, Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y “Análisis del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en el Ecuador” (INAMHI, 2001). Balances hídricos en cuencas piloto con información histórica 1965-1985.

^a Escenarios contruidos a partir de la recomendaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) al INMAHI.

CUADRO IV.3
ECUADOR: VARIACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA POR REGIÓN,
SEGÚN ESCENARIOS ALTERNATIVOS^a
(En porcentajes)

Región	Escenario I			Escenario II			Escenario III			Escenario IV		
	T +1°C, P -15%			T +1°C, P +20%			T +2°C, P -15%			T +2°C, P +20%		
Volumen (en hm ³)	Costa	Sierra	Oriente	Costa	Sierra	Oriente	Costa	Sierra	Oriente	Costa	Sierra	Oriente
Norte	-25,3	-12,9	-25,3	17,6	13,6	17,6	-28,4	-13,6	-28,4	13,5	12,1	13,5
Centro	-19,9	-23,0	-25,3	18,5	24,3	17,6	-21,5	-25,1	-28,4	18,0	21,2	13,5
Sur	-19,9	-26,4	...	25,3	31,9	...	-19,8	-29,2	...	24,7	27,9	...
Total nacional	23,2			19,6			-25,8			16,4		

Fuente: Elaboración propia, sobre la base del modelo PRECIS, Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), y “Análisis del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en el Ecuador” (INAMHI, 2001).

^a Escenarios construidos a partir de las recomendaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) al INMAHI.

Una primera aproximación respecto de los escenarios de cambio en el volumen de la oferta se determinó sobre la base de la recomendación técnica que el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) realizó al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en cuanto a la necesidad de considerar cuatro escenarios probables de cambio climático que contemplan distintas variaciones de temperatura y precipitación⁶.

En los cuadros IV.2 y IV.3 se muestra que el rendimiento de las cuencas varía según cada escenario. En los escenarios II y IV, la disponibilidad de la oferta hídrica a nivel nacional podría aumentar a causa del incremento de las precipitaciones. Hay que notar que, si bien en estos escenarios aumenta también la temperatura (lo que genera un mayor grado de evaporación), el efecto neto estará influenciado sobre todo por el incremento de las precipitaciones.

En oposición, en los escenarios I y III, el aumento de la temperatura y la reducción de las precipitaciones ocasionarían una disminución de la oferta hídrica.

Sobre la base de los porcentajes de variación (temperatura y precipitación) de estos cuatro escenarios, se analizaron las condiciones climáticas esperadas en las décadas futuras para los escenarios A2 y B2 para cada una de las cuencas⁷. En el cuadro IV.4 se muestran las variaciones por región para el escenario A2.

⁶ Escenario ECC1 (T +1°C, P -15%), Escenario ECC2 (T +1°C, P +20%), Escenario ECC3 (T +2°C, P -15%) y Escenario ECC4 (T +2°C, P +20%). Estos escenarios se han presentado en el documento “Análisis del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en el Ecuador” (INAMHI, 2001).

⁷ A partir de la información procesada del modelo climatológico PRECIS, para los escenarios A2 o B2 se graficaron para los años de interés los correspondientes valores medios de variación de la temperatura y precipitación con respecto al escenario base para las ocho regiones hídricas. Así, por ejemplo, si la variación de temperatura era de +1,5°C y la variación en el porcentaje de precipitación prevista era de -7,5% para la región Costa Centro, la intersección de estas coordenadas indicaría que el porcentaje de variación en la oferta de disponibilidad de agua sería de aproximadamente un decremento del -12,5% con respecto al escenario base.

CUADRO IV.4
Ecuador: Variación de la oferta hídrica, por región, escenario A2

Año referente	Región Costa Norte			Región Costa Centro			Región Costa Sur		
	Precipitación (En porcentajes)	Variación de temperatura (En °C)	Oferta (En porcentajes)	Precipitación (En porcentajes)	Variación de temperatura (En °C)	Oferta (En porcentajes)	Precipitación (En porcentajes)	Variación de temperatura (En °C)	Oferta (En porcentajes)
1990	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00
2020	16,05	0,53	15,10	10,08	0,55	10,00	7,38	0,51	9,40
2050	20,56	1,18	16,10	23,78	1,23	21,20	19,51	1,2	24,50
2070	23,47	1,82	21,50	36,78	1,87	39,00	37,98	1,85	45,00
2100	53,34	3,18	50,00	76,81	3,29	72,00	85,09	3,14	91,00
Región Sierra Norte									
1990	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00
2020	-4,40	0,7	-4,20	-13,40	0,7	-19,10	0,70	0,7	1,00
2050	-2,40	1,6	-2,40	-10,50	1,5	-14,20	2,90	1,6	4,80
2070	-1,70	2,5	-4,20	-8,40	2,4	-14,30	5,50	2,4	8,50
2100	-2,90	4,2	-5,50	-19,80	4	-35,10	11,10	4,2	16,40
Región Oriente Norte									
1990	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00
2020	1,60	0,9	-2,50	2,10	0,9	-2,00	2,10	0,9	-2,00
2050	3,70	1,9	-6,00	4,30	1,8	-5,00	4,30	1,8	-5,80
2070	2,30	3	-9,00	4,30	2,9	-5,80	4,30	2,9	-5,80
2100	5,40	5,5	-4,80	10,90	5,2	3,80	10,90	5,2	3,80

Fuente: Elaboración propia.

De este modo, se identificó que la capacidad nacional de oferta hídrica aumentaría en ambos escenarios (A2 y B2), concentrándose en la región Costa (Centro y Norte), mientras que en la sierra se experimentaría un posible estrés hídrico.

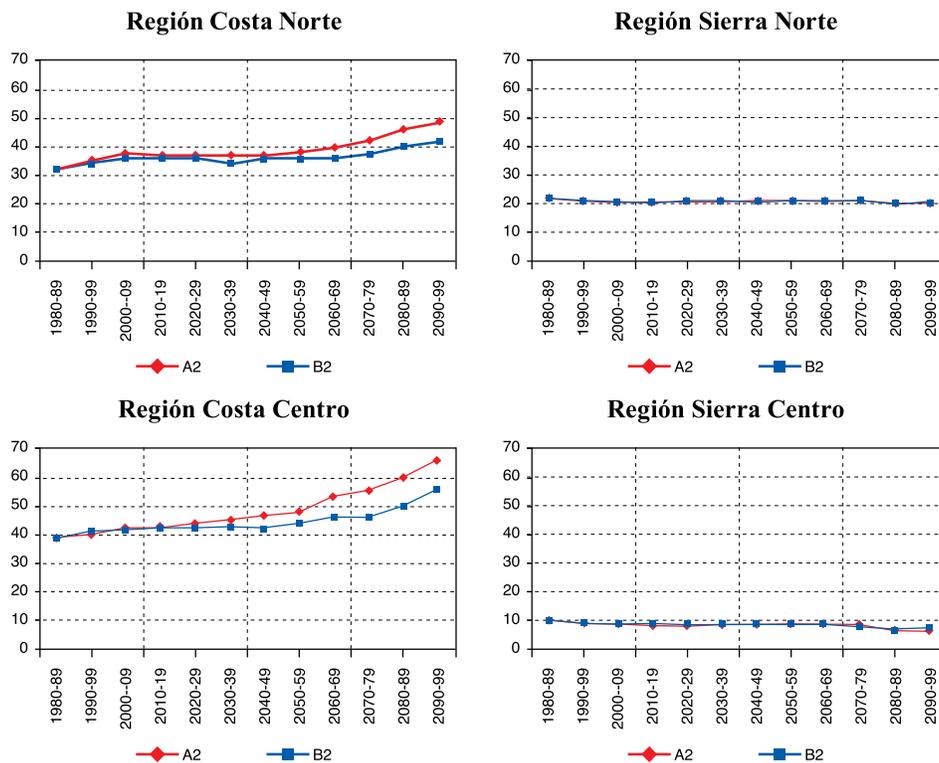
Debido a que la región Costa Centro sería la que tendría el mayor porcentaje de la oferta nacional y a que en esta zona se localiza el mayor número de asentamientos humanos, el incremento futuro de los caudales podría constituir una oportunidad (para los usos industrial, agropecuario y doméstico) si se elaboraran medidas de prevención de los efectos negativos asociados a desastres y sus potenciales daños a la infraestructura.

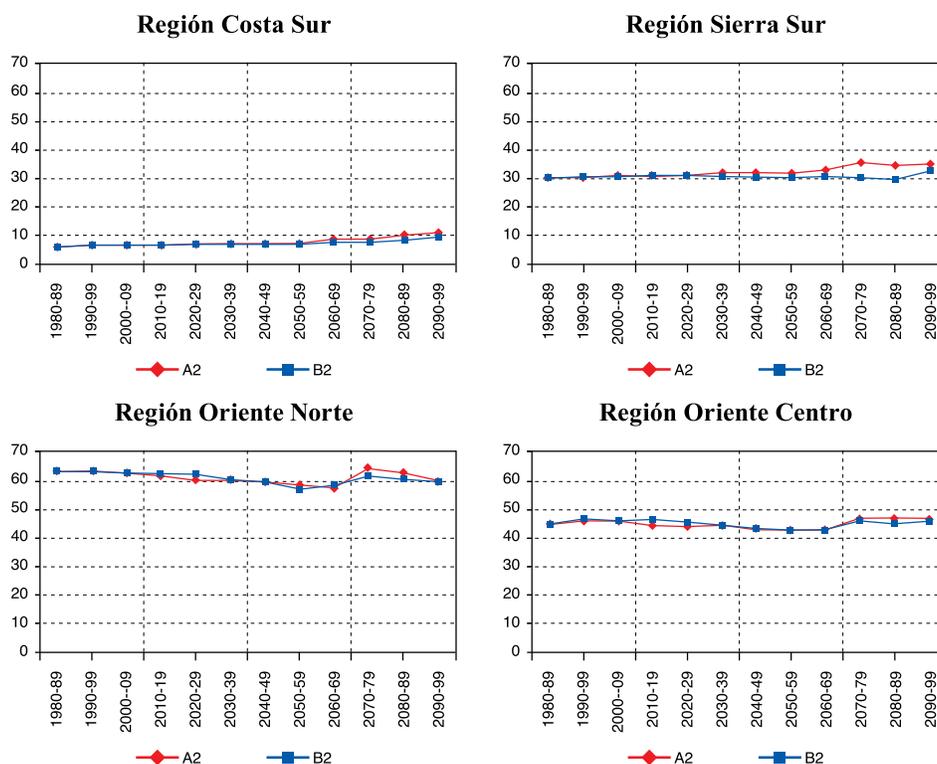
En la Sierra, las variaciones sugieren una reducción de la oferta hídrica en general, con la excepción de un leve incremento en ambos escenarios en la región Sierra Sur de aproximadamente un 16% en 2100.

En la región Oriente (Amazonía) también se observaría una reducción de la capacidad de aporte a la oferta hídrica en los años futuros por variaciones de la temperatura y las precipitaciones (el mayor descenso se registraría en la región Oriente Norte con un 9% en 2070). Se podría decir que la región amazónica estaría en condiciones de mantener su capacidad hídrica, con ligeras reducciones, dado que es el mayor contribuyente a las reservas hídricas del Ecuador.

Un resumen de este análisis se puede observar en el gráfico IV.1, donde se muestra que el comportamiento hídrico por región se vería atenuado bajo el escenario global B2 en comparación con el escenario A2 (sobre todo en la región Costa).

GRÁFICO IV.1
ECUADOR: VARIACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA POR DÉCADA,
ESCENARIOS A2 Y B2
(En miles de hm³)





Fuente: Elaboración propia.

3. Demanda del recurso hídrico⁸

La estimación de la demanda actual de agua se analizó en función de cuatro usos fundamentales: i) doméstico, ii) agropecuario, iii) ecosistémico e iv) industrial. Para cada uno de ellos se estableció una metodología específica para estimar la demanda de agua sobre la base de la población (urbana y rural), las dotaciones per cápita de consumo de agua, el uso y la cobertura del suelo, y los parámetros de variación del volumen utilizado frente a los cambios por condiciones de evapotranspiración⁹. A continuación, se detallan las principales variables utilizadas para estimar el consumo de agua según el tipo de uso, tanto para el escenario base como para los escenarios futuros.

El consumo doméstico se estimó sobre la base de datos y proyecciones de población (urbana y rural) para cada una de las ocho regiones hídricas y para el período 2001-2100. La población se clasificó de acuerdo con la cobertura del servicio de abastecimiento de agua utilizando el V Censo de Vivienda. Además, se incorporaron los criterios de adopción de dotaciones de consumo de agua, en virtud de los valores recomendados en las Normas de Diseño para Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), según el tamaño de los centros poblados y el tipo de clima. En el caso de los escenarios futuros, las dotaciones adoptadas variaron de un escenario a otro, ya que las temperaturas medias del escenario A2 son mayores que las correspondientes al escenario B2 y, por lo tanto, incidirían en un mayor requerimiento de agua.

⁸ Se refiere a la demanda para usos consuntivos.

⁹ La determinación de la demanda futura de agua —según el método de Hargreaves— iría en función de la variación de la temperatura y, a través de esta, de su implicación en incrementos de consumo per cápita y el efecto de evapotranspiración potencial en los cultivos y ecosistemas. No se considera la variación esperada de la demanda debido al propio crecimiento de la economía.

El consumo agropecuario (agricultura y ganadería) se determinó a partir de la superficie bajo riego, con datos del III Censo Agropecuario y la clasificación del área bajo riego (goteo, aspersión, gravedad, bombeo u otro tipo) para cada una de las ocho regiones hídricas. Además, se adoptó un criterio de expansión de por lo menos un 1% de la superficie bajo riego por década en cada una de las regiones hídricas¹⁰. Por otra parte, se empleó el cálculo de la evapotranspiración potencial acumulada (parámetro meteorológico del modelo PRECIS) como valor representativo de la demanda a cubrir. También se adoptaron porcentajes de eficiencia del uso del agua de acuerdo con el método de riego existente y se cuantificó la demanda a nivel de extracción (captación).

La demanda ecosistémica se analizó en función de la superficie de áreas de vegetación natural en cada una de las ocho regiones hídricas, de acuerdo con la cobertura vegetal existente en el Ecuador, estimada a partir del mapa de cobertura vegetal remanente (ECOCIENCIA, Proyecto GEF, 2008)¹¹. Además, se asumió que los caudales para preservar la naturaleza deben ser directamente proporcionales a la cantidad de áreas naturales y a la oferta hídrica existente en cada región. Para proyectar la demanda, se asumió una disminución de la superficie de áreas naturales equivalente al 1% por cada década para ser congruentes con la expansión del 1% de las áreas bajo riego.

Debido a la falta de información específica a nivel regional, el consumo industrial se analizó como una fracción de la demanda del sector de consumo doméstico, según el nivel de industrialización de cada región hídrica¹². Para la proyección a futuro de la demanda de agua para este sector se asumió un incremento del 2,1% por década en cada una de las regiones, sobre la base de la tasa media de crecimiento económico del país para el futuro. Como resultado de esta metodología, se estimó que, sin considerar el uso ecosistémico, la demanda actual (para 2010) del recurso hídrico es, en promedio, de 23.000 hm³/año, un 97% de los cuales se consume en el sector agropecuario.

Respecto del posible comportamiento de los usos en el futuro, en el cuadro IV.5 se puede observar que la demanda del sector ecosistémico sería relativamente igual en ambos escenarios debido a que este sector se relaciona con la incidencia que las variables climáticas tienen en los ecosistemas (oferta hídrica). En oposición, para el sector agropecuario se evidencia un posible aumento de la demanda bajo el escenario A2, asociado al mayor consumo por aumento de la evapotranspiración potencial¹³. De este modo, el total de la demanda neta se incrementaría en cerca del 7% respecto de la década de 2020-2029 (16.300 hm³) y para el escenario B2 se mantendría constante hasta 2100¹⁴.

El uso ecosistémico en el total de la demanda hídrica nacional requeriría del 75% del volumen útil para la conservación de los ecosistemas actuales y el 24% sería para uso agropecuario. Sin embargo,

¹⁰ La adopción de “porcentajes de eficiencia del uso del agua” se realizó según el método de riego de la SENAGUA (goteo = 90%, aspersión = 70%, gravedad = 50%, bombeo = 65% y otros = 40%).

¹¹ Para determinar la demanda de caudales para conservación ecosistémica (o demanda hídrica para conservación), se estableció el porcentaje del área de cobertura vegetal en cada cuenca hidrográfica. Se asignó el mismo porcentaje de demanda del recurso agua para conservación ecosistémica de la disponibilidad hídrica de cada cuenca hidrográfica.

¹² El criterio de considerar a la demanda industrial como una fracción de la demanda del consumo doméstico coincide con el estudio “Análisis del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en el Ecuador” (INAMHI, 2001). La información sobre grandes consumidores solo existe a nivel de las empresas de agua potable de las grandes ciudades y el presente estudio tiene un ámbito de análisis a nivel país. Además, en la base de concesiones de la SENAGUA no se registran todos los aprovechamientos industriales, en virtud de que mucha de esta demanda se extrae directamente de las redes de distribución de agua potable implementadas para las zonas urbanas o industriales.

¹³ Para la cuantificación de la evapotranspiración potencial se seleccionó el método de Hargreaves, en virtud de que las variables que se requieren para su determinación son coincidentes con el conjunto de parámetros meteorológicos que componen la base de datos mensuales del modelo PRECIS.

¹⁴ Se llegó a la conclusión de que el escenario B2 presenta un incremento de demanda para finales de siglo de apenas 3.032 hm³ respecto de la década 2020-2029 al analizar varias proyecciones de demanda de usos del agua y considerar la población y la superficie de suelo con uso agrícola, así como el acceso y el tipo de riego. Esto sugiere que, de ser posible proyectar un escenario base, el incremento de la demanda no sería muy diferente al escenario B2. En caso de comparar la demanda A2 menos la demanda B2, ya existe una buena aproximación de lo que sería el incremento de la demanda de agua asociada al cambio climático.

la estructura varía sustancialmente al excluir la demanda autogenerada por los ecosistemas naturales y solo considerar la demanda con valor económico (el sector agropecuario pasa a ser el que consume el 97% del recurso y el consumo humano pasa a representar algo más del 2%)¹⁵. En tanto, en los dos casos, el consumo industrial es prácticamente marginal en el presente y el futuro¹⁶.

CUADRO IV.5
ECUADOR: DEMANDA NETA DE RECURSOS HÍDRICOS PARA USO CONSUNTIVO,
ESCENARIOS A2 Y B2^a
(En hm³)

A. Escenario A2

Proyección por décadas	Total bruto Uso consuntivo	Demanda neta-uso consuntivo del agua				Total neto Uso consuntivo
		Consumo humano	Uso agropecuario	Uso ecosistémico-conservación	Uso industrial	
2020-2029	281 146	2 625	92 510	139 267	487	234 889
2030-2039	283 668	2 971	93 567	138 954	572	236 064
2040-2049	285 540	3 249	95 913	136 397	647	236 206
2050-2059	286 250	3 450	97 200	134 476	708	235 834
2060-2069	291 098	3 551	100 064	134 814	750	239 179
2070-2079	304 203	3 553	101 640	145 617	771	251 581
2080-2089	303 505	3 497	102 873	143 332	778	250 480
2090-2099	304 644	3 405	104 311	142 726	776	251 218

B. Escenario B2

Proyección por décadas	Total bruto Uso consuntivo	Demanda neta-uso consuntivo del agua				Total neto Uso consuntivo
		Consumo humano	Uso agropecuario	Uso ecosistémico-conservación	Uso industrial	
2020-2029	255 877	2 412	73 811	141 497	448	218 168
2030-2039	254 603	2 729	75 074	137 207	526	215 536
2040-2049	254 049	2 983	76 021	134 317	594	213 915
2050-2059	253 013	3 166	77 280	130 761	650	211 857
2060-2069	256 825	3 256	78 874	131 917	688	214 735
2070-2079	264 394	3 257	81 802	135 261	707	221 027
2080-2089	261 301	3 205	80 958	133 538	713	218 414
2090-2099	264 045	3 119	81 328	136 042	712	221 201

Fuente: Elaboración propia.

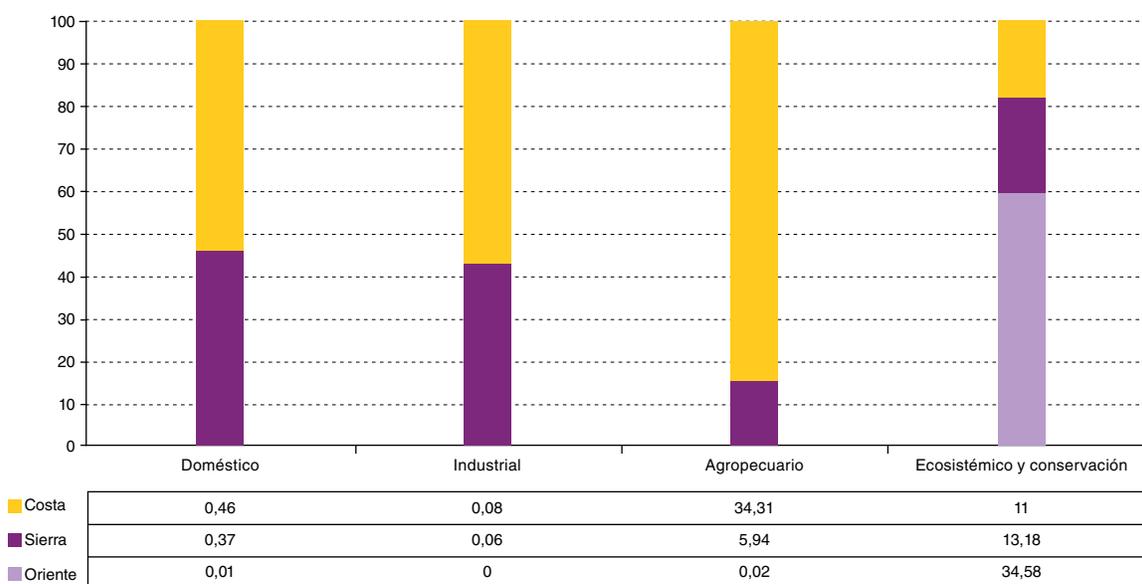
^a Corresponde a valores totales para la década (para obtener valores anuales se debe dividir entre diez).

¹⁵ En el caso del consumo humano se elaboraron proyecciones de crecimiento poblacional para cada una de las ocho regiones analizadas. A nivel nacional, se obtuvo un crecimiento medio anual del 0,3% para el período 2010-2100.

¹⁶ La estimación de la demanda bruta final para usos consuntivos fue ajustada y se adoptaron porcentajes de “retorno” diferentes para cada uso: el consumo humano retorna a la cuenca un 70%, las actividades agropecuarias retornan un 30% de lo captado, se respeta el uso ecosistémico en un 100%, para usos de agua en el sector industrial, el 50%.

En el gráfico IV.2 se muestra que las regiones Costa y Sierra son las que registran la mayor parte del consumo de agua de uso doméstico, con un 54% y un 44%, respectivamente, mientras que la región Oriente (Amazonía) registra algo menos del 2%. En el sector agropecuario el comportamiento es similar, ya que las regiones Costa y Sierra también consumen casi la totalidad del recurso para este fin (la primera concentra el 85% de la demanda). En contraposición, la región Oriente (Amazonía) concentra el 75% de la demanda para el uso ecosistémico, debido a su vasta extensión territorial protegida por su biodiversidad. En general, la demanda total del recurso hídrico muestra una estructura marcadamente inclinada hacia el requerimiento del consumo ecosistémico, seguido del sector agropecuario, mientras que el consumo humano e industrial no alcanzarían el 1%¹⁷.

GRÁFICO IV.2
ECUADOR: ESTRUCTURA DEL CONSUMO DE AGUA, POR REGIÓN Y POR USO
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

Para valorizar el consumo de agua se consideró la estructura de costos unitarios según los diferentes usos que se muestra en el cuadro IV.6.

A partir de estos costos unitarios, el consumo del recurso hídrico en la década actual alcanzaría los 372 millones de dólares anuales en promedio, solo considerando los valores monetarios asignados al consumo de agua doméstico, industrial y agropecuario, aunque este último estaría subestimado ante la inexistencia de un mercado de referencia. Cabe recordar que el consumo ecosistémico no tiene ningún referente de costo de mercado ni normativo.

De este modo, si se mantiene la estructura del escenario base y solo se consideran los usos de mercado, el impacto del cambio climático en la cantidad demandada del recurso hídrico podría representar una pérdida para la sociedad de 441 millones de dólares anuales en 2020 a raíz del incremento de la demanda respecto del escenario base y podría alcanzar los 592 millones de dólares anuales en 2100.

¹⁷ En el consumo del sector agropecuario no solo se ha incluido el uso proveniente de la infraestructura de riego, sino que también se estima un uso aun en el caso de productores sin dotación de infraestructura.

CUADRO IV.6
ECUADOR: ESTRUCTURA DE COSTOS UNITARIOS PARA LOS DIFERENTES
USOS DEL AGUA

Consumo de riego ^a		Consumo doméstico ^b		Consumo industrial	
Tipo de usuario	(Dólares/l/s)	Tipo de usuario	(Dólares/m)	Tipo de usuario	(Dólares/m ³)
Goteo	1,85	Urbano con servicio	0,38	Costa	0,98
Aspersión	1,85	Urbano sin servicio	1,14	Sierra Norte y Centro	0,65
Bombeo	1,08	Rural con servicio	0,26	Sierra Sur	1,05
Gravedad	1,85	Rural sin servicio	1,30	Oriente	0,98
Otros	1,85				

Fuente: Elaboración propia.

^a Sobre la base de tasas vigentes en el Reglamento de la Ley de Aguas.

^b Promedio de las tarifas urbana y rural de las diferentes empresas municipales de Quito, Guayaquil, Cuenca, Portoviejo y Machala. La tarifa de las zonas rurales se obtuvo de juntas de agua y experiencia del consultor, proyectos y estudios específicos en diferentes cantones.

CUADRO IV.7
ECUADOR: VALORACIÓN ECONÓMICA DEL USO CONSUNTIVO DEL AGUA^a
(En dólares)

A. Escenario A2

Proyección por décadas	Consumo humano	Uso agropecuario	Uso Ecosistémico-conservación	Uso industrial	Total uso consuntivo
2000-2009	2 509 433 819	636 809	...	536 797 783	3 046 868 411
2010-2019	3 045 612 071	655 666	...	679 374 503	3 725 642 240
2020-2029	3 582 968 548	667 569	...	829 627 591	4 413 263 708
2030-2039	4 053 973 566	675 251	...	971 053 918	5 025 702 735
2040-2049	4 430 593 688	692 572	...	1 094 567 442	5 525 853 702
2050-2059	4 700 905 797	702 135	...	1 194 877 441	5 896 485 373
2060-2069	4 834 365 429	723 350	...	1 262 041 136	6 097 129 915
2070-2079	4 834 822 709	734 858	...	1 294 745 657	6 130 303 224
2080-2089	4 754 845 366	745 265	...	1 304 604 887	6 060 195 518
2090-2099	4 625 941 306	757 129	...	1 299 032 215	5 925 730 650

(Continúa)

Cuadro IV.7 (conclusión)

B. Escenario B2

Proyección por décadas	Consumo humano	Uso agropecuario	Uso Ecosistémico-conservación	Uso industrial	Total uso consuntivo
2010-2019	2 811 711 632	518 405	...	629 351 764	3 441 581 801
2020-2029	3 305 157 954	529 790	...	767 885 709	4 073 573 453
2030-2039	3 736 975 827	539 032	...	898 110 351	4 635 625 210
2040-2049	4 081 371 329	545 922	...	1 011 632 543	5 093 549 794
2050-2059	4 327 645 199	555 064	...	1 103 629 416	5 431 829 679
2060-2069	4 448 105 655	566 709	...	1 165 029 012	5 613 701 376
2070-2079	4 446 669 828	588 377	...	1 194 725 304	5 641 983 509
2080-2089	4 371 450 461	583 088	...	1 203 376 134	5 575 409 683
2090-2099	4 251 299 108	586 168	...	1 197 787 622	5 449 672 898

Fuente: Elaboración propia.

^a Corresponde a valores totales para la década (para obtener valores anuales se debe dividir entre diez).

4. La oferta frente a la demanda del recurso hídrico

El análisis de la comparación de la oferta y la demanda a nivel regional que se presenta en el cuadro IV.8 indica que las regiones predispuestas a sufrir los efectos del estrés hídrico serían las siguientes: i) Costa Centro, Costa Sur y Sierra Centro, con un nivel de estrés alto; ii) Sierra Norte, Sierra Sur y Costa Norte, con un nivel de estrés bajo, y iii) Oriente, que no evidencia posibilidad de estrés hídrico.

El incremento de la oferta en la región Costa Norte podría representar una importante oportunidad para el aprovechamiento del recurso en sus distintos usos. Sin embargo, es importante contar con medidas preventivas adecuadas para que estas nuevas condiciones climáticas no se conviertan en desastres asociados.

Más aún, frente al potencial cambio de los patrones climáticos, se podrían presentar eventos climáticos más intensos y frecuentes, por lo que la escasez del recurso hídrico podría generar pugnas por los derechos de uso y aprovechamiento del recurso entre los diferentes sectores en las zonas altoandinas o confrontar a diversos sectores, como el sector minero con el sector rural (agrícola y de consumo humano), o el sector hidroeléctrico con el sector de turismo y ambiente¹⁸.

En general, bajo los dos escenarios habría una estructura de superávit que representaría enormes retos para la política pública a nivel territorial, en especial para las zonas sujetas a una amenaza permanente de estrés hídrico, así como para los sectores productivos antes citados.

¹⁸ En el estudio exploratorio “Problemática y Conflictos sobre los Recursos Hídricos por Efectos del Cambio Climático”, ejecutado en el marco del convenio de apoyo institucional entre el Servicio Alemán de Cooperación Técnica-Social (DED) y la SENAGUA, se cuantifica la susceptibilidad a conflictos sobre los recursos hídricos por escasez de precipitaciones a nivel cantonal. En las proyecciones sobre potencialidad de escalamiento de conflictos ante eventos climatológicos extremos se consideran criterios para la definición de la escalada de conflictos (medidas de hecho y de derecho). Los resultados de este estudio se pueden consultar en el informe sectorial.

CUADRO IV.8
ECUADOR: RESUMEN DE LA OFERTA FRENTE A LA DEMANDA DE AGUA^a
(En hm³/km²)

	Año referente	Región Costa		Región Sierra		Región Oriente	
		Escenario A2	Escenario B2	Escenario A2	Escenario B2	Escenario A2	Escenario B2
Norte	2000-2009	1,04	1,02	0,16	0,18	0,22	0,23
	2010-2020	1,04	1,04	0,15	0,18	0,23	0,24
	2040-2050	1,05	1,02	0,14	0,17	0,25	0,25
	2060-2070	1,11	1,03	0,13	0,17	0,27	0,27
	2090-2099	1,41	1,23	0,11	0,16	0,31	0,31
Centro	2000-2009	-0,48	-0,30	-0,02	0,06	0,66	0,15
	2010-2020	-0,51	-0,29	-0,04	0,06	0,63	0,16
	2040-2050	-0,50	-0,34	-0,06	0,03	0,56	0,19
	2060-2070	-0,42	-0,31	-0,08	0,02	0,48	0,21
	2090-2099	-0,20	-0,13	-0,20	-0,04	0,45	0,25
Sur	2000-2009	-2,19	-1,64	0,30	0,31		
	2010-2020	-2,30	-1,65	0,29	0,32		
	2040-2050	-2,34	-1,73	0,30	0,32		
	2060-2070	-2,32	-1,74	0,31	0,32		
	2090-2099	-2,07	-1,65	0,33	0,35		

	Exceso alto	> 0,60
	Exceso medio	0,30 a 0,60
	Exceso bajo	0,05 a 0,30
	Equilibrio	- 0,05 a 0,05
	Déficit bajo	- 0,30 a - 0,05
	Déficit medio	- 0,60 a - 0,30
	Déficit alto	< - 0,60

Fuente: Elaboración propia.

^a La agrupación de las cuencas hidrográficas se basa en la zonificación de las ocho regiones del Ecuador propuestas para este estudio.

Como se ha descrito anteriormente, el exceso del recurso hídrico estaría dado por el incremento de las precipitaciones en los dos escenarios globales A2 y B2. Sin embargo, a los efectos de este estudio, se ha considerado el escenario B2 como el escenario de línea de base (véase el recuadro IV.1), ya que presenta una tendencia similar a la de las proyecciones de temperatura y pluviosidad, y no tiene diferencias en términos estadísticos con los datos históricos modelados. Por lo tanto, la cuantificación de efectos y costos asociados únicamente al cambio climático se analizó en virtud de la diferencia entre los escenarios A2 y B2. En consecuencia, el escenario B2 no presentará efectos sobre la senda base, ya que son aproximadamente coincidentes.

RECUADRO IV.1
¿POR QUÉ EL ESCENARIO B2 SERÍA UN PROXY AL ESCENARIO BASE
EN EL SECTOR DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN ECUADOR?

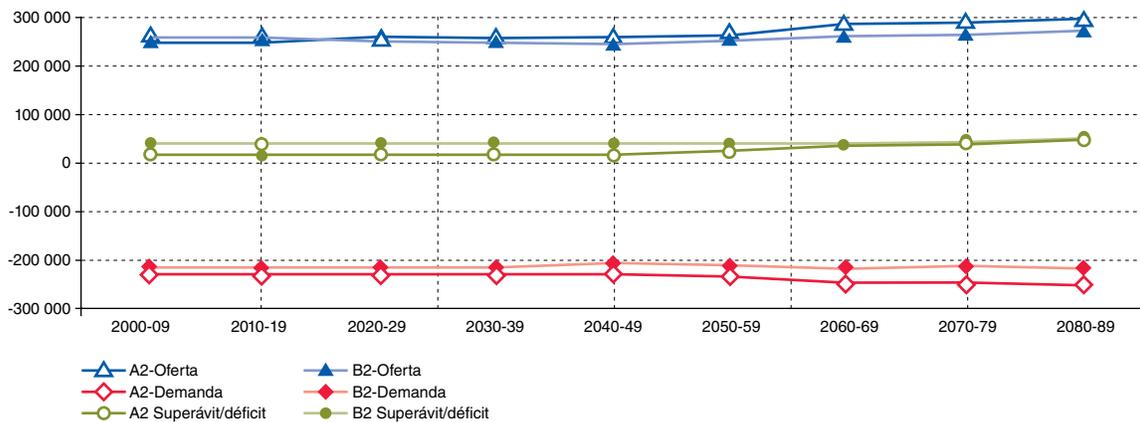
No es posible proyectar la demanda de los distintos usos del recurso hídrico sin considerar el efecto del cambio climático. Para el consumo doméstico, por ejemplo, no se podría únicamente considerar el crecimiento demográfico desligado de los cambios en las variables climáticas (temperatura, pluviosidad, evapotranspiración potencial). En el sector agropecuario tampoco sería técnicamente pertinente considerar solo el crecimiento económico del sector para explicar el incremento de la demanda, sin incluir la incidencia de las variables climáticas, y algo similar ocurre con el uso industrial. Por lo tanto, cualquier ejercicio de proyección futura de uso consuntivo debe considerar algún escenario de clima.

Sobre la base de estas consideraciones, en este estudio se estima el escenario B2 como un sustituto del escenario base sobre el cual se podría identificar el efecto del cambio climático respecto de otros escenarios (en este caso el escenario A2).

Fuente: Elaboración propia.

Otra consideración metodológica relevante para este estudio es que el efecto neto del cambio climático no puede observarse de forma aislada desde el lado de la oferta o de la demanda, sino sobre el déficit o exceso del recurso hídrico que determina la disponibilidad hídrica del país. Por lo tanto, el efecto del cambio climático sobre la disponibilidad hídrica neta se estimó por la diferencia entre la disponibilidad de los dos escenarios analizados A2 y B2. Como se muestra en el gráfico IV.3 y en el cuadro IV.9, la disponibilidad hídrica del país se reduciría en todas las décadas, y sobre todo en las primeras del siglo.

GRÁFICO IV.3
ECUADOR: SUPERÁVIT/DÉFICIT DEL RECURSO HÍDRICO POR
EL CAMBIO CLIMÁTICO, ESCENARIOS A2 Y B2
(En hm³)



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO IV.9
ECUADOR: IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD
DEL RECURSO HÍDRICO
(En hm³)

Década	Oferta total nacional		Demanda neta ^a		Superávit-Déficit		Impacto en la disponibilidad del recurso hídrico
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	(A2-B2)
2020-2029	250 923	252 284	-234 888	-218 168	16 035	34 116	-18 081
2030-2039	254 239	247 613	-236 064	-215 535	18 175	32 078	-13 903
2040-2049	253 893	246 277	-236 206	-213 915	17 687	32 362	-14 675
2050-2059	254 549	244 548	-235 834	-211 857	18 715	32 691	-13 976
2060-2069	262 173	249 647	-239 179	-214 736	22 994	34 911	-11 917
2070-2079	283 164	255 994	-251 581	-221 028	31 583	34 966	-3 383
2080-2089	285 641	259 791	-250 479	-218 414	35 162	41 377	-6 215
2090-2099	293 714	271 885	-251 219	-221 200	42 495	50 685	-8 190

Fuente: Elaboración propia.

^a Se considera demanda bruta al consumo total, sin tomar en cuenta el consumo doméstico real, la eficiencia técnica en materia de riego y el margen de desperdicio. Se considera demanda neta a los valores ajustados con estos parámetros.

5. Impacto económico en la disponibilidad del recurso hídrico

Debido a la inexistencia de precios de mercado de la oferta hídrica, no fue posible calcular el efecto económico neto del cambio climático en la disponibilidad del recurso hídrico, por lo que en la estimación económica solo se tomaron en cuenta los costos asociados al incremento de la demanda del escenario A2 respecto del escenario B2.

En virtud de esta consideración, y sobre la base de los resultados que se presentan en el cuadro IV.7, donde se presenta una valoración de los costos del recurso, se apreció que el 80% de las pérdidas se originarían en el consumo doméstico y alrededor del 20% provendrían del sector industrial. No obstante, en términos físicos, estos dos tipos de usos solo representan el 2% del total demandado. En contraposición, el sector agropecuario representa el 97% de la demanda no consuntiva y las pérdidas económicas no alcanzarían al 1% del total, lo que se explica, en gran parte, porque los precios de mercado del agua para uso agropecuario están considerablemente subvalorados.

A partir de estos resultados, se determinó el costo consuntivo por región asociado al cambio climático, que se muestra en el cuadro IV.10, donde se aprecia que el posible efecto neto del cambio climático en el recurso hídrico sería negativo, lo que generaría pérdidas anuales de entre 34 millones de dólares y 47,6 millones de dólares en las décadas de 2020 y 2100, respectivamente.

Estos costos no se distribuyen de manera homogénea en las regiones hídricas consideradas en el estudio, ya que para la región Sierra las pérdidas medias para el período serían del 60%, para la región Costa alcanzarían el 38% y para la región Oriente (Amazonía) representarían una cifra marginal del 2%.

En términos temporales, los costos por aumento de la demanda del recurso hídrico en la región Sierra sufrirían un progresivo incremento a lo largo del período, mientras que en la región Costa y en la región Oriente las pérdidas decrecerían en las dos últimas décadas.

CUADRO IV.10
ECUADOR: COSTO ECONÓMICO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA
PARA USO CONSUNTIVO, PROYECCIÓN POR DÉCADA

Década	Total de uso consuntivo por región						<i>(Millones de dólares)</i>
	Región Costa		Región Sierra		Región Oriente		
	<i>(Millones de dólares)</i>	<i>(Porcentajes)</i>	<i>(Millones de dólares)</i>	<i>(Porcentajes)</i>	<i>(Millones de dólares)</i>	<i>(Porcentajes)</i>	
2020-2029	135	39,87	198	58,28	6,3	1,85	340
2030-2039	152	38,91	231	59,21	7,3	1,88	390
2040-2049	164	38,01	260	60,10	8,2	1,89	432
2050-2059	173	37,19	283	60,92	8,8	1,89	465
2060-2069	176	36,50	298	61,61	9,1	1,89	483
2070-2079	176	35,99	303	62,14	9,1	1,87	488
2080-2089	172	35,53	304	62,62	8,9	1,85	485
2090-2099	167	35,06	300	63,12	8,7	1,82	476
Promedio del periodo	153	38,01	247	60,14	7,6	1,85	407

Fuente: Elaboración propia.

B. Sector agrícola: producción y rendimientos

La agricultura es uno de los principales sectores del Ecuador, tanto por su aporte al PIB (un promedio del 6% en los últimos diez años) como por sus encadenamientos con el resto de la economía. La producción agrícola es fuente de materias primas para los otros sectores y de subsistencia para muchas familias campesinas. De hecho, según Inurritegui y otros (2008), más del 50% de las unidades productivas son de subsistencia. Además, realiza una importante contribución a la canasta exportadora del país, ya que alrededor del 50% de las exportaciones no petroleras corresponden a productos agrícolas no elaborados (Banco Central del Ecuador).

Por sus particulares características, el sector agrícola es especialmente vulnerable a las condiciones climáticas. Por ello, y dada su importancia, es necesario evaluar los posibles efectos que el cambio climático tendrá sobre esta actividad. En esta sección se describe la metodología de evaluación, los efectos en los rendimientos de cada cultivo y su valoración económica en el tiempo.

1. Metodología

La metodología empleada para evaluar los efectos del cambio climático en el sector agrícola se puede resumir en cuatro pasos básicos. En primer lugar, se identificaron y seleccionaron los cultivos representativos. A continuación, se construyó una línea de base a partir de series temporales que relacionaron los rendimientos agrícolas con información climática histórica. En tercer término, se proyectaron nuevos rendimientos agrícolas, a partir de la línea de base y de los escenarios climáticos A2 y B2, para compararlos con la senda base, es decir con los valores que estos alcanzarían de mantenerse las tendencias prevalecientes. Finalmente, y en forma paralela, se realizó un análisis transversal de las relaciones entre la producción de cada cultivo y sus factores productivos, para cada nivel de desarrollo tecnológico.

a) Identificación y selección de cultivos representativos

El análisis del impacto económico del cambio climático en este sector se inició con la identificación y selección de los productos agrícolas más representativos. Para ello, se consideraron los criterios de importancia económica y social, y de representatividad territorial (aporte al PIB, a las exportaciones y a la seguridad alimentaria, y de acuerdo con el lugar de origen). A partir de estos criterios se seleccionaron los cultivos de banano, cacao, café, arroz, maíz duro, papa, maíz suave, caña de azúcar y fréjol. En términos generales, estos cultivos representan poco más del 70% del PIB agrícola y una proporción similar de la superficie cultivada.

El Ecuador presenta una alta especialización provincial y los cultivos seleccionados mantienen esta característica, por lo que es necesario elaborar un análisis específico de las variables climáticas en los distintos territorios de acuerdo con el comportamiento fenológico de cada cultivo (véase el cuadro IV.11)¹⁹. Esta especialización se considera a lo largo de toda la metodología de análisis.

CUADRO IV.11
ECUADOR: CONCENTRACIÓN Y ESPECIALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Cultivos	Provincias	Proporción del total nacional (En porcentajes)
Arroz	Guayas y Los Ríos	93
Maíz duro	Manabí, Los Ríos y Guayas	94
Maíz suave	Cañar, Azuay y Loja	63
Fréjol	Bolívar, Azuay y Loja	59
Papa	Carchi, Cotopaxi y Chimborazo	57
Banano	Los Ríos, Guayas y El Oro	94
Cacao	Manabí, Los Ríos y Guayas	79
Café	Manabí y Los Ríos	97
Caña	Guayas	96

Fuente: Mecanismo Mundial de Lucha contra la Desertificación (MMLCD) y Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de datos del Servicio de Información y Censo Agropecuario (SICA), Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador.

b) Línea de base

A partir de la selección anterior, se elaboraron modelos explicativos para cada cultivo. Para la línea de base se construyó un modelo econométrico de series temporales basado en las funciones de producción que arrojaron los ajustes con mayor poder explicativo. Se seleccionaron distintos tipos de funciones para cada uno de los cultivos elegidos, combinando sus requerimientos biológicos asociados a variables climáticas, así como la capacidad explicativa y el buen comportamiento estadístico de los estimadores.

Los modelos buscan explicar el rendimiento histórico de cada cultivo a través de su relación con variables como la precipitación, la temperatura y las anomalías climáticas. En la estimación se han considerado además las características biológicas y las etapas de desarrollo de cada cultivo durante el

¹⁹ La fenología es la ciencia que analiza las relaciones entre las condiciones atmosféricas y los fenómenos biológicos periódicos, como las fases de desarrollo de las plantas.

período considerado como línea de base (1985-2008)²⁰. Esto permitió obtener la evolución de los niveles de producción para cada cultivo.

Para las variables climáticas se utilizó el modelo PRECIS previa validación de los datos brindados por el INAMHI para sus distintas estaciones meteorológicas. El modelo PRECIS permite disponer de información desagregada a nivel de cuadrículas de 50 km por 50 km, lo que posibilita reducir la escala de manera coherente con la localización de los cultivos seleccionados.

c) Proyección de escenarios

En este paso metodológico se proyectaron los rendimientos de los cultivos sin cambio climático y a partir de los escenarios climáticos A2 y B2, utilizando la información climática del modelo PRECIS desagregada a nivel provincial con datos de precipitaciones y de temperaturas máximas, mínimas y medias para el período 2010-2100. Puesto que se trata de proyecciones de largo plazo, se optó por realizar estimaciones calculando un valor central con rangos de fluctuación superior e inferior determinados por las varianzas. Además, se realizó un análisis de sensibilidad de los coeficientes obtenidos para los cultivos de la línea de base a través de un modelo probabilístico del tipo Montecarlo (Crystal Ball). Los valores que se presentan corresponden al valor medio estimado de la distribución.

Finalmente, cabe señalar que los resultados se obtuvieron en términos de variaciones de los rendimientos y del valor bruto de la producción respecto de la senda base que corresponde, como se dijo anteriormente, a la evolución que tendrían dichos rendimientos de mantenerse las tendencias prevalecientes en el período base.

d) Análisis transversal

A modo de complemento, se elaboró un análisis de factores productivos que extienden la función de producción agrícola calculada en la línea de base. En este caso, se consideraron también las variables climáticas sin el detalle de su fenología y se incluyeron otras variables como: i) la mano de obra, la disponibilidad de agua, el equipo para regadío, la utilización de equipos, las herramientas de cultivo y la cosecha; ii) la tierra que posee cada agricultor; iii) las características de la infraestructura, y iv) los niveles de tecnología.

Para este propósito, se construyeron funciones de producción que se estimaron y corresponden a la forma TransLog, basadas en los datos del Censo Agropecuario. De esta forma, se generaron ecuaciones para cada cultivo y para cada nivel de desarrollo tecnológico²¹.

El análisis transversal mostró que los cultivos presentan las relaciones más significativas con las variables climáticas y la variable tierra, mientras que la mano de obra y la inversión en riego tienen una baja significancia²².

²⁰ Los datos históricos de temperatura y precipitación registrados por el INAMHI no son homogéneos ni lo suficientemente continuos para los requerimientos de los modelos de regresión, por lo que se usó la información del modelo PRECIS.

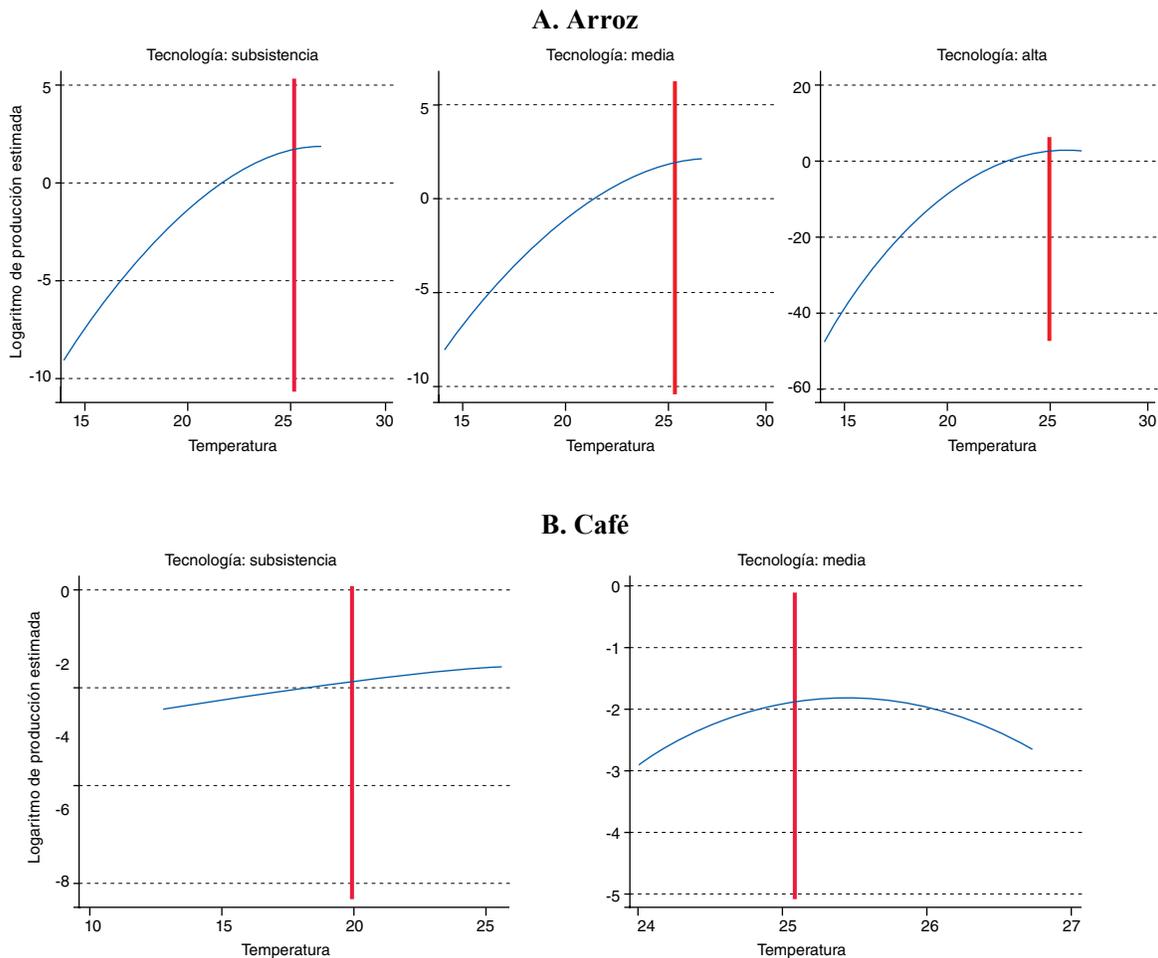
²¹ La estimación de las funciones se sujetó a la condición de contar con los datos completos. En virtud de la fenología de la planta, se consideró un nivel de temperatura y pluviosidad aceptable para dicho cultivo, de acuerdo con lineamientos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

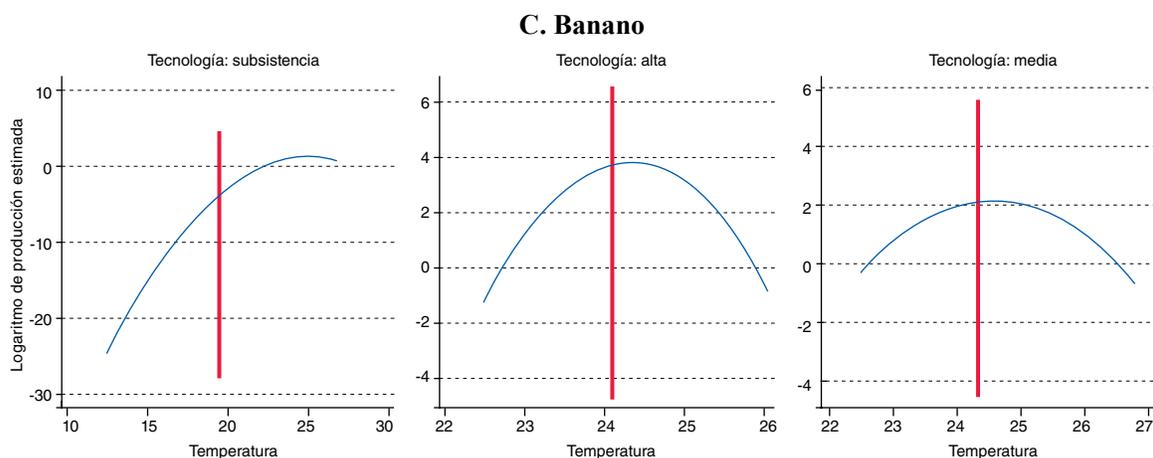
²² Sin embargo, la temperatura muestra una mayor significancia, tanto por cultivo como por nivel de tecnología, porque la mayor parte del análisis se centra en esta variable.

Los incrementos de temperatura y pluviosidad generan aumentos de la productividad hasta cierto umbral y sobre estos niveles se reducen los rendimientos. De acuerdo con las estimaciones realizadas y con los niveles medios informados para la temperatura y la precipitación, la mayoría de los productos se encuentran en la senda de crecimiento de las curvas de producción cóncavas, como se puede ver en el gráfico IV.4. Sin embargo, esta aseveración es diferenciada para los distintos niveles de tecnología utilizada en las unidades de producción agrícola.

En las unidades de producción agrícola con tecnología de subsistencia que actualmente se encontrarían cultivando en zonas de temperatura media inferior a la óptima, cualquier incremento futuro de temperatura produciría un aumento de producción. En las unidades de producción agrícola intermedias, con valores de temperatura por encima de su senda de crecimiento, se aprecia que algunos cultivos disminuirían su nivel de productividad, en especial los de exportación. El incremento de la temperatura produciría una importante reducción en la productividad de los cultivos de café, banano y cacao. De manera contraria, las mismas condiciones climáticas tendrían una incidencia positiva en el cultivo de arroz y maíz duro. Las unidades de producción agrícola empresariales se encontrarían más cerca del límite óptimo de temperatura para la producción de cultivos para exportación, por lo que están más propensas a disminuir su producción por el incremento de la temperatura.

GRÁFICO IV.4
ECUADOR: SENDA DE CRECIMIENTO SEGÚN FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN
DE ALGUNOS CULTIVOS SELECCIONADOS





Fuente: Elaboración propia.

Nota: La línea vertical que aparece en cada gráfico refleja la temperatura media.

2. Análisis económico del impacto del cambio climático en la agricultura

Los efectos que las variaciones en los rendimientos, a raíz del cambio climático, tienen sobre el valor bruto de la producción (VBP) del sector agrícola (escenarios A2 y B2) muestran que la mayoría de los cultivos presentarían pérdidas económicas en el futuro. Como se puede apreciar en el cuadro IV.12a, casi todos los cultivos resultan afectados negativamente en el escenario A2 al comparar los resultados obtenidos con la senda base²³. La excepción son el fréjol y la papa, en especial esta última, dos cultivos a los que se agrega, en menor medida, el maíz suave. No obstante, y a pesar de su importancia como cultivos de subsistencia para muchos pequeños productores, su incidencia en el valor total es reducida. Entre los cultivos que pierden, aparecen en primer lugar la caña de azúcar, el arroz y el cacao.

De igual forma, este criterio de medir según las diferencias respecto de la tendencia o senda base, también debe tomar en consideración que se ha calculado una banda de fluctuación de los rendimientos de cada cultivo de acuerdo con su varianza estimada. Ello significa que el rendimiento, y por tanto el VBP, tiene tres valores a considerar, que resultan de la estimación de una banda de confianza calculada a partir de la varianza de cada caso: un valor central, uno inferior y otro superior.

Las cifras que se presentan en el cuadro IV.12a muestran que las pérdidas se incrementan sensiblemente desde mitad de siglo hacia el fin del período, momento en que su valor negativo se duplica con creces, acentuándose aún más la contribución del banano y la caña de azúcar al total.

²³ Nótese que la comparación es sobre rendimientos proyectados que consideran implícitamente aumentos de productividad y cambio tecnológico, lo que para algunos cultivos implica que el rendimiento de comparación en cada año de corte sea superior al existente actualmente. La comparación con el rendimiento actual arrojaría cifras distintas.

CUADRO IV.12
ECUADOR: BENEFICIOS Y PÉRDIDAS NETAS EN EL VALOR
DE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA^a
(En millones de dólares constantes del año base)

A. Escenario A2

Cultivo	2020	2040	2050	2060	2080	2100
Banano	10,71	-4,40	-98,33	-102,86	-111,93	-194,36
Arroz	0,12	-2,36	-17,07	-10,12	-14,87	-55,63
Cacao	-0,59	-1,19	0,41	-0,31	-1,73	-19,55
Fréjol	-1,45	-1,46	5,88	7,72	11,41	-2,17
Maíz duro	0,32	0,21	-1,53	-1,85	-2,47	-12,39
Maíz suave	-1,61	-1,60	0,84	0,98	1,26	3,14
Caña	-113,24	9,83	-95,21	-119,20	-167,17	-230,51
Papa	11,55	7,64	10,29	12,21	16,05	31,16
Total	-94,19	6,67	-194,72	-213,43	-269,45	-480,31

B. Escenario B2

Cultivo	2020	2040	2050	2060	2080	2100
Banano	-3,37	1,44	-36,55	-42,60	-54,70	-136,02
Arroz	1,48	0,69	0,05	-8,34	-10,28	-14,25
Cacao	-4,89	-5,46	-6,47	-7,11	-8,39	-28,02
Fréjol	0,01	-0,42	-2,03	-0,83	1,56	2,29
Maíz duro	0,06	-0,30	-3,98	-4,32	-4,99	-13,09
Maíz suave	-0,65	-0,53	-0,46	-0,39	-0,25	1,09
Caña	171,79	206,68	229,95	239,26	257,86	278,70
Papa	0,15	-0,15	3,01	3,87	5,60	13,62
Total	164,58	201,95	183,52	179,54	186,41	104,32

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del III Censo Agropecuario, 2000, proyecciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y Mecanismo Mundial de Lucha contra la Desertificación (MMLCD).

^a Las cifras con signo negativo reflejan pérdidas.

Bajo el escenario B2, la caña de azúcar muestra beneficios significativos a lo largo de todo el período, en cambio el banano es el que sufre las mayores pérdidas, con una dinámica muy acelerada, lo que evidencia una alta sensibilidad a los cambios climáticos. El resto de los cultivos muestra variaciones menores, tanto positivas como negativas (véase el cuadro IV.12b).

En conclusión, los cultivos más afectados por el cambio climático son el banano y la caña de azúcar. En el caso del banano se registrarían pérdidas significativas en ambos escenarios, mientras que la caña de azúcar se ve beneficiada en el escenario B2 y muy afectada en el escenario A2. Los otros cultivos muestran variaciones de menor magnitud en ambos escenarios y en ambos sentidos.

Es importante resaltar, sin embargo, que esta conclusión puede ser diferente si la comparación se hace respecto de los rendimientos del año base, lo que supone considerar una función de innovación estática, o al menos no continua. También cabe destacar que, al considerar la incertidumbre en las proyecciones y tomar en cuenta los valores de las bandas de confianza además del valor central, las conclusiones pueden ser diferentes y puede aparecer, por ejemplo, un cultivo en el cual, dentro del intervalo de confianza, también puedan encontrarse alternativamente pérdidas y ganancias (como ocurre en el caso del arroz).

RECUADRO IV.2

ECUADOR: DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS Y SU EFECTO DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO

El Mecanismo Mundial de Lucha contra la Desertificación (MMLCD) estima que las pérdidas de valor bruto de la producción (VBP) en el Ecuador a causa de la degradación de las tierras representan, a nivel nacional, el 7,6% del VBP agrícola y son resultado de las pérdidas ponderadas del 10% para la región Costa y del 6,3% para la región Sierra. A nivel de las provincias, Manabí es la que más pierde, seguida de El Oro, Imbabura, Loja y Guayas.

A nivel de los cantones, las mayores pérdidas corresponden a Ibarra (Imbabura), Guaranda (Bolívar), Chone (Manabí), Arenillas (El Oro), Espejo (Carchi), Catamayo (Loja), Portoviejo (Manabí) y Celica (Loja).

El ritmo, o la dinámica, de degradación de las tierras es elevado. Entre 1982 y 2002 se degradó una superficie equivalente al 14,2% del territorio nacional, cifra que se suma a la degradación registrada anteriormente. De este total, un 25,9% corresponde a la región Sierra, un 30% a la región Costa y un 44,1% a la región Oriente (este último es un fenómeno relativamente reciente y muy preocupante). Las provincias de Napo, Pastaza y Morona Santiago, en la región Oriente, suman el 36% del total, Manabí, Guayas y Esmeraldas, en la región Costa, aportan el 21,3% del total, mientras que en la región Sierra, Pichincha, Loja y Azuay contribuyen con el 13%.

Del total de las tierras degradadas en este período, el 19,9% corresponden a tierras con degradación severa. La región Oriente concentra la mayor parte de estas tierras y Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe y Sucumbíos son las provincias que más contribuyen a esta degradación, ya que aportan el 46,1% del total. Si se suma la provincia de Esmeraldas de la región Costa, la proporción llega casi al 55% del total nacional. En la región Sierra, Tungurahua, Pichincha y Chimborazo contribuyen con el 20,5% del total de tierras con degradación severa.

En este contexto, un hecho digno de destacar es que la mayor parte de las provincias tienen una proporción importante de sus tierras degradadas afectadas por degradación severa. En primer lugar está Cañar con el 36%, seguida de Morona Santiago, Carchi, Bolívar, Chimborazo, Loja, Sucumbíos y Pastaza con proporciones de entre más de un cuarto y más de un tercio del total de tierras degradadas.

De los diez cantones más afectados por procesos de degradación entre 1982 y 2002, cinco se ubican en la región Sierra (Pimampiro en la provincia de Imbabura, Guamote en Chimborazo, Salcedo, Pangua y Pujilí en Cotopaxi), cuatro se encuentran en la región Costa (Junín, Paján y Chone en la provincia de Manabí, y Santa Rosa en El Oro) y uno, Guaranda, se localiza en la provincia de Bolívar, en el centro del país.

Respecto del grado de vulnerabilidad a la desertificación, se constata que gran parte de la población vulnerable vive en la costa y que una proporción creciente de lugares en la Amazonía evidencian un alto ritmo de degradación. Del total nacional de hogares rurales, el 22,6% corresponden a hogares rurales vulnerables. Guayas y Pichincha tienen un aporte relativamente bajo, mientras que Bolívar y Cotopaxi tienen más de dos tercios de hogares rurales vulnerables y Zamora Chinchipe, Chimborazo, Cañar, Napo, Loja, Morona Santiago y Tungurahua superan el 50%.

(Continúa)

Recuadro IV.2 (conclusión)

En cuanto a los efectos del cambio climático, cabe destacar que hasta 2050, la mayor parte del territorio ecuatoriano no se vería afectado. Sin embargo, es muy probable que esta situación se modifique para 2100. No obstante, los antecedentes disponibles sugieren que, en el caso del Ecuador, los procesos antrópicos, como la deforestación, la producción no sostenible y las prácticas de cultivos no sostenibles, son más importantes que la degradación de las tierras y la desertificación.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Mecanismo Mundial de Lucha contra la Desertificación (MMLD) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

C. Biodiversidad

Por su ubicación geográfica y sus pisos altitudinales, el Ecuador está considerado como uno de los países con ecosistemas más diversos del mundo (Mittermeier y otros, 1997). Entre estos ecosistemas se encuentran playas, arrecifes, manglares, bosques húmedos amazónicos y costaneros, bosques montanos húmedos y secos, matorrales, herbazales, páramos andinos y nieves perpetuas. Además, posee el mayor número de especies por superficie en América del Sur (0,08 especies/km²) (MAE y Ecociencia, 2005).

Actualmente existen 44 áreas naturales protegidas en el Ecuador, con una extensión de más de 4 millones de hectáreas distribuidas entre las regiones Costa, Sierra, Amazonía y las islas Galápagos, equivalentes al 19% de la superficie total del país. El conjunto de flora y fauna abarca 500.000 especies de insectos, 25.000 especies de plantas vasculares, 17.000 especies de plantas superiores, 1.626 especies de aves, 474 especies de anfibios, 396 especies de reptiles y 369 especies de mamíferos. Sin embargo, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2008) indicó que 2.208 especies se encuentran en estado de amenaza. Entre estas especies amenazadas hay plantas (83,2%), anfibios (7,7%), aves (3,1%), moluscos (2,2%), mamíferos (1,9%), y peces y reptiles (1,7%).

Los efectos de la magnitud, la velocidad y los eventos inesperados del cambio climático sobre los ecosistemas amenazan la biodiversidad y la provisión de los bienes y servicios ambientales. Estos efectos serían la disminución de la regulación del agua y las modificaciones en la composición y capacidad de adaptación natural de los ecosistemas en pisos altitudinales bajos de los Andes (Banco Mundial, 2002). Los ecosistemas ubicados sobre el límite superior de la vida arbórea también se verían afectados al estar condicionados por temperaturas bajas (Pauli y otros, 2005). La diversidad de ecosistemas, organismos y genes podría verse afectada por variaciones en los rangos de distribución y abundancia de especies, aumentos de las tasas de extinción, variaciones en tiempos de reproducción, interacciones con nuevos agentes patógenos, pérdidas de hábitat y desacople en las relaciones de mutualismo, simbiosis y depredación (Foden, 2008). En los últimos 30 años, se atribuyen al cambio climático numerosas alteraciones en la distribución y abundancia de las especies (Root y otros, 2003), así como en su extinción (Pounds y otros, 1999).

La capacidad natural de adaptación de los ecosistemas podría verse limitada debido a la magnitud de las alteraciones climáticas y a la fragmentación a causa de la conversión de uso del suelo (Fischlin y otros, 2007). Sin embargo, algunos ecosistemas, como los bosques y los páramos, pueden contribuir a la atenuación de este impacto.

El cambio climático tendría efectos sobre la biodiversidad, que se reflejarían en la alteración, la disminución, la transformación y el traslado de diversos ecosistemas. Estos efectos generarían una creciente pérdida de especies con consecuencias físicas (medidas como pérdidas de biodiversidad) y económicas (si se consideran las variaciones en el servicio ambiental de almacenamiento de carbono) que se cuantifican por medio de los siguientes pasos metodológicos:

- i) Delimitación del escenario base a partir de las características climáticas de las formaciones vegetales,
- ii) Escenarios de impacto en las formaciones vegetales y su relación con el cambio climático,
- iii) Impacto del cambio climático en las especies y
- iv) Modelo de almacenamiento de carbono y estimación económica que considera las alteraciones en la productividad, distribución y estructura de los ecosistemas²⁴.

En general, se asume que los efectos están relacionados directamente con la vulnerabilidad de los ecosistemas, lo que se explica por la exposición y la fragilidad de sus formaciones vegetales. En el análisis de costo se asume que a mayor vulnerabilidad, mayor es el daño ocasionado, por lo que el riesgo se representa a través de la curva de daños-probabilidad de excedencia del valor del daño esperado (Moench y otros, 2007).

Si bien el cambio climático tendría implicancias multidimensionales en la biodiversidad del Ecuador, no siempre es posible valorar económicamente las pérdidas en éste ámbito. El foco de este estudio es entregar lineamientos de los principales impactos y valorarlos económicamente con metodologías comúnmente aceptadas. Por este motivo, y debido a la limitada disponibilidad de información en este rubro, solo se ha valorado económicamente la potencial pérdida de carbono. No se ha valorado el análisis de la pérdida de servicios ecosistémicos asociados con la biodiversidad del Ecuador, lo que quedaría pendiente para profundizar en trabajos futuros, aunque se reconoce su vital importancia. Por ello, cabe recalcar las virtudes de los resultados de carácter físico entregados en este capítulo, ya que permiten visualizar las potenciales alteraciones y reemplazo de formaciones vegetales en el Ecuador y de sus especies asociadas.

1. Delimitación del escenario base

El primer paso para estimar los efectos del cambio climático en la biodiversidad consistió en definir y clasificar las formaciones vegetales que sirvieron de base para el estudio, para lo cual se consideraron las formaciones vegetales pertenecientes a las áreas protegidas del país²⁵.

En el cuadro IV.13 se presentan las categorías de las formaciones vegetales seleccionadas que se usaron como base para analizar el impacto sobre los ecosistemas²⁶. A partir de las formaciones vegetales presentadas, se aprecia que el bosque siempre verde ocupa el área más extensa de la superficie en estudio (con alrededor del 60%), seguido de la formación de páramo y el bosque de neblina (ambos con un 12%).

La disposición espacial de las áreas protegidas, así como la superficie asociada a cada formación, se pueden apreciar en el mapa IV.2.

²⁴ La amenaza y la vulnerabilidad por potenciales cambios en la temperatura y la precipitación se evalúan en términos de distribuciones probabilísticas de la variación de los regímenes de clima. La amenaza se establece mediante las estimaciones de la intensidad y la probabilidad de ocurrencia de los cambios del clima.

²⁵ Cada formación vegetal ha sido analizada a partir de criterios topográficos, fisonómicos, bióticos, estacionales, climatológicos e hídricos (Sierra y otros, 1999).

²⁶ Esta clasificación se realizó a partir de la región natural, los criterios topográficos, las características bióticas, climáticas e hídricas, y el tipo fisonómico (Sierra y otros, 1999). En las regiones Costa, Sierra y Amazonía se incluyen subregiones norte, centro y sur.

CUADRO IV.13
ECUADOR: CATEGORÍAS DE LAS FORMACIONES VEGETALES
DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS CONTINENTALES

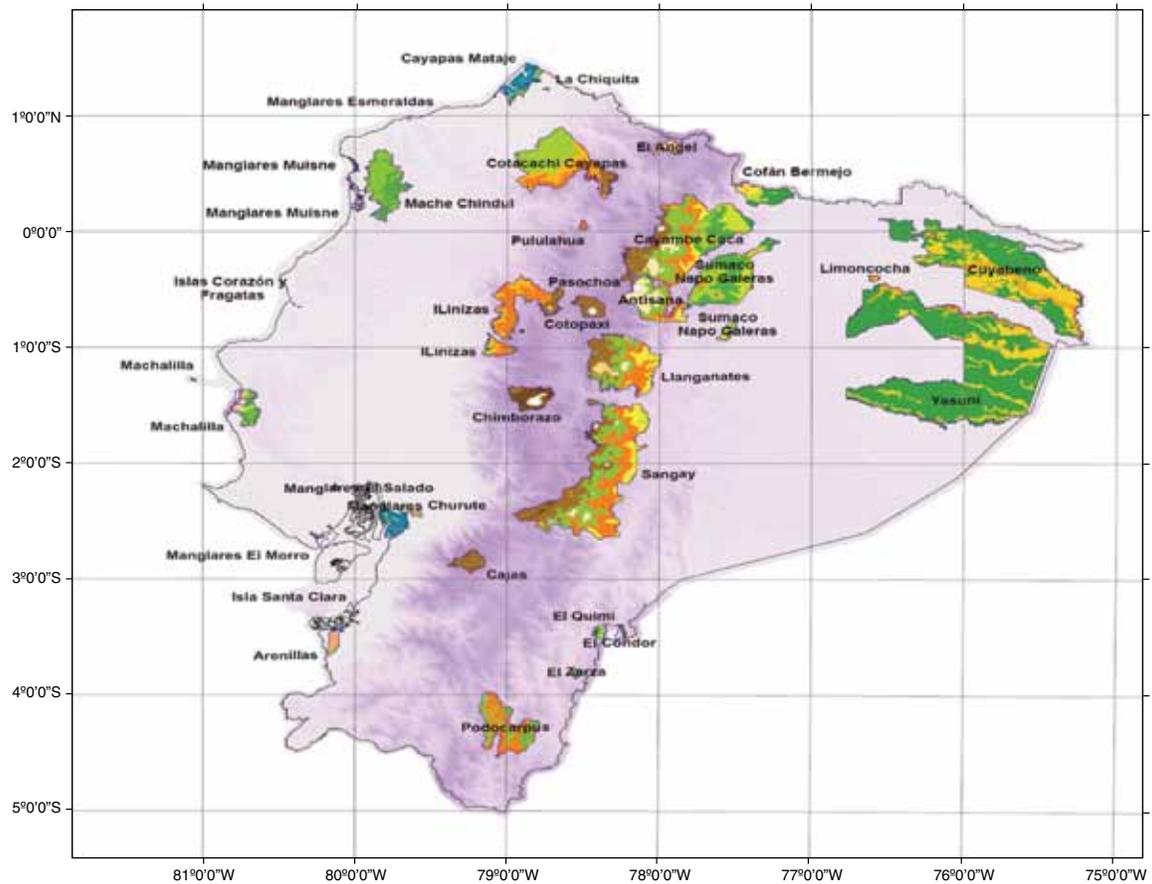
Categorías de formación vegetal	Área	
	(En ha)	(En porcentajes) ^a
Bosque siempre verde	2 437 364	59,12
Páramo	525 646	12,75
Bosque de neblina	500 436	12,14
Bosque de tierras bajas inundable por aguas negras	379 382	9,20
Manglar	91 721	2,22
Bosque inundable por aguas blancas	89 768	2,18
Nieves perpetuas	21 632	0,52
Bosque decíduo	17 398	0,42
Matorral seco	16 902	0,41
Matorral húmedo	14 353	0,35
Bosque semidecíduo	10 232	0,25
Gelidofitia	7 112	0,17
Sabana	6 023	0,15
Herbazal montano	2 879	0,07
Herbazal de tierras bajas	1 712	0,04
Subtotal área categorizada	4 122 560	21,65
Subtotal área no categorizada ^b	699 627	3,67
Subtotal áreas marinas	14 220 468	74,68
Total	19 042 655	100,00

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental.

^a Porcentajes de área categorizada.

^b Incluye al Parque Nacional Galápagos.

MAPA IV.2 ECUADOR: FORMACIONES VEGETALES DE LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS CONTINENTALES



LEYENDA
 SNAP
 SNAP_L_Vegmapfin
 CLASS_NAME

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Manglar ■ Manglillo ■ Bosque siempre verde inundable (Guandal) ■ Bosque siempre verde piemontano de la cordillera de la Costa ■ Bosque siempre verde montano bajo de la cordillera de la Costa ■ Bosque de neblina montano bajo de la cordillera de la Costa ■ Bosque siempre verde de tierras bajas de la Costa ■ Bosque siempre verde piemontano de la Costa ■ Bosque decido de tierras bajas de la Costa ■ Bosque decido piemontano de la Costa ■ Bosque semidecuido de tierras bajas de la Costa ■ Bosque semidecuido piemontano de la Costa ■ Bosque siempre verde montano bajo de los andes occidentales ■ Bosque siempre verde montano alto de los andes occidentales ■ Bosque de neblina montano de los andes occidentales ■ Bosque semidecuido montano bajo de los andes occidentales ■ Matorral seco de tierras bajas de la costa ■ Sabana arbustiva ■ Herbazal de tierras bajas ■ Matorral seco montano de los Andes del Sur ■ Matorral seco montano de los Andes del Norte y Centro ■ Matorral seco montano bajo ■ Matorral húmedo montano de los Andes del Sur | <ul style="list-style-type: none"> ■ Matorral húmedo montano de los Andes del Norte y Centro ■ Herbazal montano alto ■ Herbazal montano ■ Páramo seco ■ Páramo herbáceo ■ Páramo arbustivo de los Andes del Sur ■ Páramo de Frailejones ■ Páramo de Almohadillas ■ Gelidofitia Nieve perpetua ■ Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía ■ Bosque siempre verde montano bajo de las cordilleras amazónicas ■ Bosque siempre verde montano bajo de los Andes Orientales del Sur ■ Bosque siempre verde montano bajo de los Andes Orientales ■ Bosque siempre verde montano alto de los Andes Orientales ■ Bosque siempre verde montano de las cordilleras Amazónicas ■ Bosque siempre verde piemontano de la Amazonía ■ Bosque siempre verde montano bajo de los Andes Orientales del Norte ■ Bosque de tierras bajas de palmas y aguas negras ■ Bosque inundable de tierras bajas por aguas blancas ■ Bosque de neblina montano de los Andes Orientales ■ Matorral húmedo montano de las cordilleras amazónicas ■ Matorral húmedo montano alto de las cordilleras de la Amazonía ■ Herbazal de tierras bajas de la Amazonía |
|---|--|

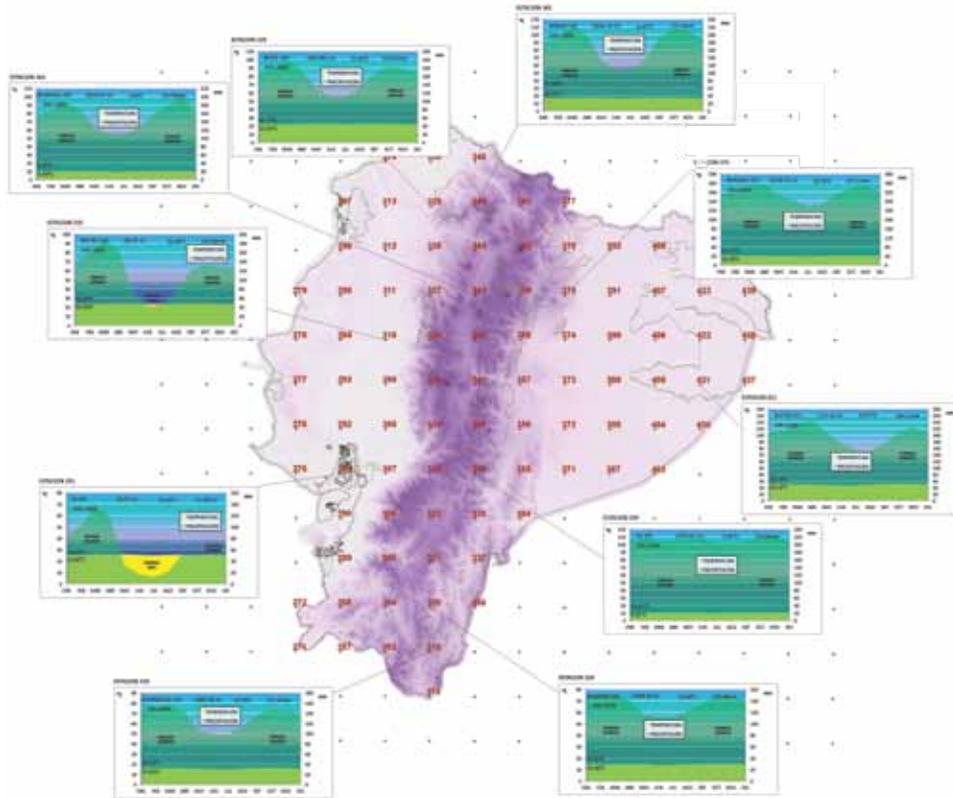
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y del sistema de clasificación vegetal realizado por Sierra y otros, 1999.

2. Escenario de impacto en las formaciones vegetales asociado al cambio climático

El escenario de impacto del cambio climático se evaluó para las formaciones vegetales antes señaladas, considerando el nivel de intervención dentro de cada una de estas áreas, y se proyectó con niveles de probabilidad el estado de conservación de: i) los ecosistemas y las formaciones vegetales, ii) el grado de afectación a la biodiversidad (proporcional a la conservación de las formaciones vegetales) y iii) el servicio ambiental de almacenamiento de carbono (también en función de la estructura y del grado de conservación de las formaciones vegetales) usando el modelo INVEST²⁷. La modelación se realiza en función de las formaciones vegetales y del uso del suelo en condiciones climáticas para los escenarios A2 y B2.

En el mapa IV.3 se muestra la estructura climática que determina la vegetación existente en las áreas naturales protegidas para el escenario base (1991-2000) mediante diagramas de clima elaborados para cada uno de los 33 nodos analizados. En el mapa se presentan solamente 10 ejemplos.

MAPA IV.3
ECUADOR: ESTRUCTURA CLIMÁTICA DE LA VEGETACIÓN



LEYENDA

- Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP)
- Nodo climático

Fuente: Elaboración propia.

²⁷ Modelo que utiliza patrones de uso del suelo y cobertura vegetal (escala 1:500.000) para cuantificar y mapear la conservación de la biodiversidad y los valores económicos de bienes y servicios ambientales (Nelson y otros, 2009). Se utilizaron modelos de la conservación de la biodiversidad y el servicio ambiental de almacenamiento de carbono a una resolución de datos de 1 km x 1 km.

En el cuadro IV.14 se muestran los 33 nodos que se determinaron para este estudio y que cubren todas las formaciones vegetales identificadas en las áreas protegidas del Ecuador para las condiciones climáticas actuales (escenario base).

CUADRO IV.14
ECUADOR: NODOS IDENTIFICADOS A PARTIR DE LAS FORMACIONES VEGETALES Y SUS SIGLAS

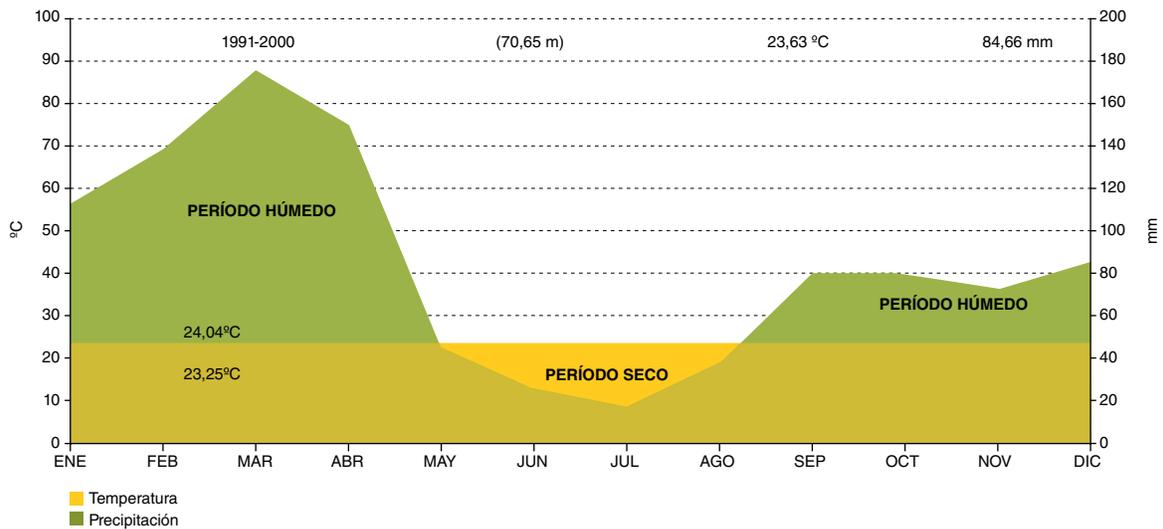
Nodo	Formación vegetal	Sigla
326	Bosque de neblina montano de los Andes occidentales	BNMAO
327	Bosque de neblina montano de los Andes occidentales	BNMAO
345	Bosque de neblina montano de los Andes occidentales	BNMAO
320	Bosque de neblina montano de los Andes orientales	BNMAOR
423	Bosque de tierras bajas de palmas y aguas negras	BTBPAN
438	Bosque de tierras bajas de palmas y aguas negras	BTBPAN
439	Bosque de tierras bajas de palmas y aguas negras	BTBPAN
407	Bosque de tierras bajas inundable por aguas blancas	BITBAB
297	Bosque semidecíduo de tierras bajas de la Costa	BSDTBC
405	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía	BSVTBA
408	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía	BSVTBA
421	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía	BSVTBA
422	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía	BSVTBA
424	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía	BSVTBA
310	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Costa	BSVTBC
311	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Costa	BSVTBC
313	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Costa	BSVTBC
330	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Costa	BSVTBC
375	Bosque siempre verde montano bajo de las cordilleras Amazónicas	BSVMBCA
356	Bosque siempre verde piemontano de la Amazonía	BSVPA
357	Bosque siempre verde piemontano de la Amazonía	BSVPA
358	Bosque siempre verde piemontano de la Amazonía	BSVPA
376	Bosque siempre verde piemontano de la Amazonía	BSVPA
329	Bosque siempre verde piemontano de la Costa	BSVPC
343	Bosque siempre verde montano alto de los Andes occidentales	BSVMAAO
359	Bosque siempre verde montano alto de los Andes orientales	BSVMAAOR
319	Bosque siempre verde montano bajo de los Andes orientales del sur	BSVMBAORS/ BSVMBAOS
291	Manglar	M
289	Matorral seco de tierras bajas de la Costa	MSTBC
339	Páramo de almohadillas	PA
360	Páramo herbáceo	PH
325	Páramo seco	PS
342	Páramo seco	PS

Fuente: Elaboración propia.

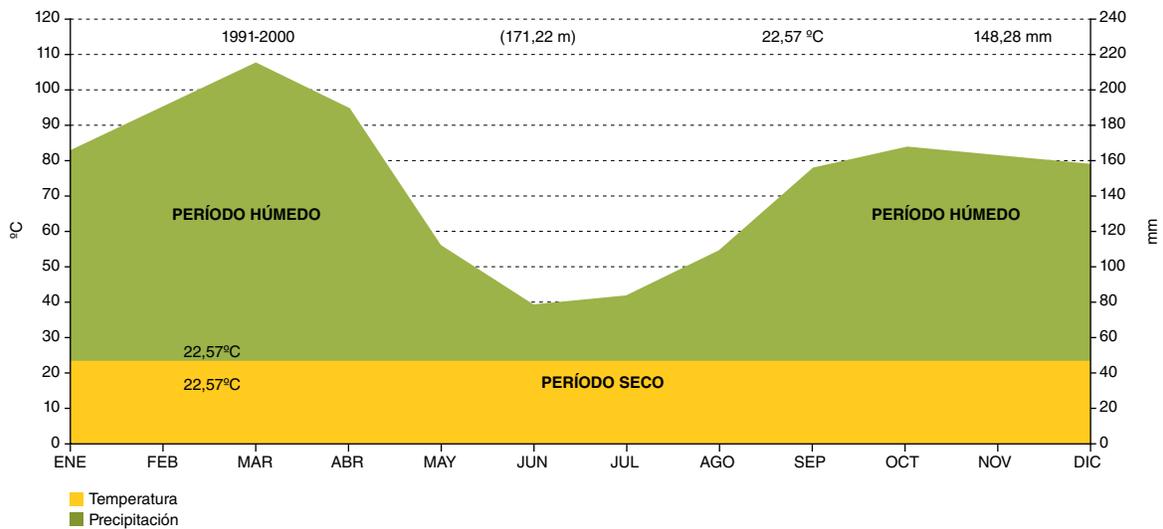
Para ejemplificar el análisis por nodos para cada formación vegetal a continuación se presentan las estructuras para las formaciones vegetales de matorral seco de tierras bajas de la Costa (MSTBC) y bosque siempre verde de tierras bajas de la Costa (BSVTBC). En el gráfico IV.5 se muestra la estructura climática para estas formaciones vegetales (en el período 1991-2000) y se señalan los períodos de humedad, la cantidad de meses secos, la temperatura y los niveles de pluviosidad, cuatro variables que determinan las características de estos ecosistemas.

GRÁFICO IV.5
ECUADOR: DIAGRAMA DE CLIMA, ESCENARIO BASE (1991-2000)
DE 2 DE LOS 33 NODOS SELECCIONADOS

A. Matorral seco de tierras bajas de la Costa (MSTBC-Nodo 289)



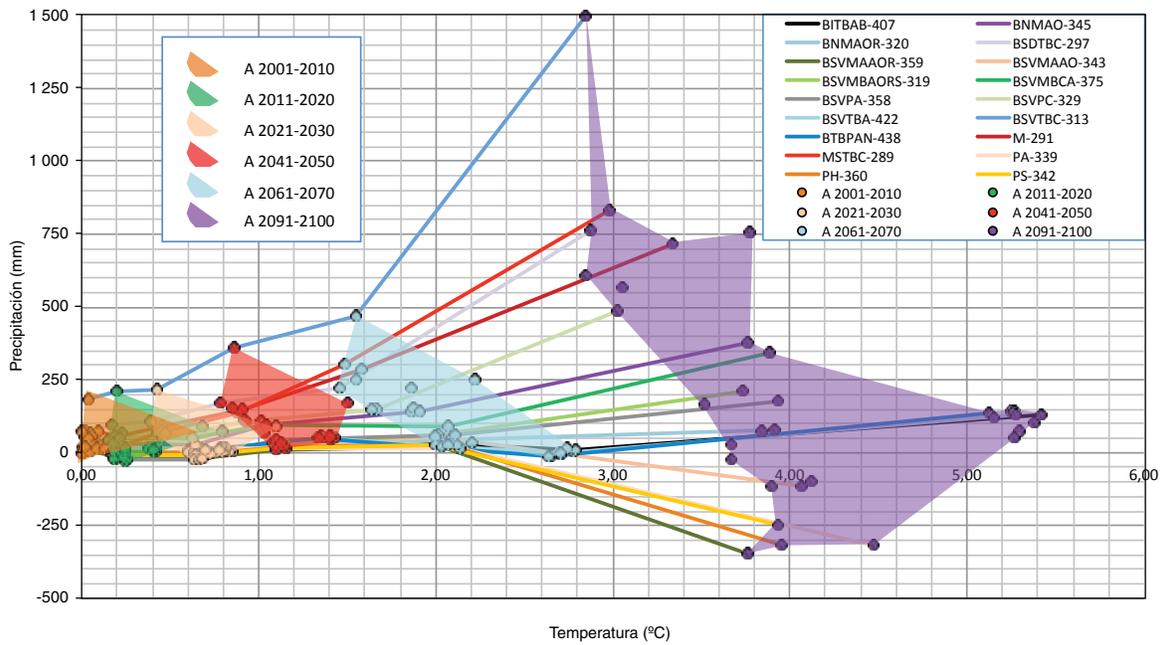
B. Bosque siempre verde de tierras bajas de la Costa (BSVTBC-Nodo 311)



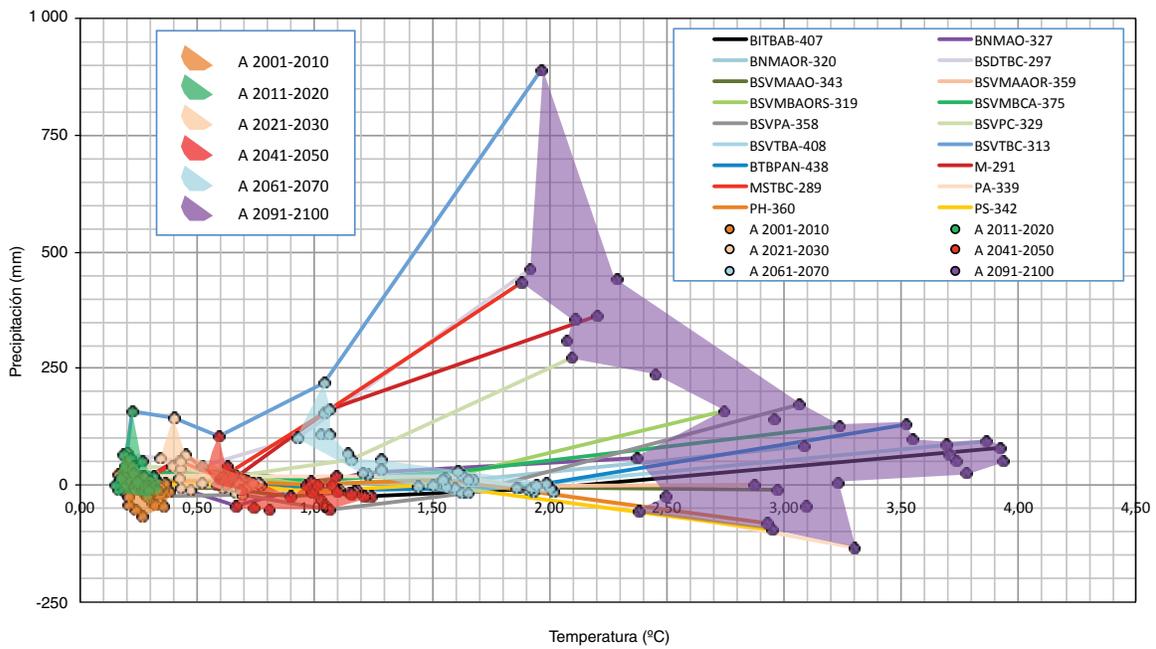
Fuente: Elaboración propia, sobre la base del modelo PRECIS.

GRÁFICO IV.6
ECUADOR: VARIACIÓN DE TEMPERATURA Y LA PRECIPITACIÓN PARA LAS FORMACIONES VEGETALES, ESCENARIOS A2 Y B2
 (En °C y mm)

A. Escenario A2



B. Escenario B2



Fuente: Elaboración propia, sobre la base del modelo PRECIS.

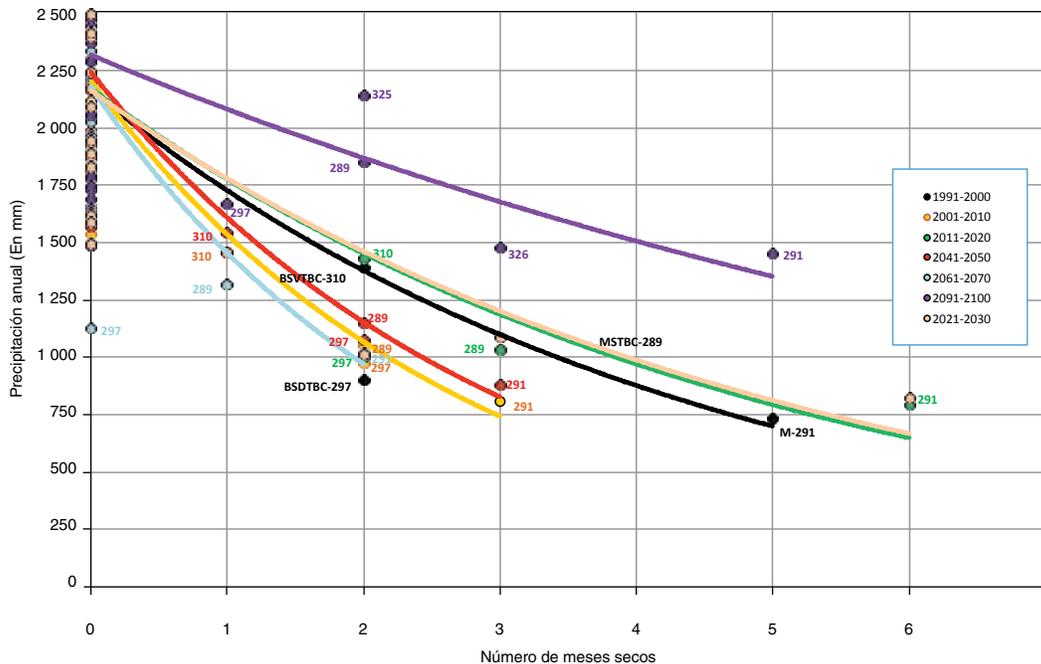
En términos generales, el impacto del cambio climático ocasionaría variaciones en los regímenes del clima, lo que determinaría nuevas estructuras de formaciones vegetales. Las proyecciones del modelo PRECIS para el escenario A2 sugieren que la temperatura anual registrada en las diferentes formaciones vegetales aumentaría, en promedio, 1,4°C, con un mínimo de 0,1°C y un máximo de 4,1°C en el total de nodos analizados hasta 2100. En este escenario, la precipitación anual se incrementaría, en promedio, 78,8 mm/año, con una variación de entre 21,9 mm/año y 215,7 mm/año. A fines de siglo, la formación vegetal BSVTBC registraría aumentos de la precipitación de aproximadamente 1.500 mm/año y un incremento de casi 3°C en la temperatura (véase el gráfico IV.6a). Por otra parte, las proyecciones del escenario B2 (véase el gráfico IV.6b) muestran que la temperatura anual aumentaría, en promedio, 1,08°C, con un rango probable de ocurrencia de entre 0,26°C y 1,51°C. Bajo este escenario, en la formación vegetal BSVTBC, el incremento de la precipitación superaría los 800 mm/año y la temperatura aumentaría casi 2°C en 2100.

Además, como se aprecia en el gráfico IV.7a, en el escenario A2, los períodos con mayor número de meses secos serían 2011-2020 y 2021-2030 (con aproximadamente seis meses secos), y 2091-2100 (con un máximo de cinco meses secos al año).

En resumen, los ecosistemas presentan un marcado nivel de alteración ante los cambios de temperatura y precipitación a partir de incrementos mayores a los 2°C en temperatura y los 500 mm/año en precipitación, los que se registrarían desde la década de 2061-2070.

GRÁFICO IV.7
ECUADOR: ALTERACIONES EN LOS REGÍMENES CLIMÁTICOS
(NÚMERO DE MESES SECOS), ESCENARIOS A2 Y B2

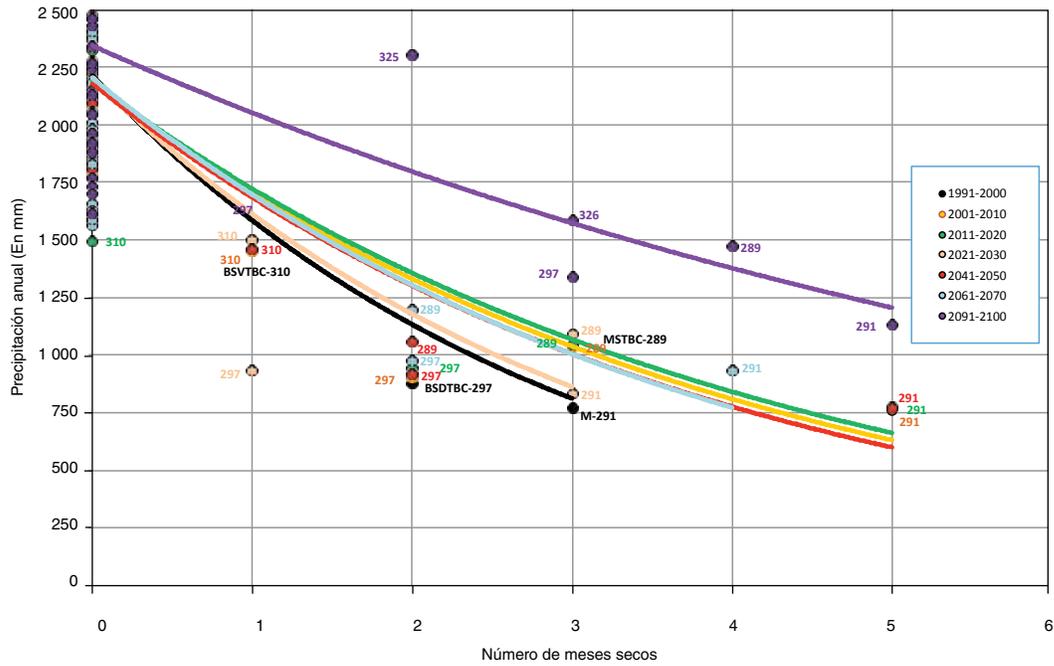
A. Escenario A2



(Continúa)

Gráfico IV.7 (conclusión)

B. Escenario B2

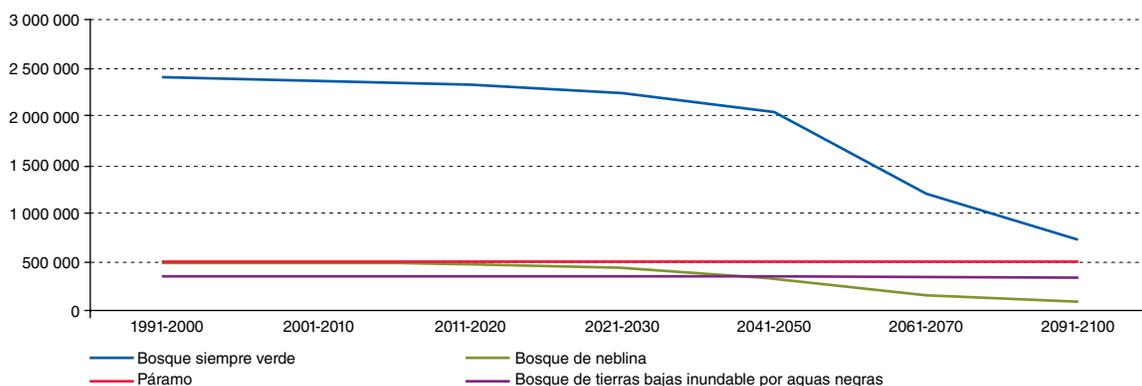


Fuente: Elaboración propia, sobre la base del modelo PRECIS.

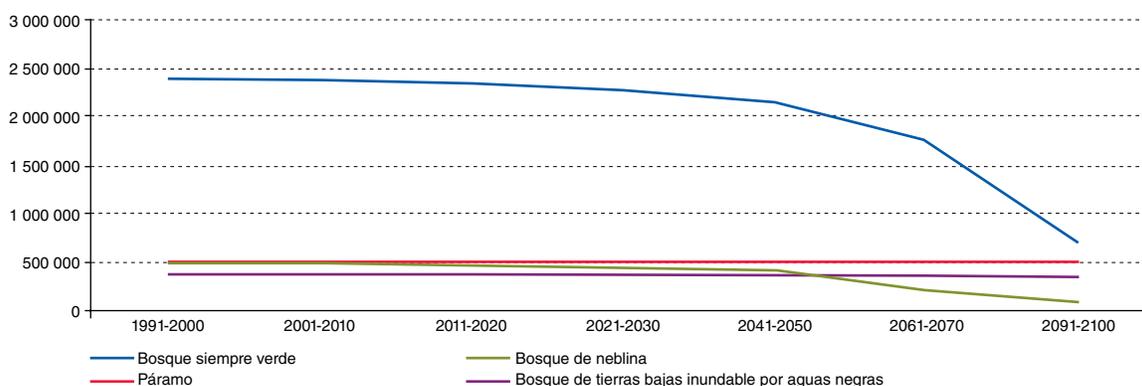
Estas alteraciones en los regímenes climáticos ocasionarían cambios en los ecosistemas, como se ilustran en el gráfico IV.8. Las superficies de las formaciones vegetales se mantendrían estables hasta la década de 2030. Sin embargo, para el período 2091-2100 se espera que, tanto en el escenario A2 como en el escenario B2, el cambio climático afecte principalmente al bosque de neblina, que presentaría una reducción de más del 80% de su área en ambos escenarios. La superficie cubierta por el bosque siempre verde disminuiría en torno al 70% en ambos escenarios, mientras que los bosques de tierras bajas y los páramos no presentan disminuciones significativas en ninguno de los escenarios para ese mismo período.

GRÁFICO IV.8
ECUADOR: ÁREAS DE VEGETACIÓN AFECTADAS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO,
ESCENARIOS A2 Y B2, 1991-2100
(En ha)

A. Escenario A2



B. Escenario B2



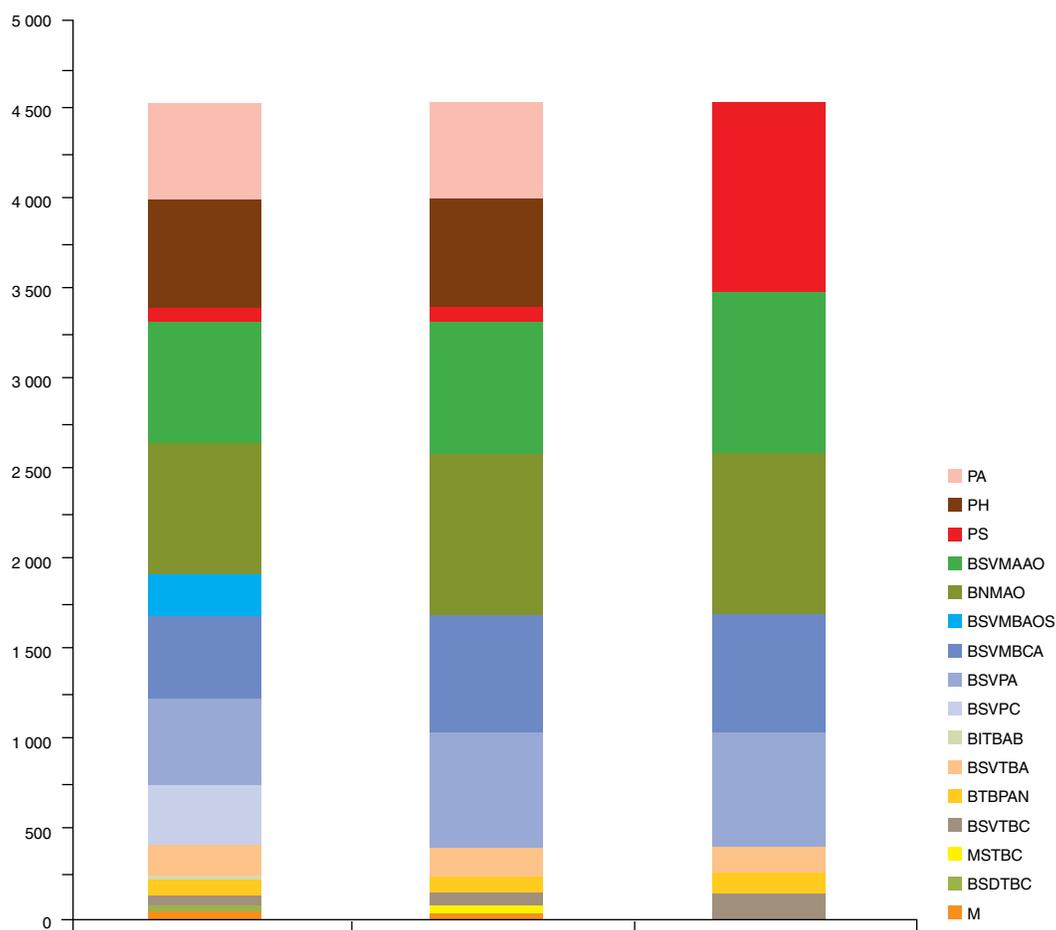
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), Sierra y otros, 1999, y Cañadas, 1982.

El cambio climático ocasionaría que los hábitats ascendieran o descendieran a otros pisos altitudinales. Como se aprecia en el gráfico IV.9, los páramos seguirían ocupando las mismas alturas. Sin embargo, en ambos escenarios para 2100, los páramos herbáceos (PH) y los páramos de almohadillas (PA) serían reemplazados por el páramo seco (PS). Esta transición implicaría pasar de áreas cubiertas de hierbas y pequeños arbustos a áreas con una vegetación xerofítica, es decir, de pocas hierbas y arbustos combinados con parches de arena.

La formación de bosque siempre verde montano alto de los Andes occidentales (BSVMAAO) se mantendría en los niveles altitudinales actuales. El bosque de neblina montano de los Andes occidentales (BNMAO) descendería y desplazaría a la formación de bosque siempre verde montano bajo de los Andes orientales del sur (BSVMAOS) en ambos escenarios, pues pasaría a ocupar los mismos pisos altitudinales que ocupa en otras cordilleras al desplazarse entre 200 metros y 300 metros más abajo. No obstante, el bosque de neblina montano y el bosque siempre verde montano alto presentan características similares asociadas con una alta diversidad de individuos y especies epífitas (musgos, helechos, orquídeas y bromelias) (Sierra y otros, 1999).

En el escenario A2, el bosque siempre verde piemontano de la Amazonía (BSVPA) sustituye al bosque inundable de tierras bajas por aguas blancas (BITBAB), al matorral seco de tierras bajas de la Costa (MSTBC), al bosque semidecíduo de tierras bajas de la Costa (BSDTBC) y al manglar (M). En el escenario B2, el bosque siempre verde piemontano de la Amazonía (BSVPA) sería reemplazado por el bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía (BSVTBA) y el mayor número de meses secos en este escenario causaría que el MSTBC ocupe las áreas del BSDTBC.

GRÁFICO IV.9
ECUADOR: ALTERACIONES EN LAS SUPERFICIES DE LAS FORMACIONES VEGETALES, ESCENARIO A2
(En metros sobre el nivel del mar)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), Sierra y otros, 1999, y Cañadas, 1982.

Nota: PA = Páramo de almohadillas, PH = Páramo herbáceo, PS = Páramo seco, BSVMAAO = Bosque siempre verde montano alto de los Andes occidentales, BNMAO = bosque de neblina montano de los Andes occidentales, BSVMAOS = Bosque siempre verde montano bajo de los Andes orientales del sur, BSVMBCA = Bosque siempre verde montano bajo de las cordilleras Amazónicas, BSVPA = Bosque siempre verde piemontano de la Amazonía, BSVPC = Bosque siempre verde piemontano de la Costa, BITBAB = Bosque inundable de tierras bajas por aguas blancas, BSVTBA = Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía, BTBPAN = Bosque de tierras bajas de palmas y aguas negras, BSVTBC = Bosque siempre verde de tierras bajas de la Costa, MSTBC = Matorral seco de tierras bajas de la Costa, BSDTBC = Bosque semidecíduo de tierras bajas de la Costa, M = Manglar.

En resumen, el escenario A2 sería el de mayor vulnerabilidad, debido a que las 16 formaciones vegetales registradas en el período 1991-2000 se reducirían a 12 en el período 2041-2050 y a 8 en el período 2091-2100 (véase el gráfico IV.9). En el escenario B2, el número de formaciones vegetales disminuiría a 13 para el período 2041-2050 y a 8 para el período 2091-2100.

3. Impacto del cambio climático en las especies

La pérdida de especies de plantas por la alteración o el reemplazo de formaciones vegetales ocasionaría la extinción de especies de animales por la falta de estructuras de ecosistemas que impedirían la segregación de hábitats propios (caracterizados por la disponibilidad de recursos para alimentación, reposo, anidación, asentamiento y refugio) para las diferentes especies de animales.

Los animales generalistas posiblemente sobrevivan por su adaptación previa o actual a los efectos del cambio climático mediante la migración, pero es probable que los animales especialistas desaparezcan por su inhabilidad para adaptarse a diferentes recursos y condiciones.

El número de especies conocidas en las áreas protegidas naturales ronda las 48.000 (véase el cuadro IV.15). De acuerdo con la posible fracción de extinción de especies proporcional a su distribución en el área de su hábitat perdido, el cambio climático ocasionaría la pérdida de alrededor de 17.000 y 18.000 especies de flora y fauna en las áreas naturales protegidas hasta 2100 para los escenarios de emisiones A2 y B2, respectivamente.

CUADRO IV.15
ECUADOR: PERMANENCIA DE ESPECIES POR CATEGORÍA VEGETAL,
ESCENARIOS A2 Y B2

A. Escenario A2

Formación vegetal	Superficie (En ha)	Número de especies (En valores por década)				
		2020	2030	2050	2070	2100
Bosque siempre verde	2 437 364	30 384	29 758	28 382	21 915	17 116
Bosque de neblina	525 646	6 086	5 881	5 243	3 492	2 570
Páramo	500 435	6 477	6 477	6 472	6 427	6 403
Bosque de tierras bajas inundable por aguas negras	379 381	4 804	4 804	4 804	4 669	4 604
Total	3 842 826	47 751	46 920	44 901	36 503	30 693

(Continúa)

Cuadro IV.15 (conclusión)

B. Escenario B2

Formación vegetal	Superficie (En ha)	Número de especies (En valores por década)				
		2020	2030	2050	2070	2100
Bosque siempre verde	2 437 364	30 383	29 920	29 096	26 417	16 560
Bosque de neblina	525 646	6 062	5 953	5 731	4 192	2 655
Páramo	500 435	6 481	6 479	6 475	6 470	6 450
Bosque de tierras bajas inundable por aguas negras	379 381	4 807	4 807	4 806	4 767	4 608
Total	3 842 826	47 733	47 159	46 108	41 846	30 273

Fuente: Elaboración propia.

En otros estudios se revela que a fines de siglo, los nichos de plantas vasculares se reducirían en un 36% en el escenario A2 y los de aves disminuirían un 27%, mientras que en el escenario B2 estas reducciones serían menores. También en el escenario A2, hacia fines de siglo y bajo condiciones de migración para adaptación, estarían en riesgo de extinción 60 especies de plantas y 46 especies de aves (Cuesta-Camacho, 2008). Por otra parte, el 43% de las plantas angiospermas de la Amazonía no serían viables a 2095 por alteraciones drásticas en su distribución (Miles y otros, 2004).

Otros efectos relacionados con la extinción de especies y el cambio climático en el trópico están dados por la propagación de enfermedades fúngicas que contribuyen a la disminución de especies de anfibios (Mendelson y otros, 2006).

En este estudio no se cuantificarán económicamente las pérdidas por especie debido a la alta incertidumbre asociada a las metodologías de valoración²⁸. Sin embargo, un costo de referencia de las pérdidas por especie es el estimado por Vogel (1994 y 1995), que indicó que el valor de la megabiodiversidad del Ecuador era de 8.737.500 dólares por especie²⁹.

4. Pérdida de carbono almacenado

Las grandes variaciones en los niveles de precipitación podrían ocasionar que los ecosistemas tropicales se convirtieran en sumideros o fuentes de CO₂ (Schaphoff y otros, 2006). Sin embargo, los cambios de temperatura en los bosques húmedos tropicales siempre verdes alterarían su estructura manteniendo el nivel total de carbono almacenado, al transformarse de bosques con alto contenido de carbono en la hojarasca en sitios frescos en bosques con carbono almacenado principalmente en la vegetación en sitios más cálidos (Raich y otros, 2006). En esta sección se evalúa la capacidad de las formaciones vegetales de las áreas naturales protegidas para almacenar carbono bajo el impacto del cambio climático.

Los valores utilizados para la pérdida de carbono anual, por formación vegetal, a causa de cambios en la estructura y distribución de las formaciones vegetales se presentan en el cuadro IV.16. Como se puede observar, los parámetros de almacenamiento de carbono a nivel del suelo son mayores para el bosque siempre verde (141 Mg/ha) que para el bosque de neblina (68 Mg/ha) y para el páramo (20 Mg/ha). En el mapa IV.4 se puede ver una representación gráfica.

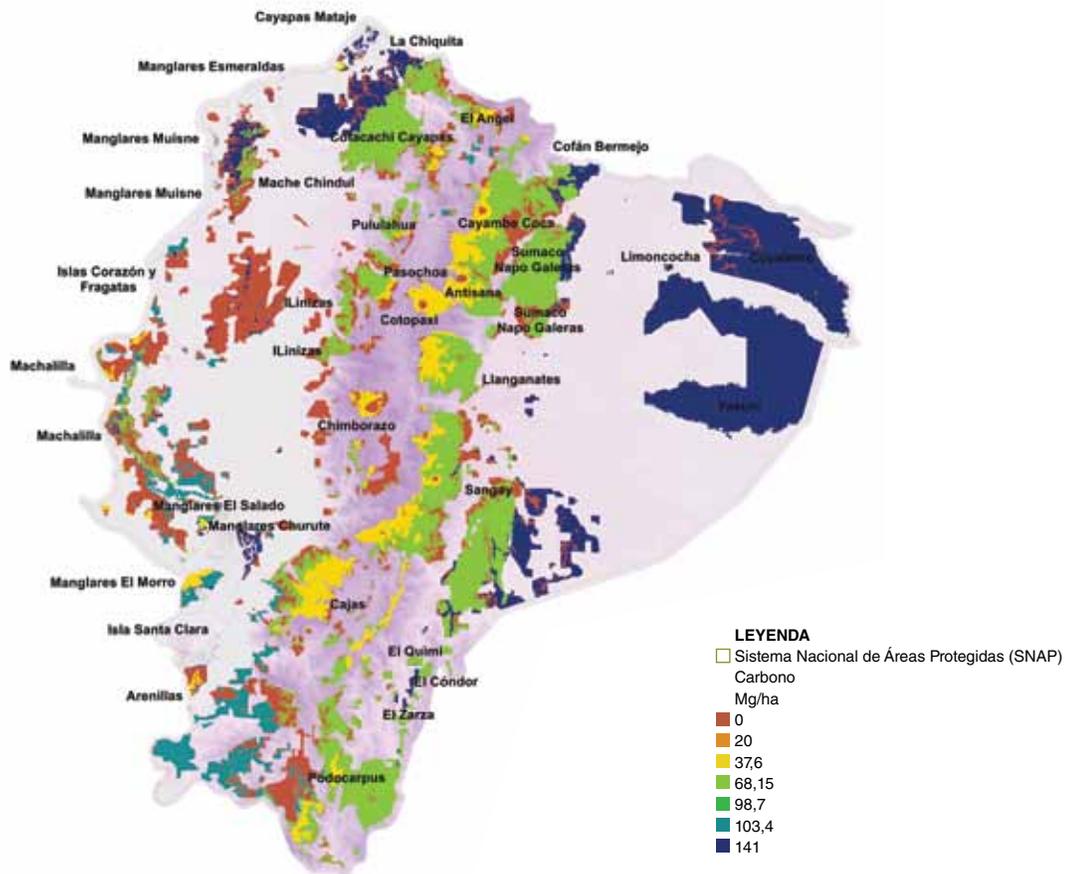
²⁸ Existen metodologías que permiten analizar el valor económico de la pérdida de biodiversidad basado en la valoración de ecosistemas (Costanza, R. y C. Folke, 1997; Costanza, R. y otros, 1997; y Voguel, 1994 y 1995).

²⁹ El precio por especie se estableció de acuerdo con las regalías que se pueden obtener por el uso de información genética, según la tasa de descubrimiento de bioactividad por especie y su relación con el conocimiento indígena.

La valoración económica de la pérdida del carbono almacenado en el sistema nacional de áreas protegidas se realizó considerando:

- i) Los cambios en la distribución de las formaciones vegetales registrados en el gráfico IV.9,
 - ii) Los parámetros de capacidad de captura específicos de cada formación y
 - iii) El precio actual en el cuasimercado de carbono de 30 dólares por tonelada de $\text{CO}_2/\text{ha}^{30}$.
- Los resultados de esta valoración, para ambos escenarios, se muestran en el cuadro IV.17.

MAPA IV.4
ECUADOR: CONTENIDO DE CARBONO ALMACENADO
EN LA BIOMASA DE LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS



Fuente: Elaboración propia.

³⁰ El cálculo económico toma en consideración el análisis probabilístico de ocurrencia, por lo que los valores próximos al año 2000 tienen mayor probabilidad de ocurrencia que los de fin de siglo, lo que incide en los valores medios anuales de cada década.

CUADRO IV.16
ECUADOR: PÉRDIDA DEL ALMACENAMIENTO DE LA BIOMASA
POR CATEGORÍA VEGETAL, ESCENARIOS A2 Y B2

Formación vegetal	Parámetro de almacenamiento de la biomasa sobre el nivel del suelo		Costo unitario
	(En Mg CO ₂ /ha)	(En CO ₂ /ha) ^a	(En dólares/CO ₂ t/ha)
Bosque siempre verde	141	517	30
Páramo	20	73	30
Bosque de neblina	68	249	30
Bosque de tierras bajas inundable por aguas negras	141	517	30

Fuente: Elaboración propia.

^a 44 CO₂=12 gC.

CUADRO IV.17
**ECUADOR: PÉRDIDA ECONÓMICA POR EMISIONES DE CO₂ ASOCIADO
 A CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DE FORMACIONES VEGETALES**

A. Escenario A2

Formación vegetal	Superficie 2000 (En ha)	Carbono almacenado por período (En t)					Pérdida acumulada por emisiones de CO ₂ (En millones de dólares)						
		2010	2020	2030	2050	2070	2100	2010	2020	2030	2050	2100	
Bosque siempre verde	2 437 364	247 524 832	244 702 293	234 717 473	213 516 936	127 602 755	77 654 051	9,1	18,2	65,0	119,1	255,4	461,7
Páramo	525 646	10 094 345	10 080 186	10 079 908	10 062 892	9 925 199	9 850 772	2,0	4,0	14,0	25,7	55,1	99,6
Bosque de neblina	500 435	32 932 469	31 638 661	29 549 235	23 484 047	10 415 504	5 644 137	1,9	3,7	13,3	24,4	52,4	94,8
Bosque de tierras bajas inundable por aguas negras	379 381	52 733 709	52 726 092	52 739 417	52 737 901	49 807 193	48 432 787	1,4	2,8	10,1	18,5	39,8	71,9
Total	3 842 826	343 285 355	339 147 232	327 086 033	299 801 776	197 750 651	141 581 747	14,4	28,7	102,4	187,7	402,7	728

B. Escenario B2

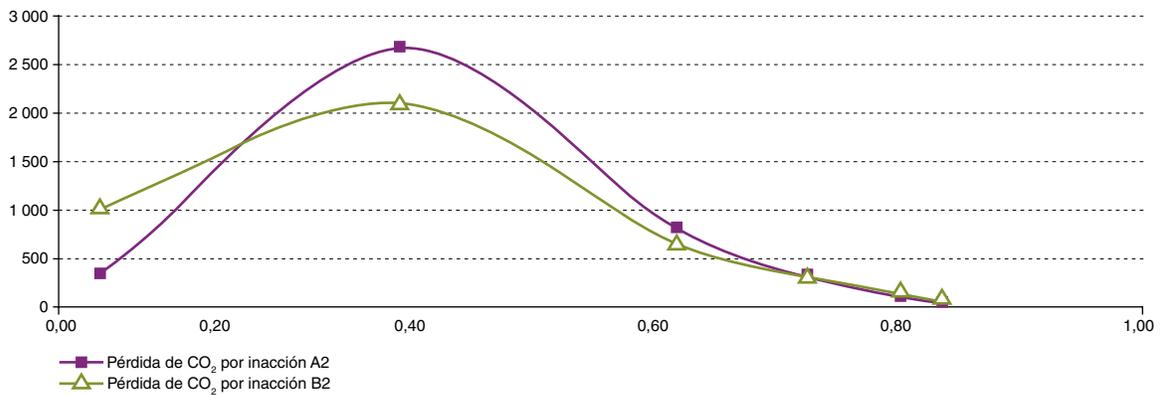
Formación vegetal	Superficie 2000 (En ha)	Carbono almacenado por período (En t)					Pérdida acumulada por emisiones de CO ₂ (En millones de dólares)						
		2010	2020	2030	2050	2070	2100	2010	2020	2030	2050	2100	
Bosque siempre verde	2 437 364	247 425 326	244 627 934	237 234 476	224 347 779	184 938 103	72 676 383	22,4	21,9	44,6	97,0	226,3	459,4
Páramo	525 646	10 090 843	10 083 243	10 076 110	10 063 040	10 047 380	9 987 447	4,8	4,7	9,6	20,9	48,8	99,6
Bosque de neblina	500 435	32 925 992	31 360 503	30 235 700	28 028 986	14 994 658	6 015 996	4,6	4,5	9,2	19,9	46,5	94,8
Bosque de tierras bajas inundable por aguas negras	379 381	52 732 631	52 741 351	52 737 193	52 726 792	51 857 903	48 466 147	3,5	3,4	6,9	15,1	35,2	71,9
Total	3 842 826	343 174 792	338 813 031	330 283 479	315 166 597	261 838 044	137 145 973	35,3	34,5	70,3	152,9	356,8	725,7

Fuente: Elaboración propia.

En ambos escenarios, las pérdidas de carbono almacenado se irían incrementando hacia finales de siglo, situándose en torno a un 60% en 2100. Estas cifras fueron ajustadas posteriormente por medio de la probabilidad de excedencia, que considera que los valores próximos al año 2000 tienen mayor probabilidad de ocurrencia que los de fin de siglo.

En el gráfico IV.10 se presenta la relación entre las pérdidas económicas y la probabilidad de excedencia por emisiones de CO₂ debido a la alteración de las formaciones vegetales a causa del cambio climático. A un precio actual de cuasimercado de 30 dólares por tonelada de CO₂, las pérdidas anuales llegarían a un máximo de alrededor de 2.664 millones de dólares para el escenario A2 y de 2.105 millones de dólares para el escenario B2.

GRÁFICO IV.10
ECUADOR: PÉRDIDA ECONÓMICA ANUAL POR EMISIONES DE CO₂
Y PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA, 2020-2100
(En millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia.

Las pérdidas asociadas al menor servicio de almacenamiento de carbono se incrementarán en el período 2020-2100, hasta llegar a los 325 millones de dólares en 2100 para el escenario A2. El escenario B2 presentaría pérdidas menores a lo largo de todo el período.

Es importante destacar que la alteración y transformación de los ecosistemas también afectaría a las comunidades indígenas que habitan en las áreas naturales protegidas, debido a la dependencia de los ecosistemas que las rodean para su supervivencia. Las áreas donde los efectos del cambio climático serían mayores en los escenarios A2 y B2 a 2100 son las habitadas por las comunidades Ai Cofán, Siona y Secoya en la Reserva Faunística Cuyabeno, Waorani en el Parque Nacional Yasuní, Kichua en el Parque Nacional Sumaco, Kichwa Amazónico en la Reserva Ecológica Cofán Bermejo y Chachi en la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas. Si bien en este estudio no se analizó el impacto socioeconómico que estas alteraciones tendrían sobre estas comunidades, es importante destacar que este impacto debe ser considerado para las políticas de adaptación.

D. Recursos marinos y costeros

Los hábitats marinos y costeros en el Ecuador se caracterizan por su origen continental, al generar costas con una plataforma amplia y humedales a lo largo de toda la línea costera. Estas condiciones físicas son producto de los aportes sedimentarios de los ríos, que originan una constante modificación de los aportes oceánicos y están dominados, especialmente en la zona intermareal y submareal, por zonas de depósitos sedimentarios limosos y arcillosos de baja estabilidad³¹. Los sustratos marinos en las costas ecuatorianas son básicamente cuatro: arenoso, limoso, arcilloso y rocoso (el sustrato limoso es el de mayor participación en el área marino-costera ecuatoriana)³². Sin embargo, existe una gran variedad de hábitats resultantes de la interacción de dichos sustratos y muchas especies se han adaptado a estos ecosistemas y han creado un vínculo muy cercano entre esos sustratos y sus diferentes fases de vida³³.

El primer paso en este estudio fue la delimitación e identificación de las zonas afectadas mediante la superposición y comparación de la información climática del año base en la zona costera y las variaciones de la temperatura y la pluviosidad para décadas futuras a nivel nacional y provincial³⁴.

La zonificación también permitió identificar las zonas agrícolas susceptibles de inundación por aumento de los caudales. Sin embargo, por falta de información no se pudo determinar el costo de este impacto.

En combinación con estos efectos, se identificó la posible incidencia de los escenarios de elevación del nivel medio del mar en la pérdida de los distintos sustratos y sus consecuencias para la productividad económica en tres de las principales actividades de la zona costera:

- i) Pesca de recolección (especies demersales),
- ii) Cultivo de camarón y
- iii) Turismo. Sobre la base de esta cuantificación de efectos, se determinó el posible impacto en la reserva del recurso perdido por la modificación (reducción) del hábitat y el sustrato, valorado a precios de mercado.

³¹ Se conoce a la zona intermareal como el área que queda, alternativamente, cubierta y descubierta por el agua con el subir y bajar de la marea. La zona supramareal es el área de la costa donde, en presencia de los niveles más altos de las mareas, no llega el agua del mar. La zona submareal es el terreno donde se localizan las aguas cercanas a la línea más baja de la marea.

³² El sustrato limoso se encuentra localizado en la zona de menor protección en la dirección de las corrientes marinas, lo que lo convierte en un área de alta productividad por su alto contenido orgánico y sus aportes de nutrientes, y hace que sea ideal para albergar especies móviles.

³³ Esta relación entre el sustrato y la presencia o supervivencia de especies acuáticas se ha documentado para muchos tipos de hábitats en diferentes estudios (Blaber y Milton, 1990; Gray, 1993; Robblee y Zieman, 1984; Stoner, 1983; y Tzeng y Wang, 1992).

³⁴ Los datos del nivel del mar y la nubosidad se incluyeron sobre la base de la revisión bibliográfica para modelar posibles escenarios de pérdida de ecosistemas costeros, como manglares y playas.

1. Zonas afectadas por la incidencia de la temperatura y la pluviosidad en el ecosistema marino y costero³⁵

La zonificación cartográfica permitió identificar los hábitats que podrían verse afectados por la incidencia de las principales alteraciones climáticas (la temperatura, la pluviosidad y la nubosidad). Estos se localizaron en las provincias de Esmeralda, Manabí, Santa Elena, Guayas y El Oro. Para estas zonas, se analizaron las proyecciones futuras de las variables climáticas para el escenario A2 mediante el modelo PRECIS, las cuales indicaron que para fines de siglo la temperatura media en estas zonas aumentaría hasta 3°C con respecto a las temperaturas del año 2000, como se muestra en el mapa IV.5. Este aumento sería similar al que se presenta en un año con el fenómeno de El Niño, por lo que sería muy probable que se registraran sobre los ecosistemas costeros efectos similares a los encontrados con este evento. Por ello, es probable que el aumento de la temperatura provoque el desplazamiento de especies intermareales hacia zonas con menor temperatura, en particular en las provincias de Guayas y Manabí (véase el cuadro IV.18).

CUADRO IV.18
ECUADOR: VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA
EN LA ZONA COSTERA, ESCENARIO A2
(En °C)

Zona costera	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090
Esmeraldas	0,48	0,60	0,87	0,99	1,57	1,57	2,18	2,80
Manabí	0,54	0,66	0,97	1,10	1,72	1,72	2,45	3,08
Golfo de Río Guayas	0,58	0,70	1,05	1,21	1,86	1,86	2,68	3,28

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del modelo PRECIS.

El ecosistema de manglar se vería afectado por el calentamiento del sustrato limoso al aumentar la temperatura del suelo, lo que, a su vez, incrementaría los niveles de descomposición orgánica y produciría una regresión de las raíces de los mangles hacia zonas más protegidas, afectando a las especies en estos hábitats³⁶. Un impacto similar se observaría en otros ecosistemas intermareales, como los ecosistemas rocosos y las playas.

En cuanto a las variaciones de la nubosidad en el escenario A2, se destaca que el parámetro para el corto plazo es poco representativo. Sin embargo, para mediados de siglo los resultados mostrarían una fluctuación de entre el 0% y el -5% en relación con la nubosidad media actual, por lo que este aumento vendría acompañado de mayor irradiación. Esto afectaría a la temperatura de los sustratos intermareales, supramareales y submareales, e incluso llegaría a producir la muerte de especies en estos hábitats.

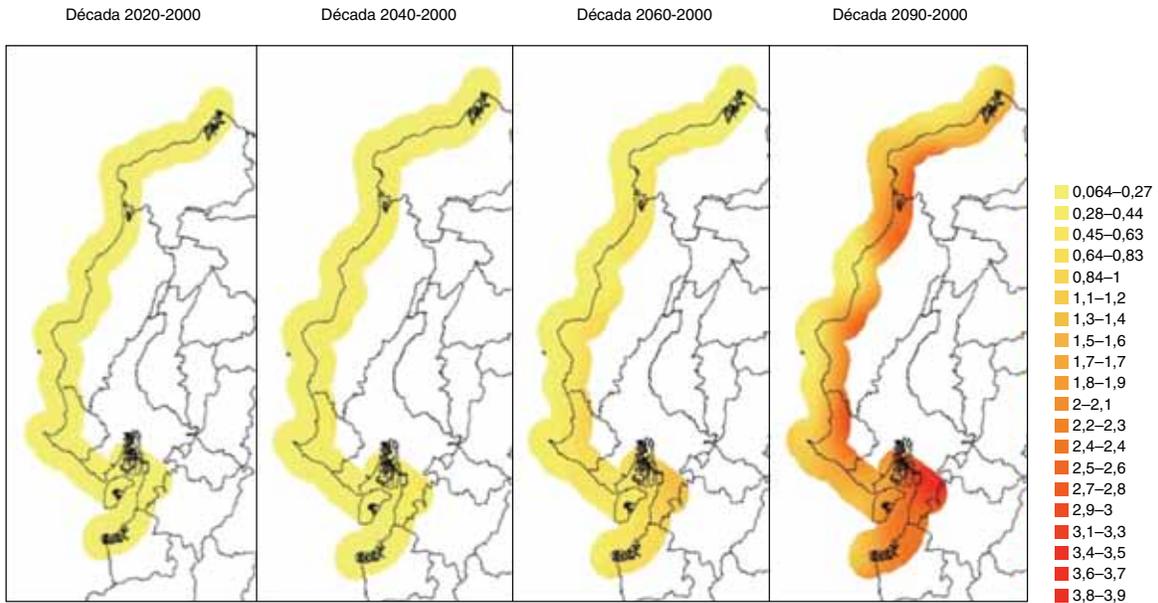
Las precipitaciones en la zona costera para el escenario A2 (véanse el mapa IV.6 y el cuadro IV.19) se podrían incrementar a partir de 2070 por sobre el 35%, con respecto al valor medio del año base³⁷. Esta variación generaría cambios en la conformación de los ecosistemas costeros y muchas especies dependientes de aguas superficiales y de la irradiación solar estarían en riesgo.

³⁵ En este acápite se hace referencia únicamente al escenario A2, ya que por razones de escala no es posible identificar diferencias sustanciales entre este y el escenario B2 con la herramienta cartográfica disponible.

³⁶ El manglar es el conjunto de hábitats con características acuáticas y terrestres, conformado por bosques hidrófilos leñosos y cientos de especies de fauna, además de micronutrientes y componentes abióticos, suelo y agua circundantes. Este tipo de ecosistema es muy importante desde la perspectiva ecológica y para la economía local debido a la gran cantidad de materia orgánica que atrapa, lo que facilita la supervivencia de diversas especies.

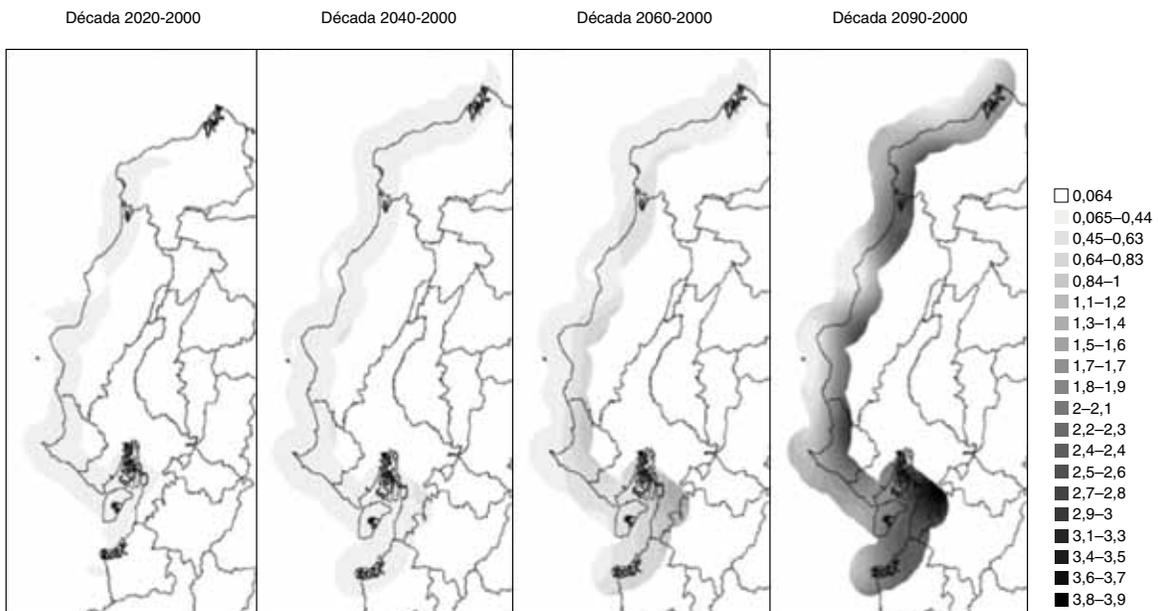
³⁷ El año base de análisis es el promedio para el período 1961-2009.

MAPA IV.5
ECUADOR: VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA EN LA LÍNEA DE COSTA,
ESCENARIO A2
(En °C)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del modelo PRECIS.

MAPA IV.6
ECUADOR: VARIACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES MEDIAS
EN LA ZONA COSTERA, ESCENARIO A2^a
(En mm/día)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del modelo PRECIS.

^a Para el análisis, se toma una franja sobre la línea costera de 25 km hacia el interior y 25 km hacia afuera del continente.

CUADRO IV.19
ECUADOR: VARIACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN LA ZONA COSTERA,
ESCENARIO A2
(En mm/día)

Zona costera	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090
Esmeraldas	1,57	1,41	4,93	4,90	7,46	22,57	25,92	37,81
Manabí	5,02	4,90	13,01	15,09	22,56	44,58	54,08	73,92
Golfo de Río Guayas	3,63	7,45	10,41	15,35	26,71	37,19	48,78	80,12

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del modelo PRECIS.

El aumento de las precipitaciones y, en consecuencia, de los caudales incrementaría la cantidad de agua dulce desalojada en las desembocaduras. Esto disminuiría la salinidad costera y aumentaría los aportes de sedimentos, lo que posiblemente cambiaría la estructura de los sustratos marino costeros³⁸. Este impacto es considerado de carácter temporal y los efectos también se manifiestan en períodos relativamente cortos, como en el caso de las inundaciones que provoca. Es posible que los fondos limosos y los ecosistemas de manglar en su zona supramareal no se vean afectados³⁹.

En la zona intermareal se espera que a partir de 2050 haya un aumento de caudales de hasta un 40%, incrementando la oferta hídrica en la desembocadura de los ríos, lo que generaría mayor sustrato limoso y ocasionaría la disminución de otros sistemas costeros, como los sustratos rocosos, arenosos y arcillosos, tanto a nivel intermareal como submareal.

Otro de los efectos por aumento de los caudales se apreciaría en la zona submareal al aumentar los niveles de colmatación⁴⁰. Si bien este sustrato aumentaría su área, las especies marinas asociadas sufrirían estrés debido al aumento de la turbidez de las aguas.

En el caso de los sustratos arenosos supramareales, los mayores caudales irían acompañados de un aumento en los procesos erosivos costeros en los estuarios. Aun en ausencia de cambios en el nivel del mar, el aumento de caudales producirá el reemplazo y la pérdida temporal de hasta el 40% de las superficies de playas. Este impacto podría ser notorio en el reemplazo y la pérdida temporal de superficies de playas a nivel nacional, principalmente en las provincias de El Oro y Guayas.

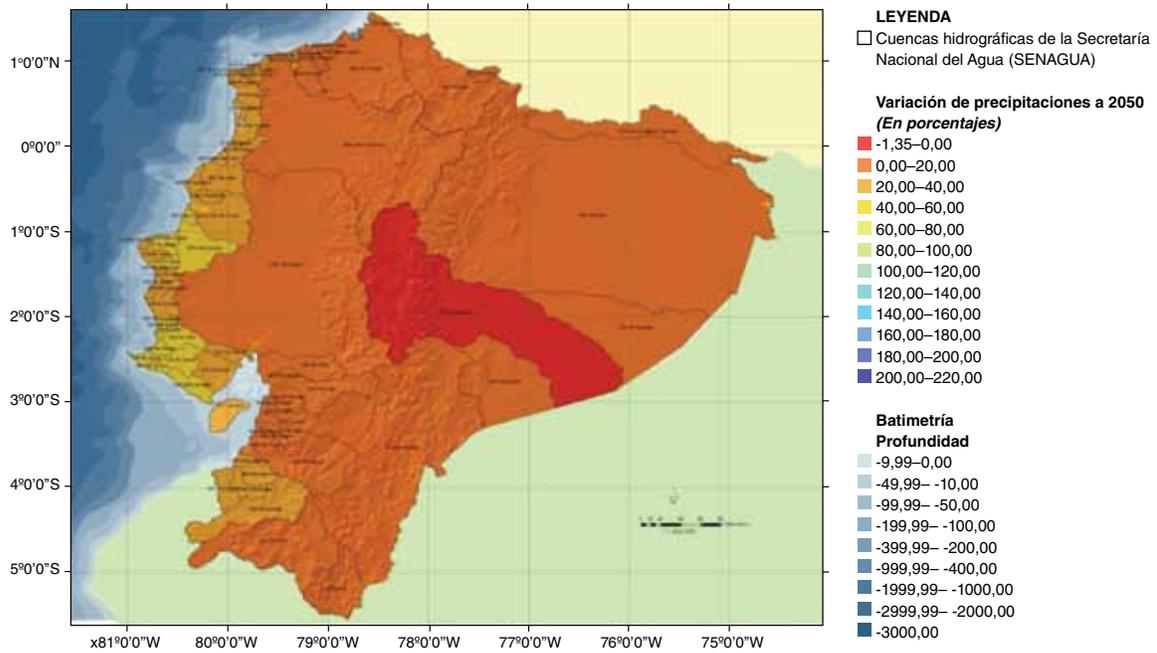
Los fondos rocosos supramareales serán los menos afectados por el aumento de los caudales. Sin embargo, es muy probable que este aumento vaya acompañado de un incremento en la energía del oleaje, lo que aumentaría los índices de erosión de este tipo de sustrato. En el caso de los fondos rocosos intermareales, la afectación será mayor en las provincias donde exista un aumento considerable de caudales (véase el mapa IV.7).

³⁸ El modelado integrado de la variación de la pluviosidad con modelos hidrodinámicos de caudales y con la integración de las isoyetas actuales permitió estimar la variación en los volúmenes actuales de aportación sedimentaria.

³⁹ El aumento de la salinidad produciría cambios en la composición de las especies (Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2008) y al aumentar la precipitación también se afectaría al manglar, ya que es probable que aumente la energía erosiva del agua.

⁴⁰ La colmatación es la sedimentación por material transportado por el río o, en el caso del estuario, material movido por el flujo y reflujo de las mareas. Este proceso lleva finalmente a la formación de bancos de arena.

MAPA IV.7
ECUADOR: PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL POR CUENCAS HIDROGRÁFICAS,
DÉCADA DE 2050, ESCENARIO A2



Fuente: Elaboración propia, a partir de cuencas hidrográficas de SENAGUA en el año 2009.

2. Cultivos agrícolas susceptibles de inundación en zona de la costa

La zonificación de la costa (véase el mapa IV.7) también permitió identificar las áreas de cultivo que probablemente se verían afectadas por el incremento de los caudales, lo que las volvería susceptibles de inundación. Como se muestra en el cuadro IV.20, alrededor de 191.000 hectáreas de cultivos presentan alta susceptibilidad a las inundaciones, en especial los cultivos de arroz (84.600 hectáreas), maíz (37.000 hectáreas), banano (3.000 hectáreas), cacao y café (13.200 hectáreas), y pastos (21.000 hectáreas).

CUADRO IV.20
ECUADOR: ZONAS AGRÍCOLAS CON ALTA SUSCEPTIBILIDAD A LA INUNDACIÓN
(En hectáreas perdidas por incremento de caudales)

Cobertura vegetal	Área
Arroz sobre pastos u otros cultivos de zonas cálidas y subcálidas	10 369
Arroz sobre pastos u otros cultivos de zonas cálidas y subcálidas	45 003
Arroz o arroz dominante sobre pastos u otros cultivos	28 945
Banano o banano dominante (plátano, banano y guineo)	3 017
Cacao o cacao dominante	149
Café y pastos	1 104
Café o café dominante	221
Café o cacao	11 815
Camaroneras	81
Caña de azúcar en bajo (para ingenios)	1 065
Formación arbórea siempre verde húmeda (vertientes exteriores de los Andes)	373
Formación arbustiva seca y cultivos (maíz, arroz y algodón)	15 209
Formación arbórea seca	834
Formación arbustiva seca poco densa	3 355
Huertos indiferenciados de zonas cálidas	6 356
Indefinido	4 488
Manglares	585
Maíz dominante (costa)	37 228
Pastos cultivados de zonas cálidas y subcálidas	5
Pastos cultivados y cultivos zonas cálidas(ciclo corto y permanente)	12 196
Pastos cultivados zonas cálidas y subcálidas/Cultivos zonas cálidas (maní y arroz)	6 018
Pastos naturales de zonas cálidas	2 188
Pastos y bosques, cultivos y arboricultura de zonas cálidas y subcálidas	823
Total	191 427

Fuente: Elaboración propia, sobre la base del mapa de cobertura vegetal y modelos hidrodinámicos de caudales con la integración de isoyetas (julio de 2009).

Si bien se han identificado las zonas agrícolas con mayor susceptibilidad a la inundación por aumento de los caudales, no fue posible determinar el costo para cada una de ellas.

3. Ecosistemas afectados por la elevación del nivel medio del mar

Además de repercutir en las variables climáticas, la potencial elevación del nivel medio del mar podría tener consecuencias en diversos sitios en el aspecto ecosistémico y socioeconómico (poblacional, turismo, pesca de demersales y actividad camaronera)⁴¹.

A nivel global, se han estimado diversos márgenes de la probable elevación del nivel del mar, que van de 1 metro a 3 metros para fines de siglo⁴². A partir de estas consideraciones, para este estudio se consideraron dos posibles escenarios de elevación del nivel medio del mar: el escenario A2 de 0,51 m y el escenario B2 de 0,43 m (sobre la base de los valores indicados por el IPCC (2007) para fines de siglo)⁴³. Para fines de este estudio, los efectos asociados a ambas elevaciones serán iguales debido a la pequeña diferencia entre ellas.

Como ya se ha indicado, las costas ecuatorianas tienen cuatro tipos de sustratos principales (véase el cuadro IV.21), que se verían afectados por la elevación del nivel medio del mar, y esto repercutiría en las actividades económicas que dependen de los servicios de estos ecosistemas, como la pesca de especies demersales (concha prieta y cangrejo), la pesca de camarón y el turismo de playa.

CUADRO IV.21
ECUADOR: TIPOS DE SUSTRATOS EN LA ZONA COSTERA, POR PROVINCIA
(En ha)

Provincias	Sustratos							Total
	Arenoso (playas)	Isla	Arcilloso	Arenoso	Rocoso	Limoso	Otros	
El Oro	18 515	24 871	2 382	173	10	39 626	...	85 577
Esmeraldas	10 760	31 076	...	913	4 596	92 917	11 624	151 886
Guayas	108 243	142 275	74	30	1 658	155 901	...	408 181
Manabí	44 369	3 913	...	1 183	1 650	27 064	...	78 179
Total	181 887	202 135	2 456	2 299	7 914	315 508	11 624	723 823
Porcentaje del total	25,13	27,93	0,34	0,32	1,09	43,59	1,61	...

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de “Cuencas Hidrográficas”, Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA, 2009), Escenarios de Variación Climática, modelo PRECIS, Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), agosto de 2008.

⁴¹ Los principales factores que contribuyen a la elevación del nivel de mar son: i) la expansión térmica de los océanos, ii) el derretimiento de los glaciales de Groenlandia y la Antártida, y iii) los cambios en el almacenamiento terrestre de agua dulce.

⁴² Dasgupta y otros (2007) consideran niveles de entre 1 metro y 3 metros de elevación para fines del presente siglo. Para los escenarios del IPCC “asumiendo los mejores valores de la sensibilidad climática y de la sensibilidad de la fusión del hielo, [...] los modelos predicen una elevación en el nivel del mar de aproximadamente 51 cm desde fines del pasado siglo hasta el 2100. La predicción correspondiente al escenario de más alta emisión combinado con una alta sensibilidad climática y de fusión del hielo dan elevaciones del nivel del mar de alrededor de 95 cm desde el presente hasta el 2100”. Por su parte, Stefan Rahmstorf, del Instituto Potsdam para la Investigación del Impacto Climático, considera que los modelos de simulación han subestimado el posible ascenso del nivel del mar y cree que este subirá un 50% más de lo estimado y alcanzará valores de 1,4 m.

⁴³ El IPCC determina niveles de elevación del nivel medio del mar de 0,51 m para el escenario A2 y de 0,43 m para el escenario B2 en 2100.

A continuación, se resumen los efectos valorados para cada una de estas actividades como consecuencia de los escenarios descritos.

a) Concha prieta y cangrejo

El impacto económico de la elevación del nivel medio del mar para el escenario A2 (0,51 m) se estimó considerando las especies con usos económicos, como las especies demersales, cuyo hábitat de manglar se vería afectado hasta en un 21% a fines de siglo⁴⁴. Por lo tanto, el estudio se centró en el comportamiento de dos especies económicas importantes: la concha prieta (*Anadara tuberculosa/Anadara similis*) y el cangrejo⁴⁵.

El stock de este tipo de productos depende directamente de la calidad y extensión del ecosistema de manglar del cual, como se ha señalado, se prevé una posible afectación permanente por los incrementos del nivel del mar al encontrarse en la zona menos protegida por la dirección de las corrientes. Estas especies están ubicadas en zonas de manglar que corresponden al sustrato limoso de fondo submareal e intermareal. Es una zona de gran representación a nivel de superficie, pero poco distribuida, concentrada principalmente en el Golfo de Guayaquil y en estuarios mayores de la provincia de Esmeraldas.

Se estimó como línea de base la oferta ambiental para la actividad de recolección por provincia, donde se registra una oferta anual de aproximadamente 219,8 millones de unidades en un área total de 147.510 hectáreas de manglar a lo largo de la costa ecuatoriana (véase el cuadro IV.22a)⁴⁶.

A nivel nacional, en el escenario A2, las pérdidas económicas por reducción de la oferta ambiental acumularían 14,8 millones de dólares durante el período 2070-2100. El mayor porcentaje de pérdida de extensión de manglar se registraría en la provincia de Guayas que llegaría a perder alrededor del 23% de su extensión. Esto generaría pérdidas económicas acumuladas para esta provincia por alrededor de 11,3 millones dólares. En el escenario B2 (elevación del nivel medio del mar de 0,43 m), los efectos serían aproximadamente iguales a los del escenario A2⁴⁷. Para el impacto en la actividad de captura de cangrejo se usó el mismo procedimiento metodológico, estimándose una posible pérdida económica acumulada de hasta 11.500 millones de dólares durante el período 2070-2100 para ambos escenarios (véase el cuadro IV.22b).

Por lo tanto, el impacto de la elevación del nivel medio del mar a fines de siglo por captura de especies demersales (concha prieta y cangrejo) ascendería a más de 26,3 millones de dólares durante el último período 2070-2100.

⁴⁴ El criterio para la selección de especies es, básicamente, la disponibilidad de información.

⁴⁵ La concha prieta es una especie que habita en sustratos fangosos, arcillosos o limo-arcillosos que reciben inundación mareal diaria.

⁴⁶ Los valores se han obtenido al extrapolar los datos del Instituto Nacional de Pesca (INP) para la provincia de El Oro y se asumió el mismo rendimiento para las otras zonas de manglar en las demás provincias. En promedio, hay 65 conchas por hectárea, a un valor medio de 8 dólares por cada ciento.

⁴⁷ El escenario B2 registra una diferencia de 0,8 cm de elevación del nivel medio del mar respecto del escenario A2, por lo que se asume que los valores del impacto son aproximadamente iguales.

CUADRO IV.22
ECUADOR: AFECTACIÓN A LA OFERTA AMBIENTAL DEL MANGLAR Y EL COSTO PARA LA PESCA
DE CONCHA PRIETA Y CANGREJO, ESCENARIOS A2 Y B2

A. Concha prieta

Provincia	Escenario base 2006			Escenario A2 y B2			Costo económico por elevación del nivel del mar				
	Extensión de manglar ^a (En ha)	Oferta ambiental anual ^b (En unidades)	Captura anual ^b (En unidades)	Beneficio económico ^c (En dólares)	Reducción de manglar-escenario A2 (-0,51 m) y escenario B2 (-0,43 m) ^d (En porcentajes)	Extensión del manglar-elevación del mar (En ha)	Oferta ambiental perdida (En unidades)	Costo en cada período/aumento del nivel del mar (En dólares)			
								2020-2030/ 0,07 m	2030-2050/ 0,2 m	2050-2070/ 0,33 m	2070-2100/ 0,51 m
Esmeraldas	18 060	31 625 625	6 008 869	480 709	19,60	3 541	6 200 140	619 863	1 239 725	1 239 725	1 859 588
Manabí	545	954 081	181 275	14 502	21,38	116	203 935	20 389	40 778	40 778	61 166
Guayas	92 430	161 858 528	30 753 120	2 460 249	23,39	21 618	37 855 701	3 784 253	7 568 505	7 568 505	11 352 758
El Oro	14 507	25 404 000	4 826 760	386 140	20,14	2 922	5 116 606	511 636	1 023 273	1 023 273	1 534 909
Límite costero	21 968				1,82	399	698 224				
Total nacional ^e	147 510	219 842 234	41 770 024	3 341 600	19,39	28 596	50 074 606	4 936 141	9 872 281	9 872 281	14 808 421

(Continúa)

Cuadro IV.22 (conclusión)

B. Cangrejo

Provincia	Escenario base 2006				Escenario A2 y B2			Costo económico por elevación del nivel del mar			
	Extensión de manglar ^a (En ha)	Oferta ambiental anual (En unidades)	Captura anual ^b (En unidades)	Beneficio económico ^c (En dólares)	Reducción de manglar-escenario A2 (-0,51 m) y escenario B2 (-0,43 m) ^d (En porcentajes)	Extensión del manglar-elevación del mar (En ha)	Oferta ambiental perdida (En unidades)	Costo en cada período/aumento del nivel del mar (En dólares)			
								2020-2030/ 0,07 m	2030-2050/ 0,2 m	2050-2070/ 0,33 m	2070-2100/ 0,51 m
Esmeraldas	18 060	3 175 883	1 020 816	478 331	19,8	3 576	628 709	458 434	916 868	916 868	1 375 301
Manabí	545	73 626	30 796	17 964	21,6	118	20 672	15 074	30 148	30 148	45 221
Guayas	92 430	3 643 500	1 171 128	683 158	23,6	21 804	3 833 619	2 795 348	5 590 695	5 590 695	8 386 043
El Oro	14 507	2 551 100	819 996	478 331	30,7	4 454	783 044	570 969	1 141 938	1 141 938	1 712 906
Límite costero	21 968				14,0	3 076	540 738				
Total nacional ^a	147 510	9 444 109	3 042 736	1 657 784	22,4	33 028	5 806 782	3 839 825	7 679 649	7 679 649	11 519 471

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Pesca (INP), 2008.

^a La cartografía del Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN) estima en 148.230 ha la superficie total de manglar.

^b El INP estima un porcentaje de captura del 19% del total de la oferta ambiental.

^c Precio = 8 dólares por 100 unidades.

^d Probabilidad de elevación del nivel del mar esperada para 2100.

^e Nivel de captura = 175,82 unidades/ha. Dato calculado sobre la base de la abundancia (número de individuos por hectárea), obtenida del modelo simplificado de ecuaciones en diferencia de la reserva de cangrejo en virtud de los datos de 2005 del documento “Aspectos Pesqueros Biológicos y Socioeconómicos de la Captura de Cangrejo Rojo (*Ucides occidentales*) en los Manglares del Ecuador” del INP (175,82 unidades/ha).

^f Precios a 2006, 7/docena. Promedio para la Costa, INP.

b) Camarón

Dado que la mayor parte de las camaroneras del país han sido construidas en zonas de manglar, es probable que la infraestructura camaronera se vea afectada por cambios en la temperatura y en las corrientes del mar, que son cada vez más fuertes, lo que podría representar un impacto negativo.

Como se muestra en el cuadro IV.23, bajo el escenario A2, para 2100 se esperaría una posible reducción del área dedicada al cultivo de camarón de aproximadamente 52.000 hectáreas (39%) con respecto al área actual (escenario base). Puesto que los rendimientos del cultivo de camarón están directamente relacionados con la disponibilidad de territorio y con el número de piscinas camaroneras, estas experimentarían una reducción significativa. La provincia de Guayas es la que tendría mayores pérdidas en la producción de camarón en el escenario de 0,51 m (A2) hacia fines de siglo y su producción podría caer hasta un 47% respecto del escenario base. Las provincias de El Oro y Esmeraldas también experimentarían pérdidas, aunque estas serían menores (un 40% y un 30%, respectivamente). En total, para el período 2070-2100, la mayor pérdida económica acumulada rondaría los 302 millones de dólares.

Sin embargo, cabe mencionar que el incremento esperado de precipitaciones y la disminución del nivel de salinidad podrían provocar un impacto positivo al aumentar las zonas aptas para la actividad camaronera. Durante los fenómenos de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), cuando se han experimentado efectos similares por cambios en la temperatura y precipitación, se ha observado un aumento de las exportaciones de camarón debido a su mayor productividad, sobre todo en años de mayor incidencia de estos fenómenos.

CUADRO IV.23
ECUADOR: PÉRDIDAS DE PRODUCCIÓN DE CAMARÓN POR ELEVACIÓN
DEL NIVEL MEDIO DEL MAR, ESCENARIOS A2 Y B2

Provincia	Escenario base 2006			Escenario A2 y B2			Costo económico por elevación del nivel del mar				
	Extensión de camaronerías (En ha)	Rendimiento anual (En tm/ha)	Producción anual (En tm)	Beneficio económico ^c (En dólares)	Reducción de camaronerías (0,51 m) (En porcentajes)	Área perdida de camaronerías por elevación del mar (0,51 m) (En ha)	Producción perdida (En tm)	Costo en cada período/aumento del nivel del mar (En dólares)			
								2020-2030/ 0,07 m	2030-2050/ 0,2 m	2050-2070/ 0,33 m	2070-2100/ 0,51 m
Esmeraldas	8 566	0,26	2 191	7 530 736	30,40	2 604	666	2 861 680	5 723 360	5 723 360	8 585 040
Manabí	12 761	0,20	2 576	11 890 038	18,27	2 332	471	2 715 388	5 430 775	5 430 775	8 146 163
Guayas	71 761	0,34	24 041	118 168 895	47,00	33 728	11 299	69 424 225	138 848 450	138 848 450	208 272 675
El Oro	32 435	0,30	9 745	51 299 831	40,00	12 974	3 898	25 649 915	51 299 830	51 299 830	76 949 745
Límite costero	7 422	0,26	1 910	11 940 261	9,59	712	183	1 431 339	2 862 678	2 862 678	4 294 016
Total nacional ^a	132 945	1,0	40 463	200 829 761	39,38	52 350	16 517	102 082 547	204 165 093	204 165 093	306 247 639

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM), Consejo Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPE, 2002) y Escenarios de variación del clima, modelo PRECIS.

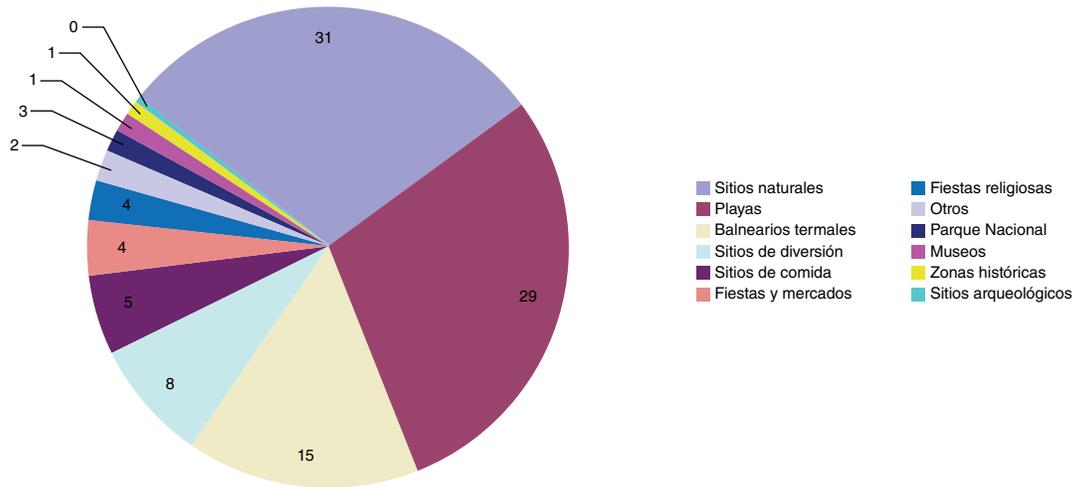
c) Turismo

La probable elevación del nivel medio del mar para el escenario A2 también ocasionaría una pérdida en el sector del turismo, asociada a la reducción del sustrato arenoso y de escenarios naturales de interés turístico.

El 25,13% de las 72.800 hectáreas de ecosistemas marinos y costeros corresponde al sustrato arenoso (playa), que brinda un servicio ambiental turístico (véase el cuadro IV.24). La provincia de Guayas ocupa el mayor porcentaje de este tipo de sustrato, con alrededor del 60%.

Con el 4,4% del PIB (2006), el turismo es uno de los principales sectores productivos del país. Las visitas a los atractivos turísticos nacionales están concentradas en tres sitios de preferencia: parajes naturales, playas y balnearios termales. El turismo en las playas del Ecuador representa el 29% de los ingresos por este concepto (Ministerio de Patrimonio Natural, 2009) (véase el gráfico IV.11).

GRÁFICO IV.11
ECUADOR: PRINCIPALES SITIOS DE INTERÉS TURÍSTICO
A NIVEL NACIONAL, 2008
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de EUROPRACTIS, 2008.

El total de divisas generadas por el turismo en 2006 alcanzó los 639,8 millones de dólares (Ministerio de Patrimonio, 2009), con un promedio de 682,46 dólares por visitante. Las divisas generadas por el turismo de playa llegan a los 186 millones de dólares. Esta demanda de turismo no está repartida equitativamente entre las provincias que poseen playas, sino que más bien está determinada por la particularidad del atractivo turístico natural y de la capacidad turística instalada⁴⁸.

⁴⁸ Sobre la base del número total de plazas hoteleras disponibles por provincias costeras (Ministerio de Patrimonio, 2009) se ha ponderado el número de turismo receptor que visita las playas. Así, se obtiene para cada provincia el turismo en sus playas y el valor económico que genera cada hectárea existente de fondo arenoso por provincia, lo que constituye la línea de base para el cálculo del impacto económico asociado a la pérdida de superficie de este tipo de sustrato debido a la elevación del nivel del mar.

Como consecuencia de los efectos del cambio climático, se esperaría que en el escenario de aumento del nivel del mar (0,51 m en el escenario A2) se genere una pérdida del 19,5% del sustrato arenoso (35.400 hectáreas) respecto de la registrada en el año base 2009 y una pérdida asociada a la menor “belleza escénica” de la playa (véase el cuadro IV.24)⁴⁹.

CUADRO IV.24
ECUADOR: PÉRDIDA DE SUSTRATO ARENOSO POR ELEVACIÓN DEL NIVEL MEDIO DEL MAR, ESCENARIO A2 (0,51 METROS), A 2100

Provincias	Total sustrato arenoso (2009)	Pérdida a 2100 con respecto al total nacional	Pérdida a 2100 con respecto al total provincial	Área perdida
	(En ha)	(En porcentajes)	(En porcentajes)	(En ha)
El Oro	18 515	0,028	0,280	5 179
Esmeraldas	10 760	0,014	0,229	2 469
Guayas	108 243	0,137	0,230	24 873
Los Ríos	...	0,005	...	885
Manabí	44 369	0,008	0,033	1 478
Santa Elena	0	0,003	...	537
Total	181 887	0,195	...	35 421

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los efectos físicos descritos anteriormente, es posible inferir el impacto económico probable por la elevación del nivel medio del mar. Para el escenario A2, la pérdida por disminución de la actividad turística para el período 2070-2100 sería de aproximadamente 124,2 millones de dólares, debido a la menor concurrencia de turistas asociada a la menor disponibilidad del escenario turístico (véase el cuadro IV.25).

⁴⁹ A partir del modelo cartográfico y de escenarios de simulación de elevación del nivel medio del mar construido para este estudio.

CUADRO IV.25
ECUADOR: IMPACTO ECONÓMICO EN EL SECTOR DEL TURISMO DEBIDO
A LA DISMINUCIÓN DEL SUSTRATO ARENOSO POR ELEVACIÓN DEL NIVEL
DEL MAR, ESCENARIOS A2 Y B2

Provincia	Escenario base 2009				Costo económico por elevación del nivel del mar			
	Extensión de la playa (En ha)	Número de visitas (En turistas/año)	Ingresos ^a (En dólares/año)	(Dólares/ha)	Costo en cada período/aumento del nivel del mar (En dólares)			
					2020-2030 /0,07 m	2030-2050/ 0,2 m	2050-2070/ 0,33 m	2070-2100/ 0,51 m
Esmeraldas	10 760	79 389	31 505 807	2 928	7 679 540	15 359 080	15 359 080	23 038 620
Manabí	44 369	56 294	54 202 502	1 222	13 211 860	26 423 720	26 423 720	39 635 580
Guayas ^b	108 243	121 248	69 394 055	641	16 914 801	33 829 603	33 829 603	50 744 404
El Oro	18 515	15 878	14 706 218	794	3 584 641	7 169 283	7 169 283	10 753 924
Total nacional	181 887	272 809	169 808 582		41 390 842	82 781 686	82 781 686	124 172 528

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de “Cuencas Hidrográficas”, Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), 2009. Escenarios de Variación Climática modelo PRECIS.

^a Ponderados de acuerdo con el promedio de visitas al año y el tiempo de estadía. El turismo de playa representa el 29,10% del total de turistas que recibe el país según el Ministerio de Turismo del Ecuador (2007).

^b Incluye el área de la provincia de Santa Elena.

d) Agregación de efectos

De este modo, el impacto económico total asociado a la elevación del nivel medio del mar para los escenarios A2 y B2 en la década de 2100 ascendería a 456,7 millones de dólares, el 67% de los cuales correspondería a pérdidas en la actividad camaronera y el 27% se adjudicaría a pérdidas en la actividad turística (véase el cuadro IV.26).

En el presente estudio se asume que el crecimiento esperado del nivel medio del mar ocurriría en forma paulatina y se distribuiría proporcionalmente entre 2020 y 2100 (véase el cuadro IV.26). En virtud de esta consideración, los costos totales estimados para las actividades productivas analizadas se distribuirían con este mismo criterio, tanto para el escenario A2 (0,51 m) como para el escenario B2 (0,43 m).

Hay que considerar que la manifestación del impacto de la elevación del nivel medio del mar se evidenciaría a lo largo del período de estudio, lo que significa una pérdida progresiva tanto del sustrato arenoso como del turismo, criterio que se ha usado para imputar los costos en años previos a 2100, que se presentan en el cuadro de síntesis del impacto.

CUADRO IV.26
ECUADOR: COSTOS TOTALES POR ELEVACIÓN DEL NIVEL MEDIO DEL MAR,
DÉCADAS SELECCIONADAS^a
(En dólares)

Actividades económicas afectadas	Costo por década en los escenarios A2 (0,51 m) y B2 (0,43 m)			
	2030	2050	2070	2100
Especies demersales	8 775 966	17 554 930	17 554 930	26 327 892
<i>Anadara tuberculosa</i>	4 937 141	9 875 381	9 875 281	14 808 421
<i>Cangrejo</i>	3 839 825	7 679 649	7 679 649	11 519 471
Cultivo de camarón	102 082 547	204 165 093	204 165 093	306 247 639
Turismo	41 390 842	82 781 686	82 781 686	124 172 528
Total	152 249 355	304 501 709	304 501 709	456 748 059

Fuente: Elaboración propia.

^a Dada la ausencia de datos de elevación del nivel medio del mar para años previos a 2100, se asume un crecimiento progresivo y proporcional a partir de 2020.

E. Efectos en la salud

El Ecuador se encuentra atravesando por la transición epidemiológica de enfermedades asociadas a condiciones de carencia y pobreza, particularmente en el entorno urbano, donde prevalecen las enfermedades crónico-degenerativas y las ocasionadas por accidentes y violencia.

La pérdida de años de vida saludable a causa de la muerte prematura y la discapacidad en el Ecuador (medida a través del indicador AVISA) muestra que el 33,7% se atribuye a procesos carenciales de privación de las necesidades básicas⁵⁰. En el 42,1% de los casos, esta pérdida se atribuye a procesos crónicos y degenerativos, y el 24,2% corresponde a los accidentes y la violencia (SENPLADES, 2007). Esta tendencia de transición epidemiológica continúa una prevalencia de enfermedades asociadas a condiciones de precariedad y vulnerabilidad en las familias que viven en condiciones de pobreza y extrema pobreza en el Ecuador, como ocurre en el caso de las enfermedades de tipo vectorial.

⁵⁰ Como enfermedades infecciosas y parasitarias, malnutrición y afecciones perinatales y de la reproducción.

La malaria y el dengue se han convertido en uno de los principales problemas de salud pública, ya que mantienen ciclos endémicos-epidémicos influenciados por factores ambientales (fenómenos climatológicos), socioeconómicos y culturales, lo que ocasiona mortalidad y morbilidad. Estas enfermedades han tenido graves repercusiones sociales y económicas, sobre todo en poblaciones con mayores niveles de pobreza, principalmente en la zona rural y urbana-marginal asentada en áreas de clima tropical y subtropical, que representan alrededor del 70% de la extensión territorial del país.

Este estudio se compone de tres fases metodológicas. La primera fase se inició con la identificación de las zonas más afectadas por los casos de malaria y dengue. A continuación, se usó un modelo econométrico para relacionar la temperatura, las precipitaciones y las condiciones de saneamiento con la tasa de incidencia de la malaria y el dengue.

En la segunda fase se proyectaron los escenarios futuros para la incidencia de malaria y dengue identificando los casos incrementales asociados a los escenarios A2 y B2. Además, para la malaria se usó un modelo geográfico que permitió identificar las zonas de transición donde existe mayor riesgo de incidencia de nuevos casos de esta enfermedad hacia fines de siglo.

Por último, en la tercera fase se calcularon los potenciales costos directos (en prevención y tratamiento) e indirectos (por productividad perdida) asociados a los nuevos casos epidémicos para ambas enfermedades.

1. Incidencia histórica de las variables climáticas en la malaria y el dengue en el Ecuador

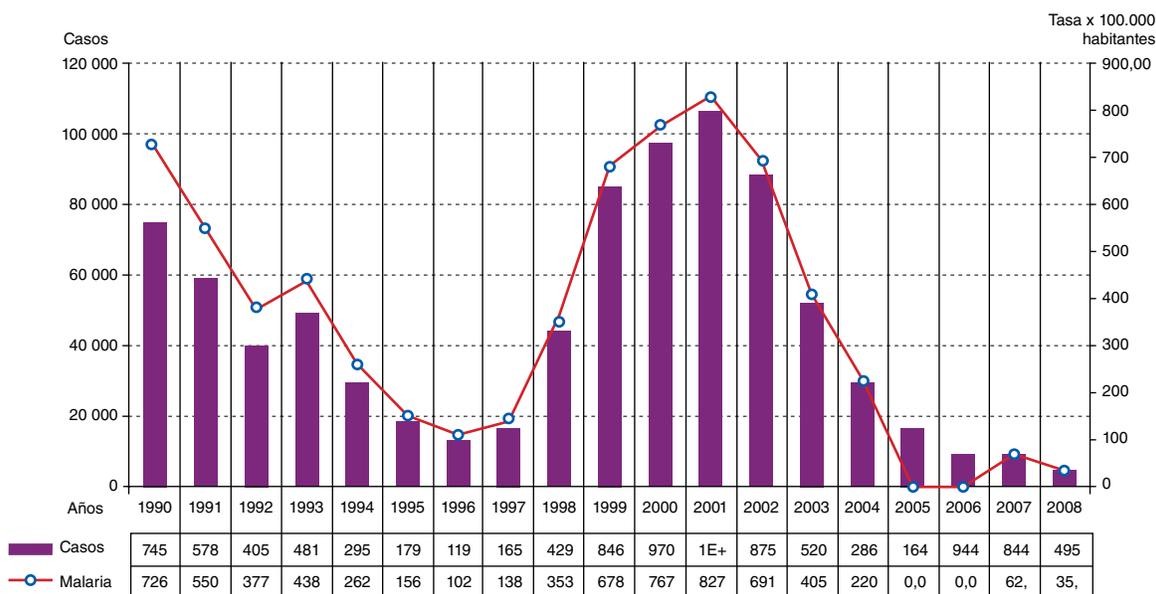
Se ha demostrado que las variables climáticas de temperatura, precipitaciones y grado de humedad en el ambiente, junto con la capacidad de inmunidad del vector transmisor de enfermedades, influyen en el ciclo de crecimiento de la malaria y el dengue y, por ende, en la densidad de su presencia (Lindsay y Birley, 1996). En el Ecuador, por lo tanto, se espera que la variación de los factores climáticos influya en los ciclos de reaparición de la epidemia de estas enfermedades.

a) Malaria

Como se puede observar en el gráfico IV.12, el comportamiento de la prevalencia de la malaria ha sido inestable en los últimos 20 años. Mientras que en 1996 se registraron alrededor de 12.000 casos, en 2000 el número de casos ascendió drásticamente a 97.007 y en 2005 volvió a disminuir a 16.484 (esta tendencia decreciente se logró mantener en los años posteriores).

Este comportamiento cíclico de la epidemia observado en la última década ha sido similar al registrado desde mediados de siglo, con la diferencia de que la naturaleza del vector ha cambiado, ya que la variedad mortal de la especie *Falciparum* ha cedido en importancia ante el *Vivax*, una variedad menos mortal de la enfermedad. En 1999, la especie *Falciparum* representaba el 70% de la carga de malaria, mientras que en 2008 el *Vivax* representaba el 92% del total.

GRÁFICO IV.12
ECUADOR: INCIDENCIA HISTÓRICA DE LA MALARIA, 1990-2008

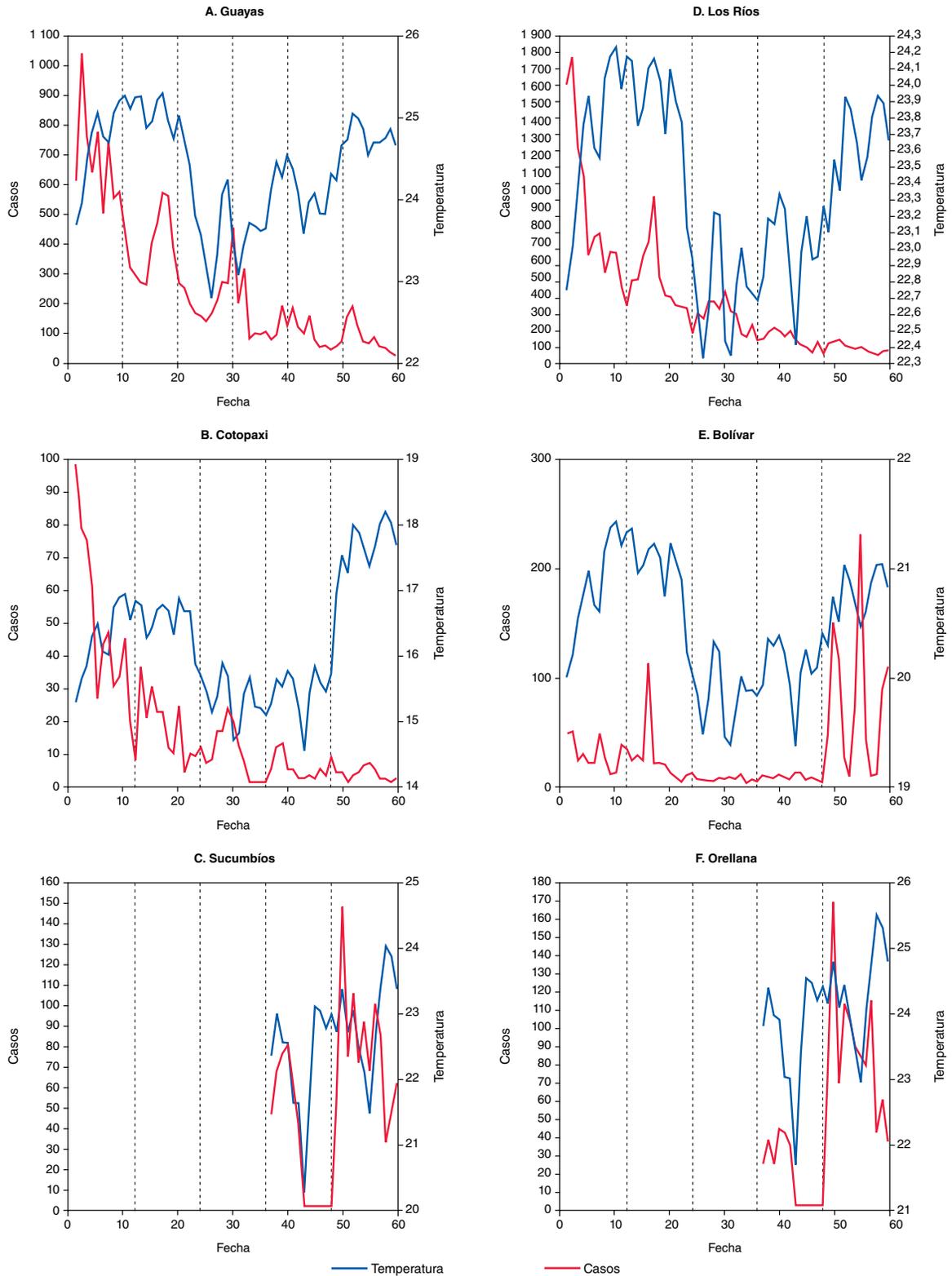


Fuente: Aguilar E., Epidemiología, Ministerio de Salud Pública (MSP), sobre la base de información del Sistema Nacional de Erradicación de la Malaria (SNEM).

En las provincias de la costa, donde existe la mayor incidencia de malaria, se identificó un grado importante de correlación entre las variaciones mensuales de la temperatura y el incremento del número de casos diagnosticados, tomando en cuenta que este período es uno de los más eficaces de la acción de salud pública en cuanto a medidas de prevención y rociado en estas provincias (véase el gráfico IV.13a).

En zonas de transición de ecosistemas de altura hacia ecosistemas subtropicales también se evidencia un nivel importante de correlación entre el incremento mensual de casos y el aumento de la temperatura (véase el gráfico IV.13b). No obstante, en esta región se han presentado incrementos mensuales de casos sin que se hayan experimentado aumentos de la temperatura. Esto podría estar asociado a niveles precarios de saneamiento o a efectos de rezago y adaptación del vector en estos ecosistemas de transición. En el caso de las provincias amazónicas, la correlación es mucho más alta y evidente, sobre todo en los últimos tres años en que se tiene registro (véase el gráfico IV.13c).

GRÁFICO IV.13
ECUADOR: CORRELACIÓN ENTRE LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA
Y EL NÚMERO DE CASOS DE MALARIA, ANÁLISIS PROVINCIAL, 2003-2007



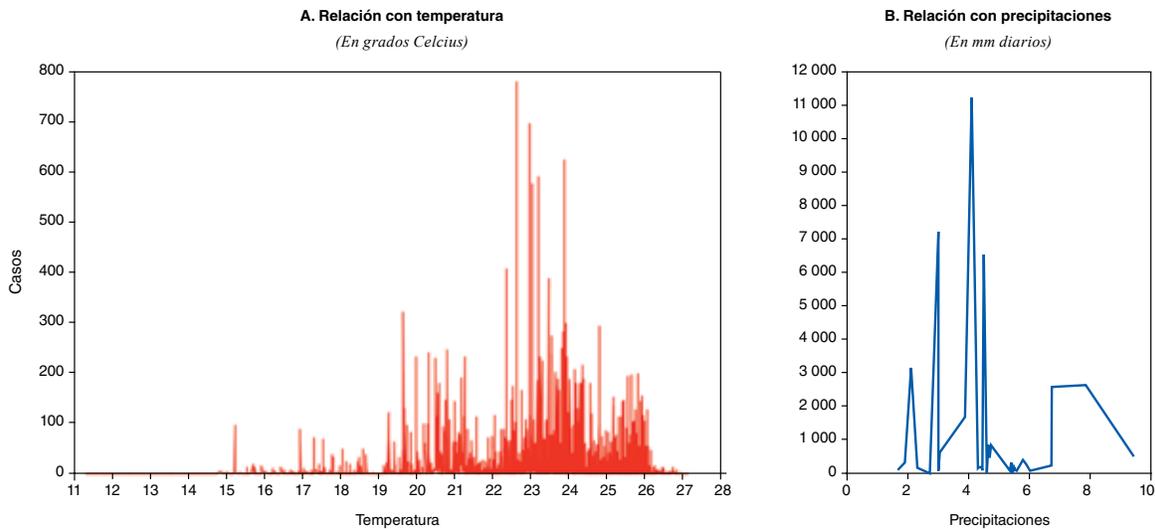
Fuente: Sistema Nacional de Erradicación de la Malaria (SNEM) y modelo PRECIS.

La correlación entre la temperatura y los casos diagnosticados puede sintetizarse en el gráfico IV.14a, donde se observa que ha habido epidemia en zonas con temperaturas a partir de los 15°C y que el primer nivel de incidencia importante se ha dado entre los 19°C y los 22°C⁵¹. El segundo nivel de mayor incidencia se concentraría entre los 22°C y los 25°C, donde se encontraría el 47% de los casos registrados.

En la correlación entre las precipitaciones y el número de casos de malaria, el primer punto importante de incidencia se localizaría entre los 2 mm y los 3 mm de precipitación diaria, mientras que el valor más importante de concentración estaría en el rango comprendido entre los 4 mm y los 5 mm de precipitación (véase el gráfico IV.14b)⁵².

Por lo tanto, el rango de incidencia de la malaria abarcaría un amplio espectro entre los 15°C y los 26°C de temperatura y entre los 2 mm y los 5 mm de precipitación diaria.

GRÁFICO IV.14 ECUADOR: RELACIÓN ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS Y MALARIA



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del Servicio Nacional de Erradicación de la Malaria (SNEM).

Se puede concluir que, pese a la acción de respuesta de salud pública, los rebrotes epidémicos de malaria han resurgido y son causados, principalmente, por las variaciones de temperatura y precipitación y los niveles de saneamiento en las zonas afectadas.

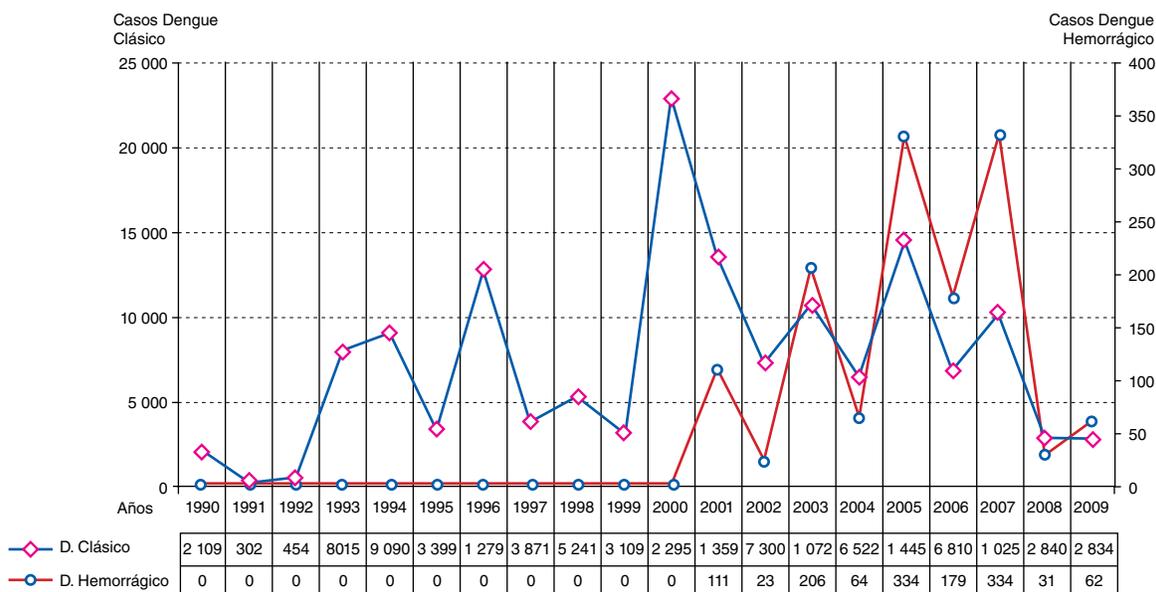
⁵¹ Es importante señalar que el período analizado es uno de los de mayor eficacia de lucha contra la malaria, ya que se ha incrementado la inversión para el programa nacional de la malaria. Es posible que en otros períodos, el número de casos registrados pueda ser mayor y la estructura de concentración de la enfermedad en estos rangos de temperatura se haya desplazado levemente hacia zonas de menor temperatura, lo que podría explicar el pico en el rango entre 19°C y 21°C, que es un sesgo en la distribución normal de este tipo de morbilidad.

⁵² Las otras zonas de menor incidencia estarían en las colas de la distribución, que corresponden a zonas de relativa baja pluviosidad (entre 1,5 mm y 2 mm diarios) y a zonas de alta pluviosidad (alrededor de 9,4 mm diarios).

b) Dengue

Los casos de dengue en el Ecuador aparecen a fines de 1988 e inicios de 1989, y han mantenido una incidencia creciente desde 1999 (véase el gráfico IV.15). Sus niveles más altos se alcanzaron en 2001 y 2005 con 23.000 y 14.000 casos confirmados, respectivamente. Los casos registrados fueron de dengue clásico hasta 2001, cuando se confirmaron los primeros casos de dengue hemorrágico. En la actualidad, el dengue en el Ecuador mantiene un comportamiento endémico, con ciclos epidémicos localizados, de menor magnitud y gravedad que en años anteriores, y en los últimos dos años se aprecia una notable disminución de su incidencia.

GRÁFICO IV.15
ECUADOR: INCIDENCIA HISTÓRICA DEL DENGUE, 1990-2009



Fuente: Aguilar E., Epidemiología, Ministerio de Salud Pública (MSP), sobre la base de información del Sistema Nacional de Erradicación de la Malaria (SNEM).

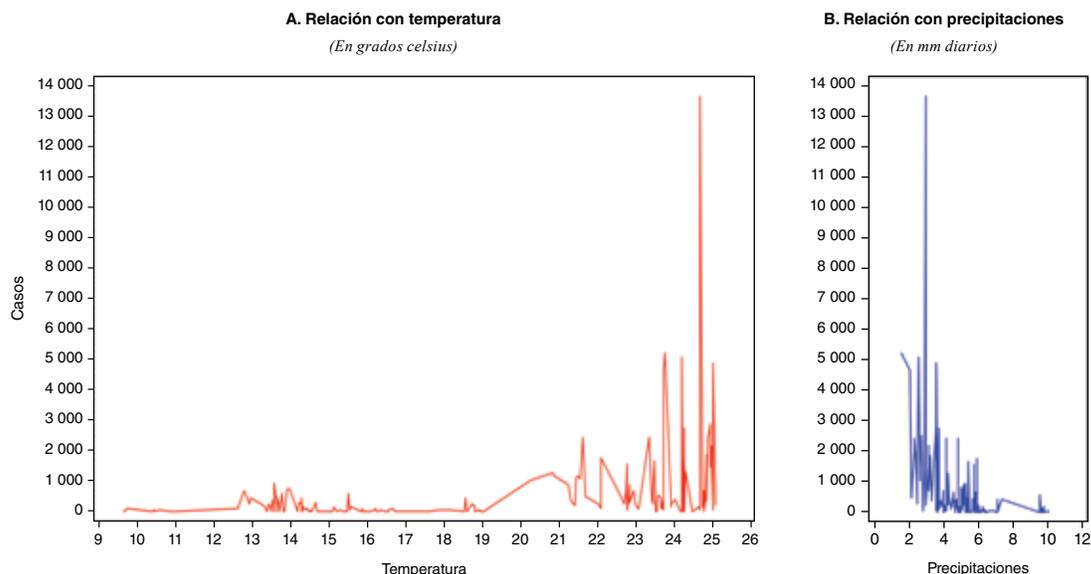
Como se observa en el gráfico IV.16a, la relación entre la temperatura y el número de casos se concentra en los rangos de 23°C a 25°C, que se asocian con las áreas tropicales y subtropicales donde se dan condiciones propicias para la reproducción del vector del dengue (*Aedes aegypti*)⁵³. También se identifican casos de la enfermedad que se ubican entre los 21°C y los 22°C en zonas de valles interandinos y donde se da una prevalencia importante por sobre los 2.000 casos anuales.

En cuanto a la relación de la epidemia con el nivel de precipitaciones, se observa que el rango de mayor incidencia se encontraría entre los 2,5 mm y los 5 mm de precipitación diaria (véase el gráfico IV.16b). Estas condiciones de humedad se asocian a las zonas de los valles interandinos y a las zonas tropicales y subtropicales. Sin embargo, existirían zonas de menor incidencia en regiones con precipitaciones sensiblemente mayores (entre 5 mm y 6 mm diarios) y con altos niveles de humedad en el ambiente.

⁵³ Actualmente existe una condición de hiperendemicidad en referencia a los serotipos de virus del dengue y el Instituto Nacional de Higiene y Medicina Tropical (INHMT) de Guayaquil ha logrado aislar los cuatro serotipos (SNEM, 2009).

GRÁFICO IV.16

ECUADOR: RELACIÓN ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS Y DENGUE



Fuente: Elaboración propia, sobre la base en información del Servicio Nacional de Erradicación de la Malaria (SNEM).

Pese a la eficacia de las medidas de desinfección domiciliaria y de capacitación en las prácticas de saneamiento básico, las variables climáticas siguen siendo un factor determinante en los brotes epidémicos de dengue.

El análisis histórico de la malaria y el dengue permitió identificar la correlación entre estas enfermedades y las variables de temperatura y precipitación, lo que sirve de base para la construcción de modelos prospectivos en los escenarios A2 y B2. Tanto para la malaria como para el dengue, se consideró como variable dependiente la tasa de morbilidad⁵⁴. Como variables independientes se consideraron: la temperatura anual durante el período (2003-2007), las precipitaciones anuales y el índice de necesidades básicas insatisfechas, que refleja las condiciones de vida de las personas⁵⁵.

Una vez analizados los casos de cada enfermedad, se valoró el impacto económico ocasionado por el incremento de la incidencia de la malaria y el dengue por efecto de las variables climáticas. A continuación, se identificaron dos tipos de costos:

- i) Los costos directos, asociados a los gastos en prevención y tratamiento, y
- ii) Los costos indirectos, asociados a la pérdida de productividad por parte de la población afectada.

⁵⁴ La tasa de morbilidad se calculó como el número de casos de malaria o dengue por cantón dividido entre la población de ese cantón.

⁵⁵ Como una variable sustituta para definir si la vivienda tiene características físicas inadecuadas para el alojamiento humano.

2. Escenarios futuros de impacto en la malaria

Las estimaciones de los casos de malaria indican que esta enfermedad iría en aumento en el tiempo. Sin embargo, en el escenario A2, el incremento sustantivo de casos se experimentaría a partir de 2050, cuando el aumento de 0,5°C en la temperatura y de 0,25 mm en las precipitaciones diarias ocasionaría el surgimiento de unos 16.500 casos adicionales. Estos casos aumentarían considerablemente hacia fines de siglo, cuando se llegaría a los 130.000 nuevos casos debido a un incremento de 2,5°C en la temperatura y del 40% en las precipitaciones diarias en este escenario (véase el cuadro IV.27). El escenario B2 seguiría una tendencia similar, pero los casos aumentarían en menor magnitud y el mayor incremento se daría en 2070.

Para la estimación económica se utilizaron como costos unitarios directos los valores registrados por el Ministerio de Salud Pública para prevención y tratamiento. Para el cálculo de los costos unitarios indirectos se consideró la productividad perdida, sobre la base de los valores del salario mínimo, el índice de empleo adecuado y otras variables.

A partir de los valores unitarios y de la estimación de los casos de malaria, se calculó el impacto económico del cambio climático en la salud para diferentes años de referencia (2030, 2050, 2070 y 2100). Para el escenario A2, el costo económico de los casos incrementales de malaria, en comparación con el escenario base (2003-2007), ascendería a más de 24,2 millones de dólares hacia fines de siglo, mientras que en el escenario B2 el costo económico sería de 10,8 millones de dólares.

CUADRO IV.27
ECUADOR: IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA MALARIA,
ESCENARIOS A2 Y B2
(En miles de dólares)

Año	Escenario A2			Escenario B2				
	Casos de malaria incrementales por cambio climático ^a	Costo directo total	Costo indirecto total	Costo total ^b	Casos de malaria incrementales por cambio climático ^a	Costo directo total	Costo indirecto total	Costo total ^b
2020	3 848	101	610	710	4 699	123	744	867
2030	7 952	208	1 259	1 467	8 272	217	1 310	1 527
2050	16 454	431	2 606	3 036	7 412	194	1 174	1 368
2070	50 284	1 316	7 963	9 279	25 457	666	4 031	4 698
2100	130 910	3 427	20 731	24 158	58 337	1 527	9 238	10 765

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del Sistema Nacional de Erradicación de la Malaria (SNEM).

^a En relación con el año de base, considerando el promedio del período 2003-2007. Los modelos de estimación de los casos incrementales para escenarios futuros se han realizado para el año específico de la referencia y podrían ser considerados como valores medios para las décadas correspondientes.

^b Valores anuales para los años indicados.

El mayor costo de los nuevos casos de malaria se asocia al costo indirecto y proviene de la productividad perdida de las personas potencialmente expuestas a la enfermedad (representa aproximadamente el 85% del costo total).

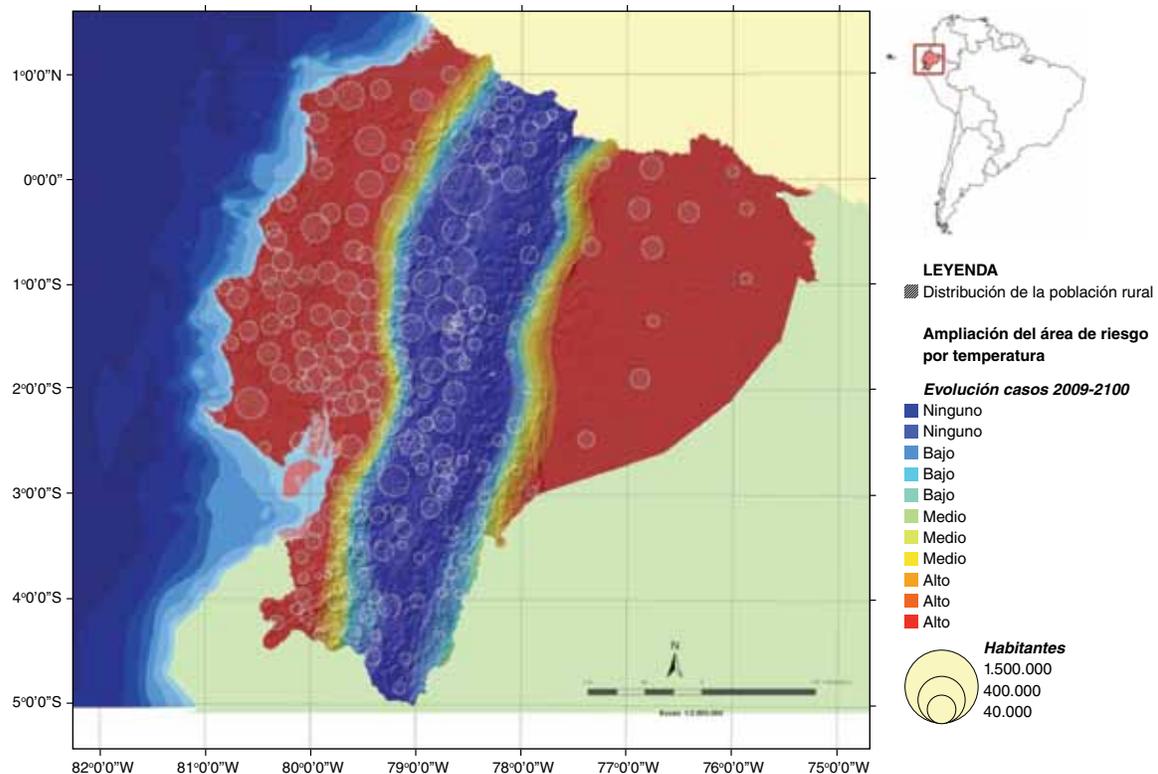
Desde el punto de vista geográfico, las zonas rurales de mayor riesgo serían las de la Sierra Central y Sur, pero también se verían afectadas las ciudades intermedias que vinculan a la Sierra Sur con la región Costa y la Amazonía.

Como se puede observar en el mapa IV.8, las zonas con mayor probabilidad de pasar de ser zonas de riesgo medio a zonas de riesgo alto son las ubicadas en las dos vertientes de las cordilleras oriental y occidental. En consecuencia, la prevalencia de la malaria se expandiría hacia zonas de mayor altura: i) entre la Costa y la Sierra Sur, y ii) entre la Sierra y la Amazonía Sur.

Debido a su alta densidad poblacional, la provincia de Pichincha y las provincias de la Sierra Central y Sur serían las de mayor riesgo, ya que se registraría un incremento inusitado de nuevos casos de malaria por efecto del cambio climático.

En cuanto a las zonas urbanas, las de mayor riesgo estarían situadas en las ciudades intermedias que vinculan a la Costa y la Sierra Sur, y en las ciudades intermedias entre la Amazonía y la Sierra Sur. La provincia de Santo Domingo, por ejemplo, podría causar preocupación por su alto número de habitantes.

MAPA IV.8
ECUADOR (ZONAS RURALES): TENDENCIA DE INCREMENTO DE LA INCIDENCIA DE LA MALARIA POR AUMENTO DE LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del Servicio Nacional de Erradicación de la Malaria (SNEM) y el modelo PRECIS.

Finalmente, se puede añadir que el impacto combinado de las precipitaciones y la temperatura sobre la tasa de incidencia de la malaria hacia fines de siglo sería equivalente a lo que se experimentó con el evento ENOS de 1998 y que generó un incremento sustantivo del gasto público y privado.

3. Escenarios futuros de impacto en el dengue

En el caso del dengue, las proyecciones sugieren que durante las primeras décadas de este siglo, las condiciones climáticas permitirían disminuir, en el corto plazo, el número de casos. Sin embargo, este efecto sería transitorio, ya que a mediados de siglo los casos se incrementarían en forma considerable.

Como se puede observar en el cuadro IV.28, para el escenario A2, el incremento de 0,5°C en la temperatura y de 0,25 mm en las precipitaciones diarias ocasionaría el surgimiento de alrededor de 1.800 nuevos casos para 2050 y de 10.000 casos para 2100. En el escenario B2 la tendencia sería similar, aunque el incremento sería menor en comparación con el escenario A2.

Hacia fines del siglo, el costo estimado de estos nuevos casos alcanzaría los 5,2 millones de dólares en el escenario A2 y los 4,2 millones de dólares en el escenario B2.

CUADRO IV.28
ECUADOR: IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DENGUE,
ESCENARIOS A2 Y B2
(En miles de dólares)

Año	Escenario A2				Escenario B2			
	Casos de dengue incrementales por cambio climático ^a	Costo directo total	Costo indirecto total	Costo total ^b	Casos de dengue incrementales por cambio climático ^a	Costo directo total	Costo indirecto total	Costo total ^b
2020	-2 936	-106	-1 395	-1 501	-2 260	-81	-1 074	-1 155
2030	-1 480	-53	-703	-756	-1 321	-48	-628	-675
2050	1 765	64	839	902	1 541	55	732	788
2070	6 457	232	3 068	3 300	5 114	184	2 429	2 613
2100	10 170	366	4 832	5 198	8 237	296	3 913	4 210

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Sistema Nacional de Erradicación de la Malaria (SNEM).

^a En relación con el año de base, considerando el promedio del período 2003-2007. Los modelos de estimación de los casos incrementales para escenarios futuros se han realizado para el año específico de la referencia y podrían ser considerados como valores medios para las décadas correspondientes.

^b Valores anuales para los años indicados.

En síntesis, el impacto combinado de un incremento de 2,5°C en la temperatura y del 40% en las precipitaciones diarias para fines de siglo podría ocasionar la aparición de hasta 130.000 casos nuevos de malaria y 10.000 casos nuevos de dengue, dependiendo del escenario climático analizado. Además, estas condiciones climáticas podrían provocar el traslado de la epidemia hacia nuevos pisos altitudinales y zonas geográficas, tanto rurales como urbanas.

En términos económicos, el impacto agregado de ambas enfermedades para el escenario A2 podría incidir en un aumento del gasto público y privado de alrededor de 29,3 millones de dólares para 2100, y para el escenario B2 el costo alcanzaría los 14,9 millones de dólares para el mismo año.

F. Impacto sobre la infraestructura

Históricamente, la infraestructura productiva en el Ecuador se ha visto afectada por eventos naturales asociados a las precipitaciones, que se agravarían con el cambio climático.

La infraestructura física con mayor importancia económico-productiva del Ecuador está constituida, fundamentalmente, por los activos de transporte (viales y portuarios), de petróleo, de generación y transmisión de electricidad, de telecomunicaciones y de riego. Las infraestructuras vial, petrolera (de extracción, transporte y refinación-transferencia) y de generación y transmisión de electricidad sustentarían cerca del 30% de la producción nacional⁵⁶.

En este estudio se seleccionaron tres sectores por su susceptibilidad a las variables climáticas y su importancia económica: la infraestructura vial, la infraestructura petrolera y la infraestructura de generación y transmisión de energía. Se excluyó la infraestructura de telecomunicaciones, ya que, por su naturaleza y localización, sería menos vulnerable a los eventos asociados al cambio climático. Tampoco se consideró la infraestructura de riego debido a su incipiente desarrollo y a su bajo registro de información, aunque en términos de adaptación estratégica para los recursos hídricos sí se ha considerado (véase el capítulo VI).

La infraestructura productiva seleccionada para este estudio se ha visto afectada por eventos naturales como inundaciones, aluviones y deslizamientos. Estos efectos podrían potenciarse con el incremento de las precipitaciones proyectado por los diferentes modelos predictivos de cambio climático. Además, la infraestructura de construcción también se vería afectada por estos fenómenos y tendría que enfrentar retrasos, reparaciones y postergaciones en su proceso de ejecución. Estos retrasos ya han venido ocurriendo, sobre todo en las zonas del litoral del país y en las estribaciones de la cordillera, en particular en las zonas que registran inclinaciones pronunciadas.

1. Metodología de análisis

El análisis para este sector se concentró solo en la infraestructura productiva vial, petrolera y eléctrica (generación y transmisión). El proceso para la estimación del impacto en este importante sector consideró tres etapas que se describen a continuación.

a) Efectos del cambio climático e identificación de las zonas con infraestructura de mayor vulnerabilidad física

Se delimitaron las zonas y los posibles daños a la infraestructura productiva con potencial afectación durante su vida útil, considerando las alteraciones en el patrón de lluvias y la susceptibilidad geomorfológica de las zonas generales de ocurrencia de los eventos de riesgo y de la localización de la infraestructura seleccionada⁵⁷.

b) Probabilidad de desempeño, magnitud de los eventos y costo de los daños

A partir de la delimitación de zonas, se procedió a identificar la probabilidad de ocurrencia de la magnitud del daño y las pérdidas económicas que se desprenden de los eventos ocasionados por las variables climáticas. Esta probabilidad de ocurrencia permitió desarrollar tres escenarios sobre la

⁵⁶ Se asumieron los datos de la estructura del PIB de 2007 y se consideró que solo el 25% del gasto de la administración pública total estaría destinado a obras de este tipo de infraestructura.

⁵⁷ Se seleccionaron tres tipos de eventos de riesgo en los que se concentra este estudio: a) rebalses e inundaciones en áreas costeras por aumento del nivel del mar, b) aluviones e inundaciones en valles u hondonadas en zonas de influencia de ríos, lagos y áreas de alta pluviosidad, y c) aludes y deslizamientos de tierra por efecto del incremento de lluvias sobre superficies con pendientes pronunciadas.

magnitud de los efectos del cambio climático sobre la infraestructura productiva: alto (A2), moderado (B2) y bajo (senda base). Los escenarios A2 y B2 se asociarían al nivel de severidad (mayor precipitación e incidencia en deslizamientos) de los cambios esperados. La senda base correspondería al nivel inercial de vulnerabilidad o exposición al riesgo que tendría esta infraestructura, independientemente de las alteraciones producidas por efecto del cambio climático.

c) Impacto económico del cambio climático sobre la infraestructura

Una vez identificado el conjunto de la infraestructura productiva en riesgo en los distintos escenarios descritos en el punto anterior, se estimó el costo directo de reposición de la infraestructura vial y el costo por pérdida de energía eléctrica, tanto generada como distribuida⁵⁸. Sin embargo, como se explica más adelante, no se halló evidencia sustentadora del grado de susceptibilidad de la infraestructura petrolera a los eventos asociados al cambio climático.

Estos pasos permitieron estimar el costo económico en que el país incurriría por el daño potencial en esta infraestructura. Esta información resulta de importancia para evaluar los costos adicionales para proteger la infraestructura de las potenciales consecuencias que se desprenderían de la ocurrencia de eventos de riesgo asociados con el cambio climático.

2. Efectos del cambio climático e identificación de las zonas con infraestructura de mayor vulnerabilidad física

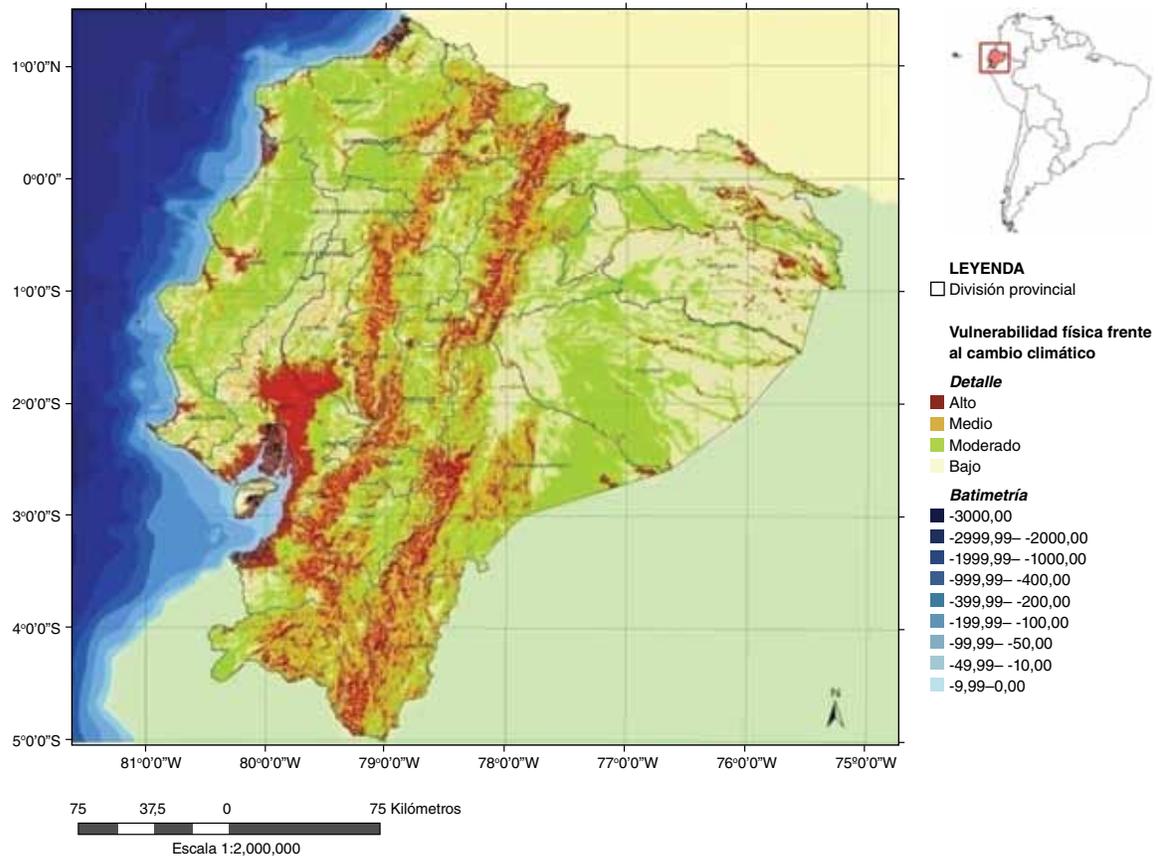
La identificación de zonas de vulnerabilidad permitió estimar que cerca del 13% (31.200 km²) del territorio nacional se encontraría en situación de alta vulnerabilidad física a eventos climáticos y alrededor del 15% estaría en situación de vulnerabilidad media.

Como se puede apreciar en el mapa IV.9, las áreas vulnerables a deslizamientos de tierras e inundaciones se concentran en la zona de influencia del Golfo de Guayaquil, las estribaciones occidental y oriental del callejón interandino, las zonas de manglares y las zonas bajas de la Amazonía Norte. En particular, las provincias con mayor proporción de su territorio en zona de riesgo serían Guayas y Napo. No obstante, es importante notar que los niveles de riesgo se distribuyen por toda la geografía nacional.

Sobre la base de esta información, se identificó geográficamente la infraestructura económica más importante y se procedió a su respectiva valoración asociada a las pérdidas ocasionadas por los eventos climáticos.

⁵⁸ Para realizar una estimación del costo del daño potencial sobre la infraestructura de generación eléctrica se han establecido tres tipos de escenarios: en el primero se plantea un daño severo asociado al cambio climático, que afectaría a la totalidad de la infraestructura eléctrica de generación en riesgo por un período de seis meses; en el segundo escenario se plantea un desempeño futuro moderado, que afectaría a la infraestructura de generación eléctrica por un período medio de tres meses; y en el tercer escenario se plantea un desempeño bajo, que afectaría a la infraestructura de generación eléctrica en situación de alta vulnerabilidad por un período relativamente corto de seis semanas.

MAPA IV.9
ECUADOR: ZONAS DE VULNERABILIDAD FÍSICA FRENTE A EVENTOS CLIMÁTICOS



Fuente: Elaboración propia.

3. Probabilidad de desempeño, magnitud de los eventos y costo de los daños

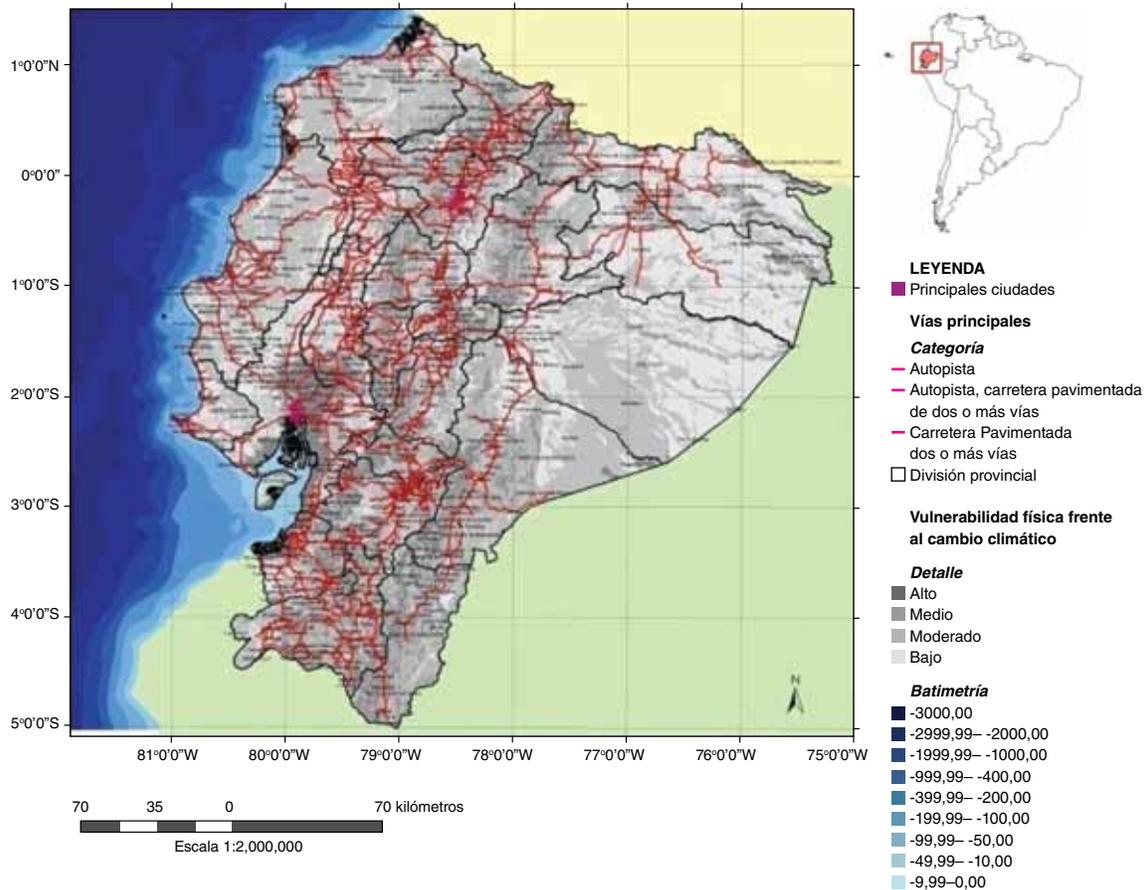
Como se indicó en la metodología de análisis, en este apartado se describe el impacto sobre la infraestructura localizada en el área de riesgo.

a) Infraestructura vial

Como se puede observar en el mapa IV.10, cerca de 1.400 km del entramado total de la infraestructura vial existente y en construcción se encontrarían asentados en zonas de alto riesgo y 1.180 km se ubicarían en niveles intermedios de riesgo ante los eventos naturales que derivan del cambio climático y podrían ocasionar la destrucción de la infraestructura.

Esta infraestructura se encuentra en áreas del litoral que podrían verse afectadas por aumentos del nivel del mar, en áreas de pendientes proclives a aludes y deslizamientos de tierra, y, por último, en áreas de influencias de ríos propensas a aluviones.

MAPA IV.10
ECUADOR: INFRAESTRUCTURA VIAL EN ZONAS DE RIESGO



Fuente: Elaboración propia.

b) Generación y transmisión eléctrica

Como se aprecia en el mapa IV.11, el impacto esperado del cambio climático en el caso de la infraestructura eléctrica se ha diferenciado entre: i) infraestructura de generación existente y programada (con alta factibilidad de producirse), e ii) infraestructura de distribución.

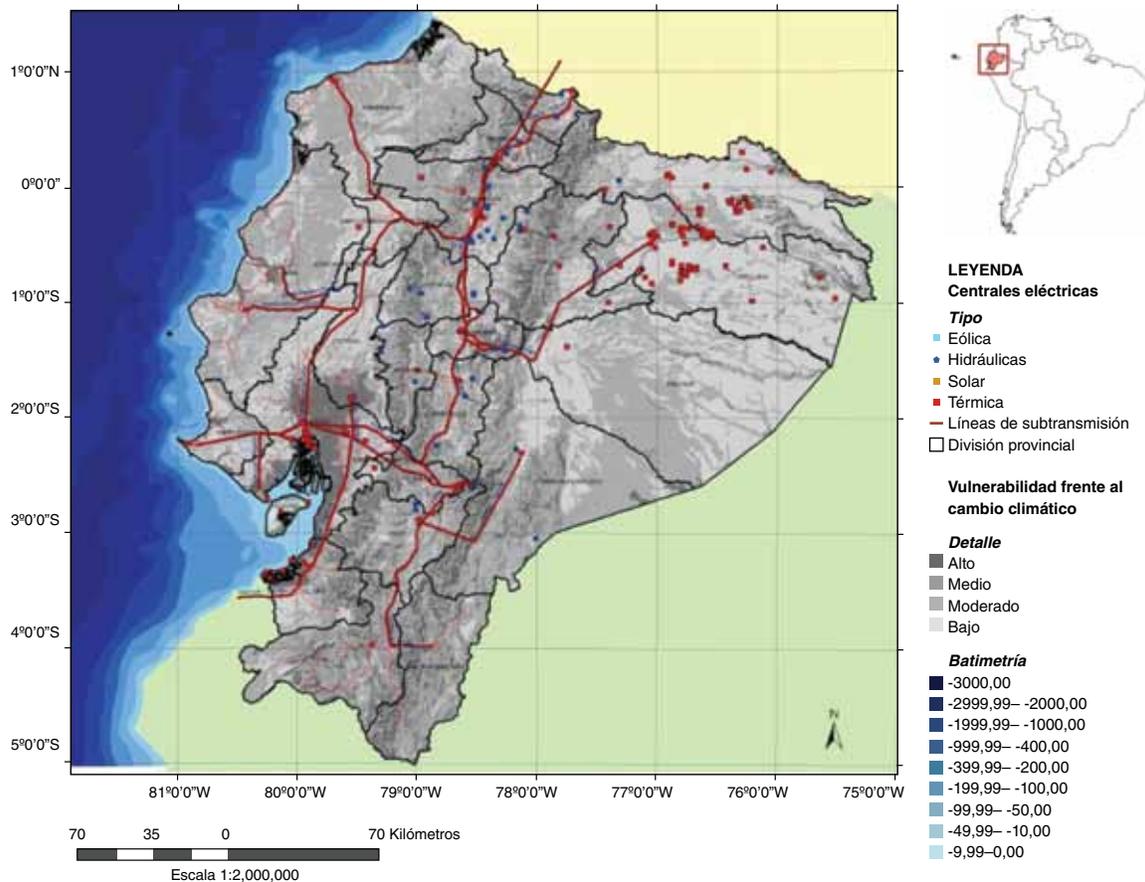
En lo referente a la infraestructura de generación, se dispuso del mapeo de áreas donde la infraestructura podría enfrentar riesgos debido a fenómenos naturales, y que fue levantada por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en coordinación con el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca a través del Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria SIGAGRO en 2008.

Los proyectos de infraestructura de generación eléctrica existente consideran que el 52% de la energía producida presentaría riesgo por deslizamientos y un 3% se relacionaría con el riesgo por inundaciones. En cuanto a los proyectos por implementarse, este riesgo por deslizamientos sería del 44,1%, lo que indica que casi la mitad de los proyectos futuros estarían amenazados principalmente por este tipo de eventos.

Por otra parte, cerca del 24% de la infraestructura eléctrica se encuentra en situación de alto riesgo, lo que equivale a 679 km de redes de transmisión y a 518 km de redes de subtransmisión.

El cálculo de la pérdida de infraestructura energética asociada a eventos extremos se realizó considerando todos los componentes de la generación eléctrica. Para esto se georeferenciaron todas las plantas de generación eléctrica construidas y aquellas planificadas a la fecha en el plan de obras del Ecuador. Además, se revisaron las zonas de riesgo ante eventos extremos. A partir de esto se calcularon los potenciales daños y costos en este sector.

MAPA IV.11
ECUADOR: INFRAESTRUCTURA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA
EN ZONAS DE RIESGO



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC).

c) Infraestructura petrolera

La infraestructura petrolera comprende tres grandes grupos: i) extractiva, ii) de transporte y iii) industrial y de transferencia. El análisis histórico no mostró evidencia sustentada de susceptibilidad ante los eventos asociados al cambio climático, como se describe a continuación.

La infraestructura extractiva es la que se desarrolla en los campos de explotación y en los pozos de extracción. Este tipo de infraestructura se localiza en la Amazonía ecuatoriana, en terrenos no susceptibles de deslizamientos y poco susceptibles de inundación por las características del suelo en cuanto a absorción de agua y abundancia de caudales fluviales. Por lo tanto, el mayor riesgo se asocia a los sismos, pero no a los efectos del cambio climático.

La infraestructura de transporte (sistema de oleoductos y poliductos) se localiza a lo ancho del territorio nacional, en el subsuelo, y, por lo tanto, no es susceptible de verse afectada por deslizamientos e inundaciones. Los daños más comunes registrados a esta infraestructura son de carácter técnico y de sabotaje. Los deslizamientos que han dañado la red de oleoductos y poliductos han estado asociados a eventos sísmicos y volcánicos que no son imputables a los efectos del cambio climático.

La localización de la infraestructura industrial y de transferencia (estaciones de bombeo, locaciones de almacenamiento, refinerías e infraestructura para embarque de crudo por vía marítima) se planifica buscando evitar la vulnerabilidad ante distintos tipos de riesgo natural. Por esta razón, este tipo de infraestructura se encuentra deliberadamente aislada del tipo de eventos asociados a los efectos del cambio climático.

4. Impacto económico del cambio climático sobre la infraestructura

A partir de la identificación del riesgo asociado al cambio climático que enfrenta la infraestructura productiva, se calculó el potencial impacto económico. Para ello, se usó el costo directo de reposición de la infraestructura vial y el costo por pérdida de energía eléctrica. Los efectos se estiman por medio de un análisis contrafactual que distingue entre el impacto de cada escenario climático y el escenario inercial.

a) Infraestructura vial

Para el cálculo del impacto del escenario A2 se asumió que la infraestructura vial presentaría un alto grado de vulnerabilidad y que a lo largo del período, el porcentaje de pérdida de vías se iría incrementando hasta llegar al 20% en 2100. Estas pérdidas son valoradas a través del costo unitario medio de construcción y reconstrucción, que alcanza los 394.500 dólares por kilómetro de vía construida (incluidos puentes). Este costo unitario es un promedio ponderado y fue tomado del Informe Ejecutivo de la Dirección de Construcciones del Transporte del MOP actualizado a julio de 2009.

Por lo tanto, según se establece en el cuadro IV.29, el costo potencial del cambio climático alcanzaría los 424 millones de dólares en 2020 y los 776 millones de dólares en 2100 en el escenario A2, mientras que en el escenario B2, con vulnerabilidad moderada, el costo potencial sería menor (en 2100 alcanzaría los 259 millones de dólares)⁵⁹.

b) Infraestructura de generación eléctrica

El daño potencial en la infraestructura de generación eléctrica se calculó a partir de las posibles pérdidas ocasionadas por el cambio climático. Para ello, se asumió que del total de la capacidad de generación en riesgo se perdería el 50% en el escenario de alto impacto (A2).

El costo del daño se valoró utilizando el precio medio de compra de energía (5,54 centavos de dólar por kWh) en el mercado mayorista, calculado para 2008 por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC).

A partir de estos supuestos, el impacto en 2100 sería de casi 1.000 millones de dólares, que se perderían en el escenario A2 al dejar de funcionar esta infraestructura por un período de seis meses al año (para el mismo año, el escenario B2 presenta una pérdida en torno a los 330 millones de dólares).

⁵⁹ El costo del cambio climático se ha calculado considerando el daño del escenario climático descontando el daño del escenario inercial que incluye los costos de reposición y de reparación de vías.

c) Infraestructura de transmisión eléctrica

El costo estimado del impacto sobre la infraestructura de transmisión eléctrica se basa en los siguientes supuestos: i) el porcentaje de vías afectadas que estaría en alto riesgo por el cambio climático variaría de un 13% a un 20% en el período de estudio y ii) el costo unitario medio asociado a la construcción de una vía de transmisión se estima en 400.000 dólares por km⁶⁰.

En el cuadro IV.31 se presenta el costo de los efectos del cambio climático para el escenario A2 y se observa que para 2100 el impacto rondaría los 201 millones de dólares anuales (en el escenario B2, el costo alcanzaría los 81 millones de dólares para el mismo año).

El costo del cambio climático para toda la infraestructura productiva seleccionada (vial y eléctrica), descontando el escenario inercial, se estima que variaría entre los 1.000 millones de dólares y los 330 millones de dólares para 2020, para los escenarios A2 y B2, respectivamente. En 2100 se alcanzarían variaciones entre los 1.900 millones de dólares y los 670 millones de dólares en ambos escenarios.

En síntesis, para atenuar los efectos del cambio climático en la infraestructura del país sería necesario diseñar líneas de política asociadas a una estrategia de prevención y protección, que incluya medidas concretas para la preservación de la principal infraestructura en el sector eléctrico y vial. En este sentido, una de las principales medidas de política para la adaptación al cambio climático requeriría la inclusión de mecanismos financieros y fiscales que promuevan una efectiva conversión de tecnologías constructivas de infraestructura en modelos de asociación público-privada.

⁶⁰ No se consideraron los costos de rehabilitación de subredes.

CUADRO IV.29
ECUADOR: IMPACTO ANUAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL, ESCENARIO A2

Años	Infraestructura vial existente				Costo		Impacto del cambio climático (En millones de dólares)	
	Costo unitario (En millones de dólares/km)	Longitud de las vías (En km)	Índice de incremento de vías en el tiempo	Afectación alta (En porcentajes)	Daño estimado (En porcentajes)	Costo anual-escenario A2 (En millones de dólares)		Costo anual-escenario inercial (En millones de dólares)
2020	0,394	10 506	1,05	0,13	100	565	141	424
2030	0,394	10 506	1,1	0,15	100	683	171	512
2050	0,394	10 506	1,15	0,17	100	809	202	607
2070	0,394	10 506	1,2	0,19	100	944	236	708
2100	0,394	10 506	1,25	0,2	100	1 035	259	776

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO IV.30
ECUADOR: IMPACTO ANUAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA INFRAESTRUCTURA
DE GENERACIÓN ELÉCTRICA, ESCENARIO A2

Años	Energía media estimada			Costo anual-escenario A2		Impacto del cambio climático (En millones de dólares)	
	Total capacidad de generación en riesgo (En gWh/año)	Afectación alta (En porcentajes)	Capacidad de generación afectada (En gWh/año)	Costo unitario (En centavos/kWh)	Costo anual-escenario inercial (En millones de dólares)		
2020	23 157	50	11 579	5,54	641	160	481
2030	26 255	50	13 128	5,54	727	182	545
2050	35 548	50	17 774	5,54	985	246	739
2070	38 645	50	19 323	5,54	1 070	268	803
2100	47 938	50	23 969	5,54	1 328	332	996

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), 2008.

CUADRO IV.31
ECUADOR: IMPACTO ANUAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA INFRAESTRUCTURA
DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA, ESCENARIO A2

Años	Costo unitario (En millones de dólares/km)	Infraestructura de transmisión existente				Daño estimado (En porcentajes)	Costo anual-escenario A2 (En millones de dólares)	Costo anual-escenario inercial (En millones de dólares)	Impacto del cambio climático (En millones de dólares)
		Longitud de las redes de transmisión (En km)	Índice de incremento de redes de transmisión en el tiempo	Afectación (En porcentaje)					
2020	0,4	4 789	1,05	0,13	50%	131	33	98	
2030	0,4	4 789	1,1	0,15	50%	158	34	124	
2050	0,4	4 789	1,15	0,17	50%	187	36	151	
2070	0,4	4 789	1,2	0,19	50%	218	37	181	
2100	0,4	4 789	1,25	0,2	50%	239	39	201	

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), 2008.

G. Impacto del cambio climático en las islas Galápagos⁶¹

Las islas Galápagos están localizadas a 1.050 km de la costa del Ecuador, en el océano Pacífico, y están conformadas por 13 islas volcánicas, 6 islas pequeñas y 107 rocas e islotes. Oficialmente, se las denomina “archipiélago de Colón” o “región insular”. Su formación data de hace más de cinco millones de años y son de origen tectónico y volcánico. Las islas Isabela y Fernandina son las más jóvenes y aún se encuentran en formación.

El 97% (7.882 km²) del territorio insular se encuentra en la categoría de “área protegida” como Parque Nacional y el 3% restante corresponde a zonas urbanas, rurales y a la isla Baltra, donde hay una base militar y se encuentra el aeropuerto principal de la región. La reserva marina, que alcanza los 140.000 km² oceánicos, también se considera parte del Parque Nacional (PNG, 2000).

Las islas Galápagos poseen un alto grado de endemismo de especies, por lo que en 1978 su valor estético fue declarado Patrimonio de la Humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

La biodiversidad, reflejada en las especies, los ecosistemas y los paisajes únicos, constituye la principal atracción del turismo, que es el motor central de la economía local y su fuente más importante de ingresos. Actualmente, las islas Galápagos reciben 170.000 visitantes al año. A esta actividad le sigue la pesca artesanal, ya que el sector pesquero es el más involucrado en el manejo de la reserva marina.

Al igual que otras islas oceánicas, las islas Galápagos son vulnerables al cambio climático, ya que su clima está influenciado por las corrientes marinas y está expuesto a eventos extremos, especialmente al fenómeno ENOS y a constantes erupciones volcánicas.

Para la elaboración del análisis del impacto del cambio climático en las islas Galápagos se utilizó la información secundaria existente. Este proceso comprendió diversas etapas.

En la primera etapa se revisó la base histórica de las variables climáticas de temperatura y precipitación⁶². La segunda fase consistió en el análisis de los resultados anteriores y su posible influencia sobre la biodiversidad, en particular en el comportamiento de especies seleccionadas para las que se contaba con información disponible. Estos efectos no fueron cuantificados económicamente. También se identificaron otros posibles efectos, derivados del cambio climático, que podrían llegar a ser significativos en las islas, como las afectaciones en algunas especies importantes para la pesca artesanal y los efectos en los recursos hídricos y en la salud de la población. Sin embargo, en este estudio no se pudo cuantificar los efectos económicos en estos tres casos.

En la tercera fase, se identificaron los efectos por la posible elevación del nivel medio del mar sobre el territorio de las islas mediante el uso de cartografía. Para ello se elaboraron mapas, considerando un metro de elevación del nivel medio del mar para fines de siglo, que permitieron identificar la posible vulnerabilidad a la inundación de los sitios de interés turístico⁶³. Finalmente, con la identificación de los posibles sitios turísticos afectados y los porcentajes de vulnerabilidad, se valoró lo que sería el impacto económico sobre la actividad turística del archipiélago.

⁶¹ Dadas las características particulares de las islas Galápagos, se ha incluido una sección diferenciada de los acápite de biodiversidad y recursos marinos y costeros para relevar los efectos físicos y económicos esperados en este ecosistema.

⁶² El modelo PRECIS, utilizado en todos los demás estudios sectoriales, tiene una escala mayor (50 km x 50 km) en relación con el territorio de las islas, lo que fue una limitante para realizar las proyecciones para los años de inflexión seleccionados. Por lo tanto, se analizaron los cambios sufridos durante eventos extremos como el fenómeno ENOS y, a partir de ello, se realizó un modelo geográfico en función de la elevación del nivel del mar, basado en la bibliografía existente y en las proyecciones ya realizadas a nivel mundial.

⁶³ La elevación del nivel medio del mar se consideró a un metro sobre la base del análisis de Dasgupta y otros (2007) y esa elevación permitió, mediante la herramienta cartográfica, identificar los efectos en las islas.

Dada la dificultad de valorar económicamente la pérdida en servicios ecosistémicos y los cambios en la población animal y vegetal de Galápagos, declarado Patrimonio de la Naturaleza de la Humanidad y Reserva de la Biosfera por la UNESCO, es que se han incluido mayoritariamente impactos físicos del cambio climático. En particular, se han relacionado los cambios en los ecosistemas de estas islas con eventos ENOS, que podrían acentuarse con el cambio climático, y con cambios en precipitación y temperatura. Como un primer avance de valoración económica se ha incluido el costo por pérdidas en turismo a causa de eventos extremos que podrían afectar las visitas significativamente.

1. Análisis histórico del clima de las islas Galápagos

A diferencia del Ecuador continental, las islas Galápagos han experimentado una disminución de 1°C en la temperatura media anual entre 1961 y 2008, mientras que las variables de la temperatura del mar y las precipitaciones medias se habrían mantenido en rangos estables, con excepción de los períodos donde se registraron fenómenos ENOS (1982-1983 y 1997-1998), cuando las variaciones de las precipitaciones anuales habrían superado las observadas en el continente⁶⁴. En 1983 hubo un incremento en los niveles de pluviosidad del 600% y también se registraron variaciones significativas en otras variables climáticas (véase el cuadro IV.32).

CUADRO IV.32
ISLAS GALÁPAGOS: COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS EN EVENTOS ENOS

Evento climático	1983	Variación ^a (En porcentajes)	1998 ^b	Variación (En porcentajes)
Precipitación total (En mm/año)	2 768,7	619	1 752	455
Duración de la precipitación (En días)	201	302	146,03	292
Precipitación media anual (En mm/año)	230,73	647	31,35	102
Mes más húmedo: mayo (En mm/año)	660,2	1 786	448,3	1 280
Temperatura media anual del mar (23,36°C para el período 1964-1982) (En °C)	25,80	2,44	24,71	1,35
Mes con mayor temperatura del mar: marzo (media: 25,15°C) (En °C)	28,56	3,4	28,47	3,32
Temperatura media anual del aire (En °C)	...	...	26,99	...

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de la Estación Científica Charles Darwin.

^a Respecto del promedio de años donde no se registran eventos ENOS.

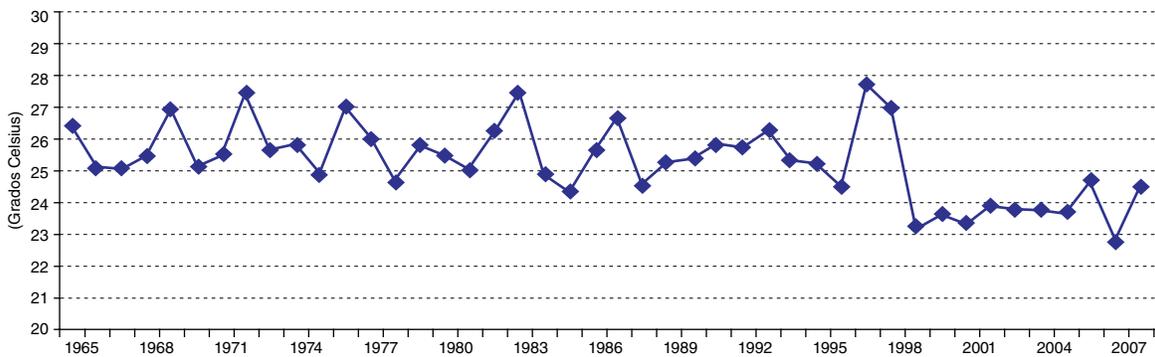
^b Abril es el mes más húmedo de 1998.

⁶⁴ La información climática referente a las islas ha sido proporcionada por la Fundación Charles Darwin (FCD) que, en convenio con el INAMHI, posee una estación meteorológica en Bahía Academia de la isla Santa Cruz, que fue instalada el 1 de febrero de 1964, a seis msnm (registros diarios a partir de 1965).

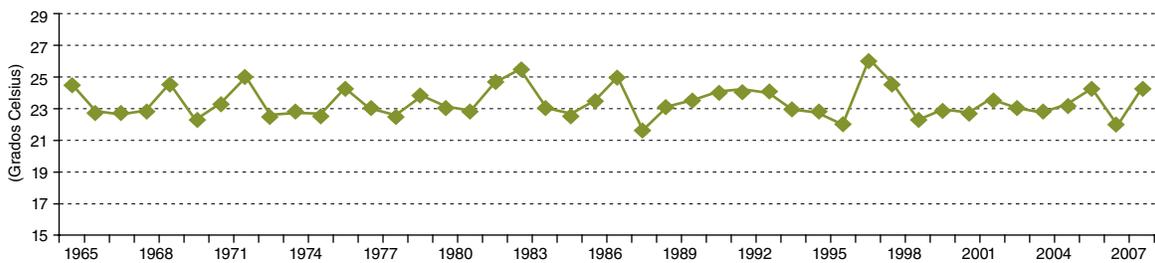
Para ilustrar un ejemplo de la variabilidad de la temperatura y precipitación en las islas Galápagos durante los fenómenos ENOS, se presentan en el gráfico IV.17 las tendencias en precipitación y temperatura del aire y del mar para la isla Santa Cruz. Como se puede observar, los máximos de temperatura y precipitación se observan en los años en que se presentaron los fenómenos de El Niño más drásticos (1983-1984 y 1997-1998). En lo que respecta a la precipitación, 1983 fue el año más húmedo, ya que sobrepasó todos los registros históricos.

GRÁFICO IV.17
ISLA SANTA CRUZ: TENDENCIAS EN PRECIPITACIÓN,
TEMPERATURA DEL AIRE Y DEL MAR, 1965-2008
(En mm y °C)

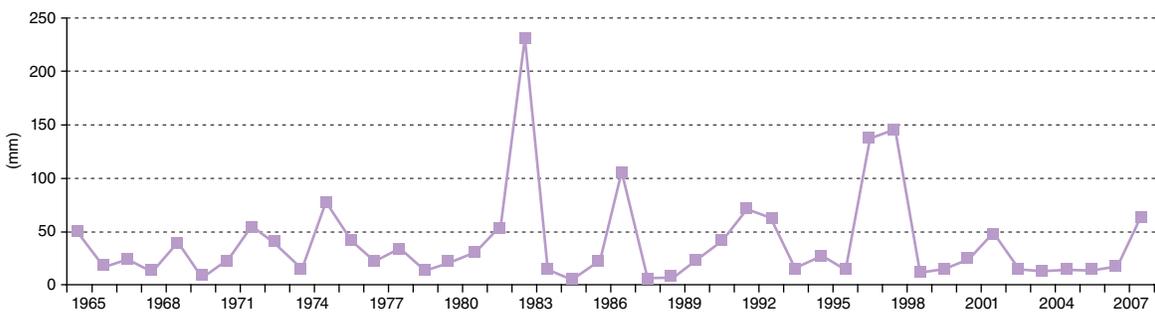
A. Temperatura del aire



B. Temperatura del mar



C. Precipitación



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de la estación meteorológica de la Fundación Charles Darwin (FCD), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

2. Vulnerabilidad de la biodiversidad ante los eventos extremos y el cambio climático⁶⁵

Para el análisis de la vulnerabilidad de la biodiversidad frente a cambios en las variables climáticas (temperatura y pluviosidad) se observaron los datos de algunas especies seleccionadas, particularmente de aquellas para las cuales se identificaron registros históricos suficientes como para determinar su estado actual, su distribución y sus fluctuaciones a lo largo del tiempo y en épocas de cambios drásticos, como ocurre durante el fenómeno de El Niño. Las especies analizadas son las siguientes: i) cormoranes no voladores, ii) tortuga verde, iii) iguana marina, iv) pingüinos, v) albatros y vi) león marino. También se analizó el comportamiento de los corales, en cuyo caso, a pesar de no contar con información histórica, se consideraron observaciones según referencias secundarias.

Este análisis es necesario por la importancia de la biodiversidad como estabilizador del sistema, pero además porque la presencia de estas especies es uno de los principales atractivos turísticos de las islas.

a) Cormoranes no voladores

Esta especie de ave acuática es endémica de las islas Galápagos, registra un bajo nivel de población y está considerada dentro de la categoría “en peligro de extinción” (UICN, 2009)⁶⁶. Sobre la base de lo observado durante el fenómeno de El Niño de 1998, esta especie podría experimentar un posible declive de su población asociado a la disminución de algas rojas, lo que sería consecuencia de las variaciones en la temperatura del mar.

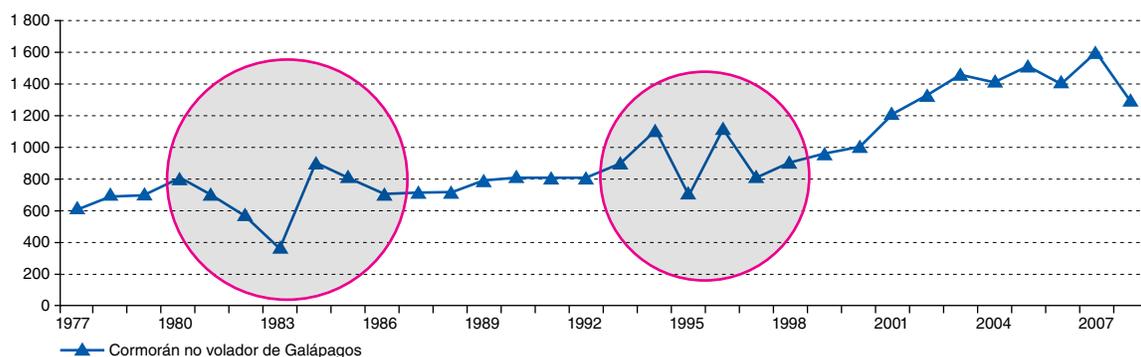
Como se puede observar en el gráfico IV.18, la población alcanzaba a alrededor de 800 individuos en los años setenta y se redujo en un 50% durante el ENOS de 1982-1983⁶⁷. Posteriormente la población aumentó y en el evento ENOS de 1997-1998 ya contaba con más de 1.000 individuos. Este último evento parece afectar en menor medida a la población de cormoranes, pues solo genera una pequeña reducción. En 2006, el censo de población indicó el número más alto (alrededor de 1.300 cormoranes).

⁶⁵ Si bien los fenómenos ENOS no están considerados como eventos asociados al cambio climático, las variaciones de temperatura y precipitación registradas históricamente para estos fenómenos brindan información sobre la vulnerabilidad de las especies frente a marcados cambios en estas variables.

⁶⁶ La población de cormoranes no voladores se distribuye sobre todo en las islas Fernandina (a lo largo de casi toda la costa este) e Isabela (costas norte y oeste). Normalmente anida en sitios de afloramientos planos de lava, por lo general a unos 100 metros de las líneas de costa (BirdLife International, 2008b).

⁶⁷ La afectación en respuesta a perturbaciones marinas podría volver a ocurrir, incluso con mayor intensidad. Esto podría estar relacionado con las altas precipitaciones (que en estos años fueron más intensas que en el evento ENOS de 1997-1998 y provocarían inundaciones) (IPCC, 2007).

GRÁFICO IV.18
ISLAS GALÁPAGOS: POBLACIÓN DE CORMORANES, CENSOS 1977-2008



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de la Fundación Charles Darwin (FCD), 2009b.

Nota: Las áreas ovaladas en rosado indican los años en que se presentaron eventos ENOS.

La vulnerabilidad de esta especie se debe principalmente a sus condiciones biológicas que le impiden volar, lo que la vuelve sedentaria y reduce su dispersión, en especial ante disturbios extremos o catástrofes.

Mediante un análisis estadístico, se halló un coeficiente de correlación alto, negativo ($r = -0,7$) y altamente significativo entre la población de Cormoranes censados en la isla Isabela (1977-2007) y la temperatura del aire. Esto indica que a mayor temperatura del aire, menor sería la población de cormoranes⁶⁸.

b) Tortuga verde

La población de esta especie migratoria —que también se encuentra catalogada como “en peligro de extinción” (UICN, 2009)— tiene una amplia distribución en aguas tropicales y subtropicales, es abundante en Galápagos y se alimenta de algas marinas de los arrecifes⁶⁹. La población que anida en Galápagos es la más pequeña registrada (pese a que es la especie de tortuga marina más grande) y la que se encuentra en mejor estado en relación con las que habitan en otros lugares del Pacífico oriental (Zárate y Dutton, 2002, en Danulat y Edgar, 2002).

El análisis de correlación de Pearson realizado para este estudio mostró un coeficiente alto, negativo y significativo entre la población de tortugas marinas verdes y la temperatura del aire y del mar, lo que sugiere que a mayor temperatura del mar ($-0,722^{\circ}\text{C}$) y del aire ($-0,843^{\circ}\text{C}$), menor es la población de tortugas marinas anidando⁷⁰. Con la precipitación se encontró una correlación media, negativa, pero significativa, lo que indica que a mayor precipitación ($-0,522$ mm), menor población de tortugas marinas anidando.

c) Iguana marina

La iguana marina, que se caracteriza por ser la única iguana que se sumerge bajo las aguas marinas para conseguir su alimento —que consiste principalmente en algas marinas rojas—, es una

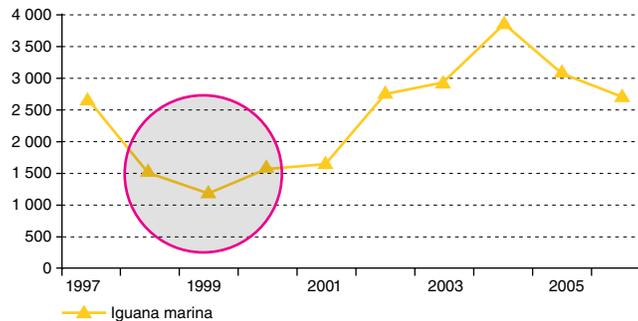
⁶⁸ Este estudio se realizó por medio de un análisis de correlación de Pearson.

⁶⁹ El ciclo de anidación de la tortuga verde es de dos a tres años y ocurre entre diciembre a junio (época calurosa). Los principales sitios de anidación son: Quinta Playa, Bahía Barahona, Las Bachas y Las Salinas (Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas, 2008).

⁷⁰ Población censada en Quinta Playa e isla Isabela (1976-1983 y 2001-2007).

especie endémica de las islas Galápagos⁷¹. En el gráfico IV.19 se muestra la situación de esta especie con posterioridad al evento ENOS de 1997-1998, cuando la población se redujo a menos de 1.000 ejemplares y posteriormente se registró una tendencia a la recuperación⁷². Algunos autores (Danulat y Edgar, 2002) asocian el declive de la población de iguanas marinas durante este evento a la disminución de su principal alimento: las algas rojas (del 72% al 35%).

GRÁFICO IV.19
ISLAS GALÁPAGOS: VARIACIÓN DE LA POBLACIÓN DE IGUANAS MARINAS
DURANTE EL FENÓMENO ENOS, 1997-2005



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de la Fundación Charles Darwin (FCD), 2009b.

d) Pingüino de Galápagos

En la actualidad, la población de pingüinos de Galápagos (*Spheniscus mendiculus*), una especie endémica de las islas, es relativamente baja y pertenece a la categoría “en peligro de extinción” (UICN, 2009)⁷³. Esta especie es considerada la segunda más pequeña (mide unos 53 cm y pesa unos 2,2 kg).

Como puede observarse en el gráfico IV.20, la población de esta especie a 2008 es menor a los 1.000 individuos, lo que muestra una disminución significativa con respecto a los casi 2.000 individuos que existían en 1970. Durante los fenómenos de El Niño de 1982-1983 y 1997-1998, la población de pingüinos se redujo a menos de 500 individuos.

Su afectación se debió, principalmente, a que esta especie depende de las corrientes frías para su supervivencia, pues estas traen consigo los pequeños peces que son su alimento primordial, lo que no sucede con las aguas cálidas. Se cree además que los efectos de los fenómenos ENOS podrían afectar más a las hembras, lo que hace que la recuperación sea más lenta (BirdLife International, 2008a). Esta especie sería muy vulnerable al cambio climático, pues su población aún no ha logrado recuperarse y alcanzar el nivel que presentaba en los años setenta.

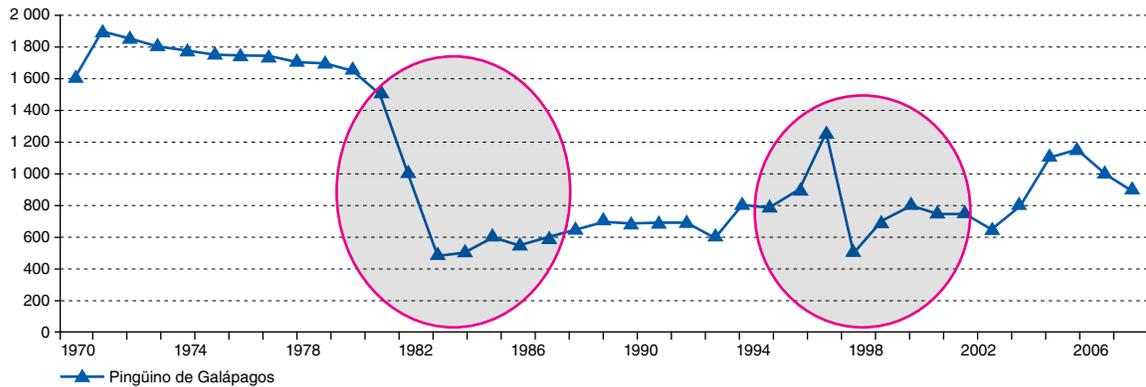
⁷¹ Esta especie está distribuida en las islas Baltra, Daphne, Darwin, Marchena, Pinzón, Rábida, Santa Fe, Seymour y Wolf (Nelson y otros, 2004).

⁷² Para esta especie apenas se tienen registros históricos poblacionales desde 1997.

⁷³ Se puede localizar en las islas Fernandina, Isabela, Floreana, Bartolomé y Santiago, así como en algunos islotes menores, sobre todo entre las rocas y formaciones de lava, pues anidan (aproximadamente dos huevos) entre las grietas o pequeñas cuevas que estas forman. La población más grande se encuentra en el lado sureste de la isla Isabela.

Por lo tanto, de volver a presentarse condiciones como las del evento ENOS de 1982-1983, como sugieren algunos autores que ocurrirá a fines de este siglo (IPCC, 2007), se reduciría la resiliencia de esta especie frente a amenazas antropogénicas⁷⁴.

GRÁFICO IV.20
ISLAS GALÁPAGOS: POBLACIÓN DE PINGÜINOS, CENSOS 1977-2008



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de la Fundación Charles Darwin (FCD), 2009b.

Nota: Las áreas ovaladas en rosado indican los años en que se presentaron eventos ENOS.

e) Albatros

Otra de las especies analizadas fue la de los albatros (*Phoebastria irrorata*), una especie nativa de Galápagos⁷⁵. Se encuentra en la categoría de especie “en peligro crítico” (UICN, 2009), ya que tiene un rango muy bajo de anidación y está confinada a una isla. Se evidenció una declinación substancial de su población (BirdLife International, 2008c), lo que la hace muy vulnerable a eventos asociados al cambio climático y susceptible a los acontecimientos del ENOS.

f) León marino

Según el estudio de la Fundación Charles Darwin (2009b), otra especie que se muestra muy vulnerable es la del león marino (*Zalophus wollebaeki*). Al final del ENOS de 1997-1998, se observó un decrecimiento significativo de la población, principalmente por hambruna, cesó la reproducción y aparecieron epidemias. En un censo realizado en 1978 se registró una población de cerca de 40.000 individuos, pero en un posterior conteo llevado a cabo en 2001 se constató una reducción del 50% de la población, asociada a acontecimientos climáticos repetidos del ENOS (Alava y Salazar, 2006, en Auriolles y Trillmich, 2008a).

Por su parte, la especie de los corales se vio afectada durante el evento ENOS de 1982-1983, ya que se produjo el blanqueamiento y la subsiguiente muerte de corales formadores de arrecifes (escleractinios) en el océano Pacífico Este, en especial de los que se encontraban ampliamente distribuidos en aguas poco profundas. Esto ocurre cuando las microalgas que viven en simbiosis con el coral son expulsadas o sus pigmentos de clorofila son liberados. Es probable que las características asociadas al ENOS, como la elevada temperatura del agua, los cambios en la salinidad, la sofocación por sedimentos, la disminución

⁷⁴ Predación por especies introducidas, derrames de petróleo, malas prácticas de pesca, introducción de los vectores de malaria aviar y sobrecarga de turismo, entre otras.

⁷⁵ Su principal colonia de anidación está al sur de la isla Española, principalmente en áreas de escasa vegetación y lava, y existen pocas parejas en la Isla de la Plata de la provincia de Manabí.

de la productividad primaria y el incremento del oleaje, o la unión de estos factores, sean las principales causas del blanqueamiento de los corales, y el factor más determinante es el calentamiento del agua del mar (Glynn y D’Croz, 1990; Glynn y otros, 1988, en FCD, 1989).

Alrededor de las islas Santa Cruz, Floreana, San Cristóbal, Santa Fe, Bartolomé e Isabela se observaron marcadas reducciones de la extensión de coral en humedales marino-costeros. En Galápagos, las anomalías en la temperatura de la superficie del mar ascendieron hasta los 2°C durante un período de más de ocho meses (Glynn y otros, 1988). Experimentos de simulación relacionados con el ENOS han demostrado que basta un incremento leve de la temperatura del agua para causar el blanqueamiento y la mortalidad de los corales escleractinios de aguas poco profundas, a un nivel similar a lo ocurrido en sitios naturales (Glynn y D’Croz, 1990).

El calentamiento global, que proyecta un aumento de la temperatura del agua del mar, puede ser un agravante más de esta situación, lo que ya ha sido detallado en los informes del IPCC (2001 y 2007) y en el documento de Burke y Maidens (2004).

La pesca artesanal, una actividad económica importante a nivel local, también podría verse más afectada en las islas a causa de las variaciones de la temperatura y las precipitaciones provocadas por el cambio climático. Las pesquerías dependen de dos especies demersales: el pepino de mar y la langosta. En ambas especies se está viendo un decrecimiento poblacional paulatino (Hern y Murillo, 2007; Hearn y otros, 2007, 2005 y 2004; Moreno y otros, 2007) a causa de la sobreexplotación del crecimiento de la pesca artesanal (Taylor y otros, 2006) y, probablemente, de las variaciones en las dinámicas oceanográficas y de las costas por efecto de las variaciones climáticas, como ha quedado registrado en los años en que ha habido eventos ENOS, como el de 1982-1983 (Robalino y otros, 1985, en Robinson y del Pino, 1985).

Las variaciones climáticas también podrían tener cierto impacto sobre los recursos hídricos, sobre todo en las islas que concentran gran cantidad de población, ya que de los estudios realizados por d’Ozouville (2007, en: FCD, PNG e INGALA 2007 y 2008) se concluye que el establecimiento de zonas pobladas en Galápagos no ha seguido una planificación en relación con la existencia de fuentes de agua⁷⁶. Por lo tanto, se podría pensar que es probable que el crecimiento de la población y el cambio climático produzcan conflictos en los años venideros en torno a este recurso vital. Este es un indicador de la necesidad de implementar un plan integral de agua dulce.

En materia de salud cabe destacar que, según estudios realizados tras el fenómeno ENOS de 1982-1983, en Galápagos se registró una alta incidencia de infecciones respiratorias agudas, de afecciones en la piel y de trastornos gastrointestinales (Robalino y otros, 1985, en Robinson y del Pino, 1985). En 2001 ingresó a Galápagos el dengue clásico que se trasmite por el mosquito *Aedes aegypti*. El Ministerio de Salud Pública (Aguilar, 2007) reportó para Galápagos un promedio de 71 casos de dengue clásico desde 2002 hasta 2007⁷⁷. Si bien, al momento la tendencia de esa enfermedad es a disminuir, se podría esperar que las variaciones ocasionadas por el cambio climático crearan un ambiente adecuado para el desarrollo de enfermedades transmitidas por vectores y el número de casos podría volver a incrementarse.

⁷⁶ Los estudios de d’Ozouville (2007) demuestran que en Puerto Ayora (Santa Cruz), la tasa de extracción del acuífero es inferior a la tasa estimada de recarga por infiltración de precipitaciones eficaces para el sistema subterráneo. Sin embargo, en el estudio de las características del acuífero se indica que este tiene poco volumen de agua dulce y está en frágil equilibrio con el mar. Además, la variabilidad climática en las islas, además de ser impredecible, no permite una recarga estable, mientras que la demanda es cada vez mayor.

⁷⁷ Este estudio fue realizado en época seca, por lo que se prevé que en las épocas húmedas, cuando hay un mayor desarrollo de estos vectores en el continente, la probabilidad de que algunos de ellos se introduzcan en las aeronaves y embarcaciones es más alta.

3. Probables efectos en la zonificación de los ecosistemas en Galápagos

La probable elevación de la temperatura y las modificaciones de los regímenes de pluviosidad también podrían provocar cambios estructurales en los ecosistemas. Los principales efectos se verían en las especies nativas y no tanto en las especies invasoras, que se caracterizan por ser muy adaptables a amplios rangos climáticos y meteorológicos, y son resistentes a eventos extremos. Además, tienen una tasa reproductiva elevada, tiempos cortos de maduración y mecanismos eficaces de dispersión, tres características que las hacen altamente competitivas (Myer y otros, 2004; Hellmann y otros, 2008; Low, 2008, en TNC, 2008).

El Parque Nacional Galápagos ha establecido una zonificación ecosistémica que tiene relación con la altitud, la temperatura y los niveles de precipitación.

CUADRO IV.33
ISLAS GALÁPAGOS: ZONIFICACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS, SEGÚN ALTITUD Y FORMAS DE VIDA

Zona	Altitud (En msnm)	Temperatura media (En °C)	Características
Zona litoral	0	21-22	Subsisten comunidades biológicas adaptadas a las subidas y bajadas de mareas y a la alta salinidad. Existen manglares.
Zona árida	0-150	21-22	Se caracteriza por su baja humedad y por especies de flora típica de desierto, como los cactus de lava y candelabro (endémicos) y del género <i>Opuntia</i> , alimento de tortugas e iguanas terrestres.
Zona de transición	150-300	17-21	Es una zona entre seca y húmeda. Existen árboles, como el palo santo, que pierden sus hojas en época seca. Se encuentran líquenes y musgos que se desarrollan mejor en época húmeda.
Zona de scalesia	300-700	14-17	Es una zona húmeda donde domina la especie del género <i>Scalesia</i> , que forma bosques que son más densos a partir de los 650 msnm. Los suelos son ricos en materia orgánica, por lo que en esta zona se ubican las fincas agropecuarias.
Zona de miconia	400-700	14-17	Se ubica particularmente en las islas Santa Cruz y San Cristóbal. Domina el arbusto endémico cacaotillo (<i>Miconia robinsoniana</i>), que requiere de mucha humedad para su desarrollo y forma bosques entremezclados con helechos y pastos. También existen transformaciones para agricultura.
Zona de pampa	550-cumbre	10-12	Solo se encuentra en las islas de mayor altura. Existen helechos y pastos. La especie de helecho <i>Cyathea weatherbyana</i> puede llegar a los tres metros de altura. También se ha utilizado para fines agrícolas.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del Parque Nacional Galápagos, véase [en línea] www.galapagospark.org.

De darse incrementos de la temperatura del aire y la precipitación asociados al cambio climático, podrían registrarse modificaciones en esta zonificación ecosistémica, por lo que se podría asumir que se producirá una ampliación de los bosques húmedos de *Scalesia* y *Miconia*. La zona de transición se transformará en zona húmeda y los hábitats secos y la pampa posiblemente reducirán su extensión. Estos cambios serán aprovechados por las especies invasoras y algunas que aún no lo son podrían convertirse en plagas.

Las zonas de mayor humedad de Galápagos, como los bosques de *Scalesia*, son las que se han mostrado más frágiles durante los eventos ENOS, cuando la mortalidad de la planta dominante ha sido masiva, especialmente en el evento de 1982-1983.

El costo económico asociado al impacto del cambio climático en las especies de las islas no ha sido estimado en este estudio. Sin embargo, se considera que el principal impacto económico estaría asociado a la disminución de ingresos relacionados con la investigación científica y otros valores como beneficio intrínseco, además de los valores de uso presente y de opción que representa este ecosistema único.

4. Escenario de elevación del nivel del mar en las islas Galápagos

Como se ha destacado en el acápite de impacto en los recursos marinos y costeros del Ecuador, hay diversas proyecciones del nivel de subida del mar, por lo que se decidió realizar el análisis considerando un metro de elevación del mar, sobre la base del análisis de Dasgupta y otros, 2007⁷⁸.

Los resultados de la modelación de un escenario de elevación del nivel medio del mar (un metro) que se esperaría para fin de siglo indican que las islas pequeñas y los islotes, como Albany, Cadwell, Champion, Mosquera y Caamaño, serían los más vulnerables pues quedarían totalmente inundados (pérdida del 100% de su territorio)⁷⁹. La mitad del territorio de las islas Daphne Mayor, Gardner y Wolf también se perdería. Por otra parte, el porcentaje de territorio afectado en las islas más grandes parecería ser inapreciable. Sin embargo, el número de hectáreas perdidas es considerable y pueden verse afectados sitios importantes desde el punto de vista social, turístico y ecosistémico. Por ejemplo, la isla Isabela perdería 10.084 hectáreas, el 2% de su área total.

En el cuadro IV.34 se presenta el área total de las islas e islotes, el porcentaje de pérdida en las costas y su vulnerabilidad a las inundaciones por la elevación del nivel medio del mar de un metro⁸⁰.

CUADRO IV.34
ISLAS GALÁPAGOS: TERRITORIO PERDIDO POR ISLA, ISLOTE O ROQUERÍO
A CAUSA DE INUNDACIÓN, ESCENARIO DE ELEVACIÓN DEL NIVEL MEDIO
DEL MAR DE UN METRO

Isla / islote / roquerío	Área total (En ha)	Pérdida de territorio por inundación (En porcentajes)	Territorio perdido por inundación (En ha)
Isla Albany	9,73	100	9,73
Isla Baltra	2 700,00	12,83	346,28
Isla Bartolomé	126,18	23	29,02
Isla Cadwell	23,26	100	23,26
Isla Champion	9,96	100	9,96
Isla Daphne Mayor	33,43	49,74	16,63

(Continúa)

⁷⁸ Desde el punto de vista del análisis geográfico para este estudio, una proyección menor a un metro de elevación del mar no permite una visualización de las afectaciones por la escala utilizada. Este valor podría estar subestimado debido a que en el cálculo no se incluye el área de muchos otros pequeños islotes y rocas que existen en el archipiélago.

⁷⁹ Esta clasificación es una interpretación a juicio de los autores del presente documento en función de lo observado en el mapa, pues, debido a que se desconocen las coordenadas geográficas limítrofes de cada sitio, no es posible calcular el área exacta de inundación. No obstante, es una aproximación válida.

⁸⁰ Modelo de simulación de la elevación del nivel medio del mar: modelo digital de terreno (MDT) y curvas de nivel y geoprocetamiento para la identificación de zonas de inundación a nivel provincial. Cartografía: mapa de cuencas hidrográficas, SENAGUA, 2009. Plan Nacional de Desarrollo.

Cuadro IV.34 (conclusión)

Isla / islote / roquerío	Área total (En ha)	Pérdida de territorio por inundación (En porcentajes)	Territorio perdido por inundación (En ha)
Isla Edén	22,96	40,67	9,34
Isla Enderby	13,06	21,37	2,79
Isla Española	9 800,00	2,69	263,88
Isla Fernandina	64 200,00	1,60	1 025,19
Isla Gardner	81,56	49,14	40,08
Isla Genovesa	1 363,64	2,96	40,3
Isla Isabela	458 800,00	2,20	10 084,08
Isla Marchena	13 173,10	2,73	360,27
Isla Mosquera	9,01	100	9,01
Isla Pinta	5 943,28	4,46	264,84
Isla Pinzón	1 800,00	2,33	41,93
Isla Rábida	517,95	4,06	21,03
Isla San Cristóbal	55 800,00	2,91	1 625,38
Isla San Salvador	57 542,73	2,55	1 467,1
Isla Santa Cruz	98 600,00	2,15	2 119,56
Isla Santa Fe	2 400,00	2,62	62,97
Isla Santa María	17 200,00	0,38	65,07
Isla Seymour norte	180,89	26,69	48,29
Isla Sombrero Chino	23,36	21,83	5,1
Isla Teodoro Wolf	125,92	66,47	83,69
Isla Tortuga	130,00	32,09	41,71
Islote Caamaño	7,04	100	7,04
Islote Watson	2,80	100,00	2,8
Roca León Dormido	31,73	15,95	5,06
Roca Redonda	4,18	73,72	3,08
Roca Steven	1,82	45,53	0,83
Rocas Gordon	3,00	59,25	1,78
Otros	...	...	95,4
Total			18 232,48

Fuente: Elaboración propia, sobre la base del modelo de simulación de elevación del nivel medio del mar, con información de “Cuencas Hidrográficas”, Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA, 2009), Plan Nacional de Desarrollo.

Nota: Se usó el modelo digital de terreno (MDT), curvas de nivel y geoprocésamiento para la identificación de zonas de inundación. El total de territorio perdido en las islas Galápagos es un valor que puede estar subestimado debido a que no se ha incluido en el cálculo el área de muchos otros pequeños islotes y rocas que existen en el archipiélago.

La probable pérdida de territorio de las islas tendría significativas implicaciones para el ámbito científico-ecológico, así como para la actividad turística en el archipiélago, que se realiza principalmente en el Parque Nacional Galápagos (Izurieta y otros, 2008). A continuación, se resumen algunos ejemplos de estas posibles afectaciones a las islas por efectos de la elevación del nivel medio del mar.

Para ejemplificar la modelación de la elevación del mar realizada para este estudio, en los mapas IV.12 y IV.13 se presenta la dimensión de pérdida de distintas islas e islotes con un metro de elevación del nivel medio del mar.

La isla Santa Cruz tiene una superficie de 98.600 hectáreas y una altitud máxima de 864 metros. Además de que en ella se asienta Puerto Ayora, el mayor poblado del archipiélago, en esta isla también se ubican la Estación Científica Charles Darwin y las oficinas centrales del Servicio del Parque Nacional, donde funciona un centro de crianza de tortugas terrestres. El territorio perdido por la elevación del nivel medio del mar alcanzaría las 2.120 hectáreas, equivalentes al 2,15% del área total. Debido a esta situación, los sitios relevantes para el turismo y la ecología, como Las Grietas, donde se encuentran lagunas salinas, y sitios de observación de aves como la gaviota de lava y el ave denominada “vuelve piedras”, tendrían alta vulnerabilidad. Otros sitios turísticos de alta vulnerabilidad son la Playa de los Perros, el Pozo de las tintoreras, donde se dan avistamientos de tiburones y otras especies, así como sitios de importancia ecológica y turística como Islas Plazas, Playa las Bachas, Bahía Tortuga y Bahía Ballena.

La isla San Cristóbal, ubicada en el extremo este del archipiélago, mide 55.800 hectáreas. Debido a que es de las pocas islas que posee fuentes de agua dulce, en ella se han establecido seres humanos desde hace 100 años. Existe un lago, ubicado en el cráter del volcán El Junco, a 700 msnm, que se llena durante la estación húmeda, ya que sus paredes no permiten una filtración. Este lago brinda un importante servicio a las aves acuáticas que utilizan sus aguas para limpiarse las plumas de la sal marina.

Según el mapa IV.13, la dimensión de pérdida territorial en la isla de San Cristóbal sería de 1.625 hectáreas, alrededor del 3% del área total. Si bien este porcentaje de pérdida es pequeño, es importante destacar que varios de sus atractivos turísticos serían altamente vulnerables a la elevación del mar, como ocurre con el islote Lobos, un sitio de anidación de diversas especies, como piqueros de patas azules, fragatas, lobos marinos y tortugas marinas.

La isla Mosquera es considerada un importante sitio turístico y tiene probabilidad de inundación total. Ubicada entre las islas Baltra y Seymour Norte, está constituida por un arrecife de rocas y corales que nacieron a raíz de un levantamiento de lava evidenciado por una base de rocas, por lo que dispone de una gran playa de arena blanca. La importancia de este lugar radica en que posee una de las poblaciones más grandes de lobos marinos de las islas Galápagos, que podría verse afectada por el impacto de la elevación del nivel medio del mar. Además, existen varias especies de aves costeras, como las gaviotas de lava, que anidan en sus zonas abiertas. Otra referencia de su importancia ecológica es que en este sitio se han observado orcas (*Orcinus Orca*) que vienen para alimentarse de los lobos.

La isla Daphne Mayor es sitio de estudios y monitoreo a largo plazo de los pinzones de Darwin, razón por la cual, constituye un área de visita restringida. Localizada frente a la costa norte de la isla Santa Cruz, tendría una probabilidad de inundación de casi el 50% de su territorio. En esta isla —un cono volcánico que se formó a raíz de sucesivas explosiones— existe además la especie endémica de palo santo (*Bursera Malacophylla*), que solo se encuentra en este sitio y en las islas Seymour Norte y Baltra. También se registra la anidación de varias especies de aves costeras, como el piquero de patas azules (en el interior de los cráteres), el piquero enmascarado (en los flancos del cono y en los borde de los cráteres) y el pájaro tropical (dentro de las cavidades en los acantilados).

La isla Seymour Norte es un sitio de mucho turismo ubicado al norte de la isla Baltra (o isla Seymour Sur). La dimensión de pérdida del territorio por elevación del mar sería de 48,29 hectáreas, lo que equivale al 27% del área total. Su formación es a partir de lava volcánica submarina, parte de una masa de depósitos en forma plana a lo largo de fisuras en el sustrato oceánico. La importancia de esta isla radica en el hallazgo de fósiles marinos del Pleistoceno (también encontrados en Baltra). Por otra parte, la isla Seymour Norte posee una población de iguanas terrestres originaria de Baltra y a ella pertenecen las iguanas que han sido utilizadas en el programa de reproducción y crianza en cautiverio

de esta especie en la Estación Científica Charles Darwin. Además, en esta isla se encuentra la colonia de anidación más grande de fragatas reales de las islas Galápagos.

La pequeña isla Bartolomé se ubica al oeste de la isla Santiago y es la más fotografiada de Galápagos, puesto que su paisaje es el más atractivo de todo el archipiélago y tiene unas espectaculares formaciones de lava. La dimensión de pérdida del área por elevación del mar en este sitio sería de 29,02 hectáreas (un 23% del área total). Uno de sus principales sitios turísticos es el de Las Playas (norte y sur), considerado como un sitio de intensa actividad turística. Mientras que la playa norte es el lugar de desembarque, donde los turistas pueden nadar y realizar buceo superficial, a la playa sur se accede por un sendero que atraviesa un área de manglar y una duna de arena. Sus principales atractivos son las playas, la duna de arena y El Pináculo (un islote saliente puntiagudo). En cuanto a biodiversidad, es sitio de anidación de la tortuga marina (*Chelonia Mydas*) y del pingüino de Galápagos.

La isla Sombrero Chino también es un sitio de turismo extensivo. Bajo el escenario analizado de elevación del nivel medio del mar de un metro, esta isla podría llegar perder el 21,83% de su territorio costero. Su nombre se debe a la forma cuyo cono es de tipo “salpicadura”, es decir que es una formación que se da cuando la lava es expulsada en forma de gotas y cae cerca del cráter, formando un cono inclinado. Al oeste se presentan formaciones de lava como almohadas, originadas debido a que los flujos de lava se dieron bajo el mar y ocurrió un levantamiento hacia el exterior. Sobre la lava se observan corales, razón por la cual este sitio es de interés geológico.

Como se ha podido observar en los resultados previamente descritos, en un escenario de elevación del nivel del mar de un metro debido al cambio climático, las áreas de probable inundación en las diferentes islas tendrían una implicación ecológica para las distintas especies debido a la posible desaparición de los sitios de anidación, lo que pone en riesgo de extinción a algunas de las especies mencionadas.

MAPA IV.12 ISLA SANTA CRUZ: ATRACTIVOS TURÍSTICOS ALTAMENTE VULNERABLES AL CAMBIO CLIMÁTICO

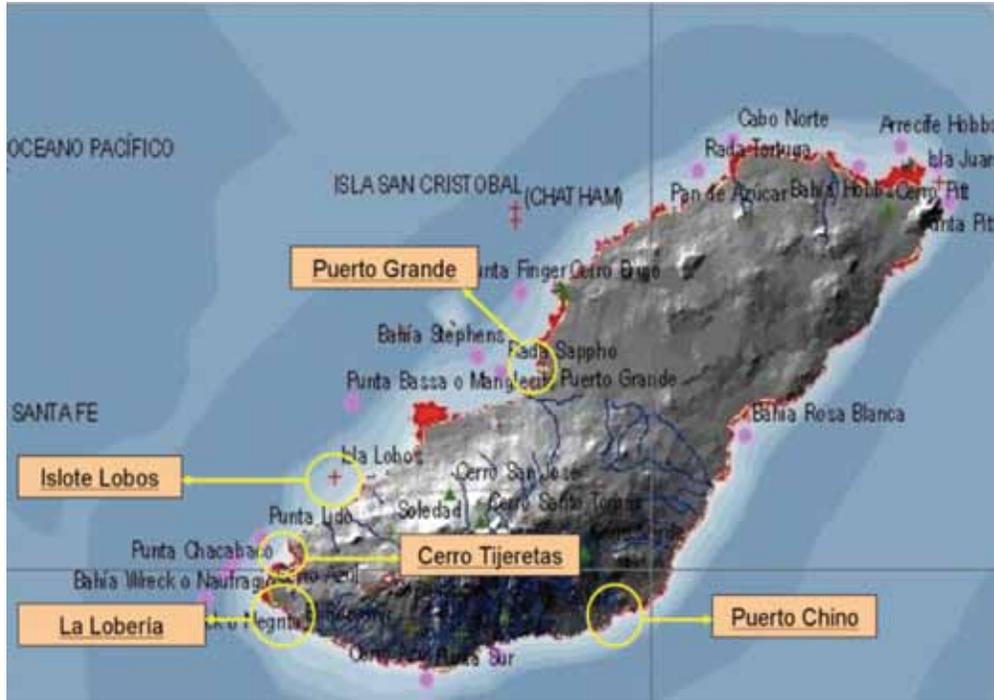


Fuente: Elaboración propia.

Nota: Entre otros, en la isla Santa Cruz se verían afectados los siguientes sitios: Playa las Bachas, Bahía Ballena, Bahía Tortuga, Las Grietas, Playa de los Perros e Islas Plazas. Las zonas de costa que se encuentran en color rojo son susceptibles de quedar inundadas a una elevación de un metro del nivel del mar. Este mapa es un ejemplo de la modelación de elevación del nivel medio del mar de un metro realizada para algunas islas seleccionadas.

MAPA IV.13
ISLA SAN CRISTÓBAL: ATRACTIVOS TURÍSTICOS ALTAMENTE VULNERABLES AL CAMBIO CLIMÁTICO

A.



B.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: En el mapa A. se verían afectados los siguientes sitios: Puerto Grande, Islote Lobos y Cerro Tijeretas. En el mapa B. se verían afectados los siguientes sitios: Cerro Brujo, Playa Ochoa y Punta Carola.

5. Impacto económico de la elevación del nivel medio del mar en la actividad turística de las islas Galápagos

La actividad económica de Galápagos ha representado, en promedio, el 0,49% del PIB total del Ecuador en el período 2000-2006. La producción bruta provincial de Galápagos para el mismo período promedió los 156,2 millones de dólares de 2000 (BCE, 2007), el 81,8% de los cuales corresponderían a la actividad turística y a actividades relacionadas (comercio, transporte, intermediación financiera, hoteles y restaurantes)⁸¹.

Las principales actividades económicas de Galápagos están relacionadas con el clúster que genera el turismo, que desencadena la mayor y más compleja red de distribución de los ingresos generados en el archipiélago. De esa manera, las actividades que más contribuyen al clúster son: comercio (un 38,1% del PIB de las islas), transporte, almacenamiento y comunicaciones (33,6%), y hoteles y restaurantes (10%). Si bien la pesca solo representa el 1,94% de la producción bruta provincial de Galápagos, tiene una marcada importancia para los pobladores locales, en especial para los pescadores artesanales y sus familias (Epler y otros, 2007)⁸².

En los últimos años, las islas Galápagos han experimentado un desarrollo acelerado, marcado principalmente por el crecimiento del turismo y el aumento de la población. La tasa de crecimiento medio anual del turismo en Galápagos para el período 1999-2005 alcanzó el 9,6% y llegó a ser mayor que la tasa de crecimiento del turismo en el Ecuador continental, que fue del 8,6%⁸³. Tan solo en 2008, el número de turistas que ingresó a las islas alcanzó los 173.420 y casi triplicó el registro de 2000 (Proaño y otros, 2007) (véase el gráfico IV.21).

El turismo en Galápagos es motivado, sobre todo, por sus atractivos naturales únicos y se concentra en las áreas terrestres del Parque Nacional Galápagos, incluidas playas e islotes, y en actividades como caminatas, buceo superficial y recorridos en kayak (Izurieta y otros, 2008). El desarrollo de esta actividad depende exclusivamente del grado de conservación de los sitios de interés y de su accesibilidad.

La distribución de las visitas totales en el período 2002-2007 entre los diferentes sitios turísticos indica que las tres islas más visitadas son Santa Cruz (con un 27% del total de visitas), San Cristóbal (23%) e Isabela (13%)⁸⁴. En el gráfico IV.22 se muestra la distribución de las visitas de turistas entre las diversas islas del archipiélago.

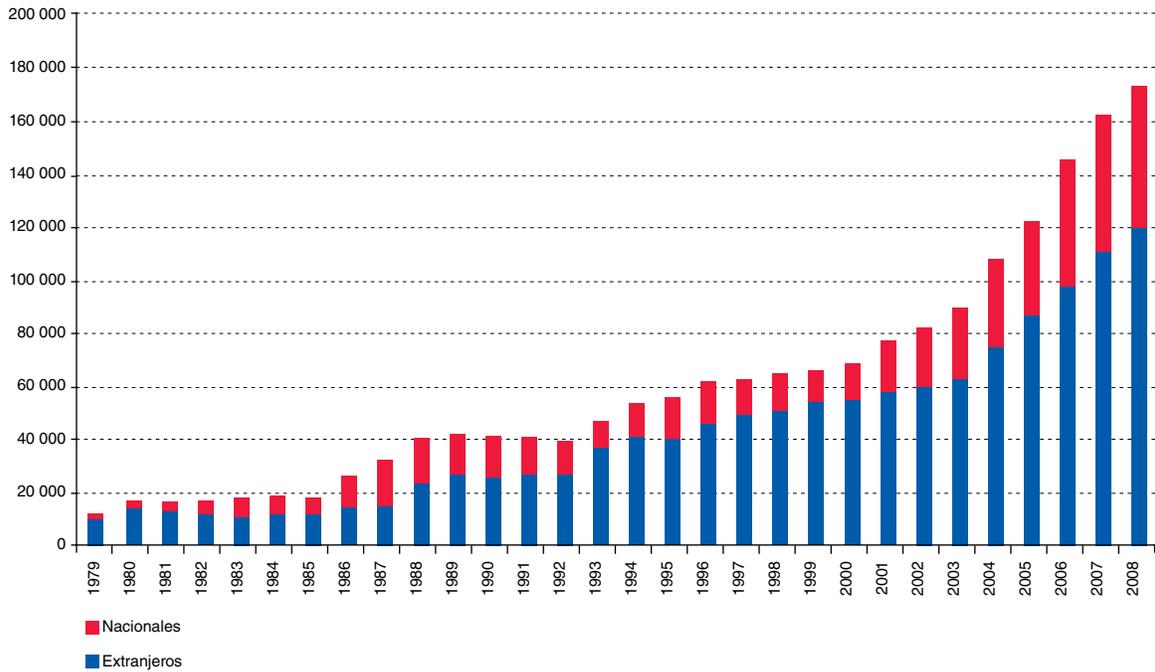
⁸¹ Estadísticas del Banco Central del Ecuador (BCE), cuentas provinciales (valor bruto de la producción provincial, promedio del período 2001-2006).

⁸² Estadísticas del Banco Central del Ecuador (BCE), estructura productiva provincial, 2006.

⁸³ Taylor E., Jared Hardner y Micki Stewart, 2006. *Ecotourism and Economic growth in the Galápagos: an island economy-wide analysis. Working paper* N° 06-001, Universidad de California, Department of Agricultural and Resource Economics, California, Estados Unidos.

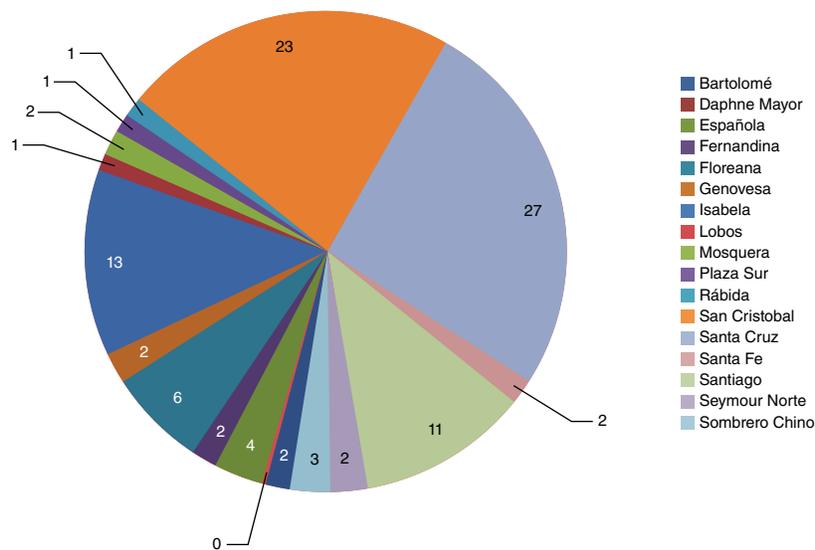
⁸⁴ Acorde con la capacidad de carga efectiva de los sitios de visita (Ordóñez, 2007).

GRÁFICO IV.21
PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS: EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE VISITANTES, 1979-2008



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del Parque Nacional Galápagos, 2008.

GRÁFICO IV.22
ISLAS GALÁPAGOS: DISTRIBUCIÓN DE LAS VISITAS TURÍSTICAS, 2002-2007
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Ordóñez, 2007, y de datos oficiales del Parque Nacional Galápagos, 2008.

El impacto económico directo del cambio climático en la actividad turística fue calculado considerando los elementos que se muestran en el cuadro IV.35: i) la distribución y el número de visitas totales en los diferentes sitios, de acuerdo con la capacidad de carga turística permitida en las islas (Ordóñez, 2007), ii) el monto medio generado por el turismo para el mismo período (156 millones de dólares) (Epler y otros, 2007) y iii) el porcentaje de posible pérdida del área de interés turístico basado en el modelo cartográfico de zonas de inundación por elevación del nivel medio del mar (un metro)⁸⁵.

CUADRO IV.35
ISLAS GALÁPAGOS: PÉRDIDAS DE INGRESO POR TURISMO POR ELEVACIÓN DEL NIVEL MEDIO DEL MAR DE UN METRO

Sitio de visita turística	Isla	Grupos-días permitidos ^a	Personas por día ^a	Capacidad de carga por sitio de visita ^a (En porcentajes)	Distribución de los ingresos del turismo ^b (En dólares)	Área perdida por elevación del nivel medio del mar ^c (En porcentajes)
Playa Las Bachas	Santa Cruz	48	768	5,64	8 911 868,39	100
Las Grietas	Santa Cruz	31	496	3,64	5 755 581,67	100
Punta Tortuga Negra	Isabela	27	432	3,17	5 012 925,97	100
Bahía Tortuga	Santa Cruz	26	416	3,06	4 827 262,04	100
Sombrero Chino	Sombrero Chino	22	352	2,59	4 084 606,35	100
Seymour Norte	Seymour Norte	21	336	2,47	3 898 942,42	100
Bahía Sullivan	Santiago	19	304	2,23	3 527 614,57	80
Mosquera	Mosquera	15	240	1,76	2 784 958,87	100
Cerro Tijeretas	San Cristóbal	13	208	1,53	2 413 631,02	100
Punta Espinoza	Fernandina	13	208	1,53	2 413 631,02	100
Cerro Brujo	San Cristóbal	15	240	1,76	2 784 958,87	80
Playa Ochoa	San Cristóbal	23	368	2,70	4 270 270,27	50
Plaza Sur	Plaza Sur	11	176	1,29	2 042 303,17	100
Punta Suárez	Española	10	160	1,18	1 856 639,25	100
Bartolomé	Bartolomé	14	224	1,65	2 599 294,95	70
Playa Espumilla	Santiago	12	192	1,41	2 227 967,10	80
El Barranco	Genovesa	11	176	1,29	2 042 303,17	80
Punta Albermarle	Isabela	10	160	1,18	1 856 639,25	80
Mina de Sal	Santiago	36	576	4,23	6 683 901,29	20
Isla Lobos	Lobos	7	112	0,82	1 299 647,47	100
Punta Moreno	Isabela	6	96	0,71	1 113 983,55	100

(Continúa)

⁸⁵ El valor de 156 millones de dólares representa los ingresos recibidos por los residentes y los operadores basados en las islas por comercio y servicios turísticos adicionales a los hoteles y las embarcaciones.

Cuadro IV.35 (continuación)

Sitio de visita turística	Isla	Grupos-días permitidos ^a	Personas por día ^a	Capacidad de carga por sitio de visita ^a (En porcentajes)	Distribución de los ingresos del turismo ^b (En dólares)	Área perdida por elevación del nivel medio del mar ^c (En porcentajes)
Bahía Gardner	Española	21	336	2,47	3 898 942,42	20
Cerro Dragón	Santa Cruz	17	272	2,00	3 156 286,72	20
Punta Cormorant	Floreana	17	272	2,00	3 156 286,72	20
Bahía Post Office	Floreana	12	192	1,41	2 227 967,10	20
Rábida	Rábida	11	176	1,29	2 042 303,17	20
Bahía Ballena	Santa Cruz	2	32	0,24	371 327,85	100
Playa de los Perros	Santa Cruz	2	32	0,24	371 327,85	100
La Galapaguera	San Cristóbal	10	160	1,18	1 856 639,25	20
Puerto Grande	San Cristóbal	2	32	0,24	371 327,85	80
Punta Carola	San Cristóbal	2	32	0,24	371 327,85	50
Bahía Darwin	Genovesa	5	80	0,59	928 319,62	20
Caleta Tagus	Isabela	5	80	0,59	928 319,62	20
Punta Pitt	San Cristóbal	4	64	0,47	742 655,70	20
Cerro Alieri	Floreana	0	0	0,00	0	0
Daphne Mayor	Daphne Mayor	0	0	0,00	0	50
El Chato	Santa Cruz	0	0	0,00	0	0
Humedales	Isabela	0	0	0,00	0	80
La Lobería (Cristóbal)	San Cristóbal	0	0	0,00	0	90
Mirador de la Baronesa	Floreana	0	0	0,00	0	20
Playa Tortuga Bay	Santa Cruz	0	0	0,00	0	0
Sierra Negra	Isabela	0	0	0,00	0	0
Túneles del Mirador	Santa Cruz	0	0	0,00	0	0
Volcán Alcedo	Isabela	0	0	0,00	0	0
Garrapatero	Santa Cruz	2	32	0,24	371 327,85	0
Muro de las Lágrimas	Isabela	7	112	0,82	1 299 647,47	0
Minas de Azufre	Isabela	8	128	0,94	1 485 311,40	0
Las Tintoreras	Isabela	13	208	1,53	2 413 631,02	0
Los Gemelos	Santa Cruz	13	208	1,53	2 413 631,02	0
Santa Fe	Santa Fe	14	224	1,65	2 599 294,95	0
Volcán Chico	Isabela	15	240	1,76	2 784 958,87	0

(Continúa)

Cuadro IV.35 (conclusión)

Sitio de visita turística	Isla	Grupos-días permitidos ^a	Personas por día ^a	Capacidad de carga por sitio de visita ^a (En porcentajes)	Distribución de los ingresos del turismo ^b (En dólares)	Área perdida por elevación del nivel medio del mar ^c (En porcentajes)
Media Luna/ Cerro Crocker/ Puntudo	Santa Cruz	18	288	2,12	3 341 950,65	0
Centro de Crianza Arnaldo Tupiza	Isabela	20	320	2,35	3 713 278,50	0
Centro de Crianza Fausto Llerena	Santa Cruz	20	320	2,35	3 713 278,50	0
Centro de Interpretación	San Cristóbal	20	320	2,35	3 713 278,50	0
Asilo de la Paz	Floreana	23	368	2,70	4 270 270,27	
Galapaguera o Cerro Colorado	San Cristóbal	23	368	2,70	4 270 270,27	0
Puerto Chino	San Cristóbal	24	384	2,82	4 455 934,20	0
Puerto Egas	Santiago	28	448	3,29	5 198 589,89	0
La Reserva	Santa Cruz	47	752	5,52	8 726 204,47	0
El Junco	San Cristóbal	56	896	6,58	10 397 179,79	0
Total			13 616		158 000 000	

Fuente: Elaboración propia.

^a Capacidad de carga turística tomada de “Situación de la oferta turística de Galápagos: planta turística, capacidad instalada y capacidad de acogida”, Ordóñez A., 2008. CAPTURGAL / BID-FOMIN. En: FCD, PNG e INGALA. 2008. Informe Galápagos 2007-2008. Puerto Ayora, Ecuador.

^b El beneficio económico se ha imputado a cada isla de acuerdo con la capacidad de carga turística.

^c Porcentaje de pérdida turística basado en el modelo cartográfico que modela zonas de inundación por elevación del nivel del mar de un metro, elaborado por el proyecto ERECC.

La mayor pérdida económica de ingreso por turismo para fines de siglo se daría por la posible desaparición de los sitios turísticos en la isla Santa Cruz, que en 2006 generó más del 25% de los ingresos de Galápagos por este concepto y donde tan solo la inundación total de la playa Las Bachas significaría una disminución del 5% del total de ingresos. Le seguirían en pérdidas económicas la isla San Cristóbal (22%), particularmente por la posible inundación total del Cerro Tijeretas, Santiago (11%), por la pérdida de atractivos como Bahía Sullivan, e Isabela (13%), sobre todo por la desaparición de Punta Tortuga Negra, entre otras que también perderían un gran porcentaje de su territorio⁸⁶.

En el presente estudio se asume que el crecimiento esperado del nivel medio del mar ocurriría en forma paulatina y con una distribución proporcional entre 2020 y 2100. Sobre la base de esta consideración, los costos totales ocasionados por la desaparición de los sitios de interés turístico en Galápagos a fines de siglo (década de 2100) podrían alcanzar los 250 millones de dólares si se considera un escenario de elevación del nivel medio del mar de un metro (véase el cuadro IV.36).

⁸⁶ Este análisis ha sido considerando un impacto final a 2100. Sin embargo, se debe considerar que las pérdidas podrían ser paulatinas desde años anteriores.

CUADRO IV.36
ISLAS GALÁPAGOS: COSTOS TOTALES POR PÉRDIDAS DE TURISMO PARA
DÉCADAS SELECCIONADAS EN EL PERÍODO 2020-2100

Décadas	Elevación del nivel medio del mar esperada (En metros)	Elevación del mar (En porcentajes)	Costos acumulados por década (En millones de dólares)
2030	0,125	0,12	0,80
2050	0,375	37,50	249
2070	0,625	62,50	167
2100	1	100	250

Fuente: Elaboración propia.

En síntesis, el cambio climático tendría un efecto sobre la biodiversidad y los ecosistemas de las islas Galápagos, ya que acentuaría la susceptibilidad de diversas especies de flora y fauna que actualmente ya son vulnerables. Al menos las especies analizadas (el cormorán, las tortugas marinas verdes, las iguanas marinas, los pingüinos, los corales, el pepino de mar y las langostas) ya se han visto seriamente afectadas por las variaciones en las precipitaciones y la temperatura del mar y del aire. A esto se sumaría la potencial elevación del nivel del mar que, bajo un escenario de emisiones como el A2, podría alcanzar en esta zona hasta un metro hacia fines de siglo, lo que repercutiría en los sitios de importancia ecosistémica y socioeconómica (turismo). Asimismo, tampoco se pueden dejar de mencionar los efectos que el cambio climático tendrá sobre la población.

En un escenario de cambio climático, también existiría el riesgo de modificaciones en la zonificación ecosistémica en las islas Galápagos, y estos cambios podrían ser aprovechados por especies invasoras, y algunas que aún no lo son podrían llegar a convertirse en plagas.

H. Estimación física y económica de los daños por eventos meteorológicos extremos

Es muy probable que una de las consecuencias del cambio climático sea el incremento de la frecuencia y magnitud de los eventos climatológicos extremos a causa de las variaciones en la temperatura y la precipitación, lo que tendrá diversos efectos sobre la población, la vivienda y la infraestructura (en especial en las que tienen altos grados de riesgo). En este análisis fue posible cuantificar el daño en las poblaciones, las viviendas y las infraestructuras que se verían directamente afectadas por eventos climáticos extremos (sequías e inundaciones).

Para el cálculo de estos efectos se siguieron las etapas metodológicas que se mencionan a continuación: i) desarrollo de un análisis histórico (período 1980-2009) que conformó la línea de base, ii) obtención, a partir de la etapa anterior, de una función de correlación entre el impacto físico y algunos parámetros del modelo PRECIS, iii) proyección, una vez conocido el valor proyectado del parámetro meteorológico según el escenario A2 y B2, del impacto físico analizado.

Finalmente, a partir de la proyección del impacto físico, se procedió a la valoración económica mediante el empleo de los costos unitarios por impacto.

1. Análisis histórico

Para estimar la magnitud de los efectos de los eventos extremos se utilizó el inventario de desastres por variables climáticas (DESINVENTAR), que muestra el número de desastres observados en las tres últimas décadas (1980-2009), período usado como línea de base⁸⁷. Además, para el cálculo del impacto económico histórico se estimó el número de efectos físicos registrados, los que se multiplicaron por el correspondiente costo unitario⁸⁸. Este análisis se estimó por regiones geográficas (presentadas en el acápite de recursos hídricos).

En el cuadro IV.37 se presentan los resultados sintetizados de los efectos físicos históricos y económicos por década y por región geográfica, así como por la naturaleza del evento climatológico extremo que ocasionó el efecto físico.

CUADRO IV.37
ECUADOR: EFECTOS FÍSICOS Y ECONÓMICOS ASOCIADOS A EVENTOS
EXTREMOS, POR REGIONES GEOGRÁFICAS, 2000-2009

Efectos físicos		Efectos físicos (En unidades)			Efectos económicos (En millones de dólares del 2000)		
		Región Costa	Región Sierra	Región Oriente	Región Costa	Región Sierra	Región Oriente
Población	Muertos o desaparecidos	192	389	12	10,34	20,96	0,65
	Heridos o enfermos	43 112	3 674	2 655	16,46	1,40	1,01
	Dañificados directos	21 795	4 519	1 641	4,65	0,96	0,35
	Afectados indirectos	118 714	69 795	4 127	11,02	6,48	0,38
Viviendas	Destruídas	919	853	101	10,44	9,69	1,15
	Afectadas	31 645	3 263	786	168,05	17,33	4,17
Infraestructura	Cultivos o bosques (En ha)	61 871	145 253	1 123	87,75	206,00	1,59
	Ganado en general (En unidades)	6 893	402	0	2,79	0,16	0,00
	Centros educativos (En unidades)	909	1 520	7	12,93	21,62	0,10

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos DESINVENTAR y “El Fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria, Retos y Soluciones. Volumen IV: Ecuador”, Corporación Andina de Fomento (CAF).

⁸⁷ Los eventos meteorológicos extremos seleccionados de la base de datos DESINVENTAR que se pueden relacionar con las variables climáticas son: i) el exceso de precipitaciones, que ocasionaría lluvias intensas o largas, granizadas, inundaciones, epidemias por inundaciones, marejadas o agujajes, aluviones y deslizamientos por lluvias, ii) la escasez de precipitaciones, que generaría sequías e incendios forestales, iii) los cambios de temperatura, que causarían heladas, nevadas y olas de calor, y iv) las anomalías del viento, que originarían vendavales, huracanes y tornados.

⁸⁸ Costos unitarios tomados de “El fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria, Retos y Soluciones. Volumen IV: Ecuador”, Corporación Andina de Fomento (CAF).

2. Estimación del costo económico por eventos extremos en escenarios futuros

La estimación de costos futuros se basa en la información histórica, con la cual se elaboraron correlaciones econométricas entre el número de desastres y las siguientes variables: i) población⁸⁹, ii) variación de temperatura media⁹⁰ y iii) un parámetro específico a partir del modelo PRECIS relacionado con cada tipo de desastre (puede ser la evapotranspiración potencial, la velocidad media del viento o la precipitación acumulada). Sobre la base de estos coeficientes y parámetros es posible determinar la magnitud del impacto para los años de referencia del estudio.

El parámetro de evapotranspiración potencial sería el de mayor afinidad y congruencia al momento de ensayar las correlaciones con cada uno de los eventos extremos identificados anteriormente⁹¹. Esto se explica porque este parámetro se calcula sobre la base de información de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y tipo de cobertura vegetal existente en cada región. Por ello, a los efectos estimativos, la evapotranspiración es un índice compuesto que incluye indirectamente el efecto de estas variables climáticas y actúa como un sustituto de dichas variables (véase el cuadro IV.38).

CUADRO IV.38
ECUADOR: CORRELACIONES ENTRE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS (MODELO PRECIS) Y EFECTOS FÍSICOS POR EVENTOS EXTREMOS

Impacto físico analizado (Variable Y)	Parámetro meteorológico (modelo precis) mejor afinidad (Variable X)	Función de correlación
Efectos sobre la población		
Muertos o desaparecidos	ETP media mensual (mm/mes)	$y = \text{Pobl} \cdot T/\text{TBASE} \cdot \{ 1148\text{Ln}(x) - 5017 \}$
Enfermos o heridos	ETP media mensual (mm/mes)	$y = \text{Pobl} \cdot T/\text{TBASE} \cdot \{ 99908\text{Ln}(x) - 442021 \}$
Damnificados directos	ETP media mensual (mm/mes)	$y = \text{Pobl} \cdot T/\text{TBASE} \cdot \{ 494\text{Ln}(x) - 2191 \}$
Afectados indirectos por exceso de precipitación	ETP media mensual (mm/mes)	$y = \text{Pobl} \cdot T/\text{TBASE} \cdot \{ 185\text{Ln}(x) - 811 \}$
Afectados indirectos por escasez de precipitación	ETP media mensual (mm/mes)	$y = \text{Pobl} \cdot T/\text{TBASE} \cdot \{ 300\text{Ln}(x) - 1331 \}$
Efectos sobre la vivienda		
Viviendas destruidas por exceso de precipitación	ETP media mensual (mm/mes)	$y = \text{Pobl} \cdot T/\text{TBASE} \cdot \{ 6430\text{Ln}(x) - 28409 \}$
Viviendas destruidas por velocidad del viento	Velocidad media mensual del viento (m/s)	$y = \text{Pobl} \cdot T/\text{TBASE} \cdot \{ 52\text{Ln}(x) - 7 \}$
Viviendas afectadas por exceso de precipitación	Precipitación acumulada en la década (mm/década)	$y = \text{Pobl} \cdot T/\text{TBASE} \cdot \{ 43576\text{Ln}(x) - 518338 \}$

(Continúa)

⁸⁹ En el presente estudio se usó la población total. Sin embargo, para lograr un mayor nivel de precisión, se recomienda utilizar la noción de “población expuesta a riesgo”, basándose en criterios de vulnerabilidad por pobreza y dotación de infraestructura.

⁹⁰ A medida que existan mayores incrementos, se generarían alteraciones sobre el ciclo hidrológico, lo que haría que los eventos climatológicos extremos sean cada vez de mayor intensidad o frecuencia.

⁹¹ También se ensayaron correlaciones con otras variables climáticas, como la velocidad del viento y la precipitación acumulada.

Cuadro IV.38 (conclusión)

Impacto físico analizado (Variable Y)	Parámetro meteorológico (modelo precis) mejor afinidad (Variable X)	Función de correlación
Viviendas afectadas por velocidad del viento	Velocidad media mensual del viento (m/s)	$y = \text{Pobl} \cdot T/\text{TBASE} \cdot \{ 284\text{Ln}(x) - 38 \}$
Efectos sobre la infraestructura		
Cultivos o bosques afectados por exceso de precipitación	ETP media mensual (mm/mes)	$y = \text{Pobl} \cdot T/\text{TBASE} \cdot \{ 36990\text{Ln}(x) - 144221 \}$
Cultivos o bosques afectados por escasez de precipitación	ETP media mensual (mm/mes)	$y = \text{Pobl} \cdot T/\text{TBASE} \cdot \{ 93423\text{Ln}(x) - 406503 \}$
Ganado en general afectado por exceso de precipitación	Precipitación acumulada en la década (mm/década)	$y = \text{Pobl} \cdot T/\text{TBASE} \cdot \{ 16064\text{Ln}(x) - 191457 \}$
Ganado en general afectado por escasez de precipitación	ETP media mensual (mm/mes)	$y = \text{Pobl} \cdot T/\text{TBASE} \cdot \{ 7838\text{Ln}(x) - 34842 \}$
Centros educativos	Precipitación acumulada en la década (mm/década)	$y = \text{Pobl} \cdot T/\text{TBASE} \cdot \{ 726\text{Ln}(x) - 8498 \}$

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del modelo PRECIS, DESINVENTAR.

Nota: Los resultados son más una aproximación conceptual que una función estadísticamente robusta.

ETP = evapotranspiración potencial.

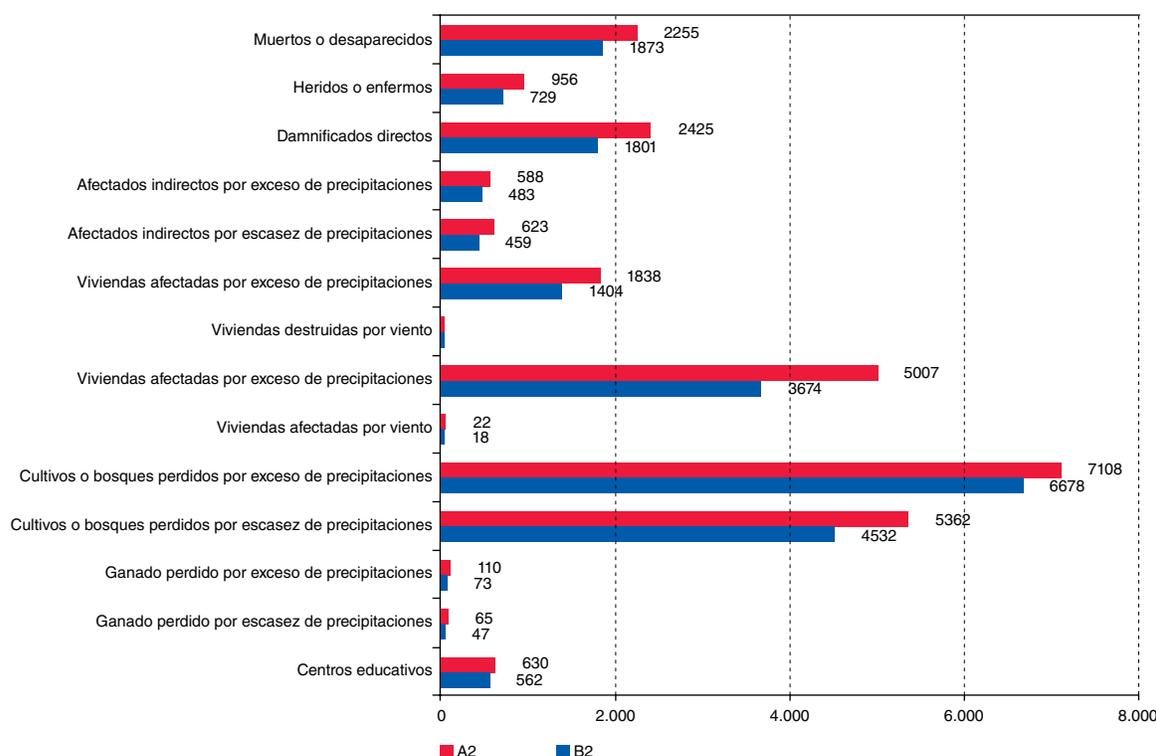
Para el cálculo económico se utilizaron los costos unitarios considerados por la Corporación Andina de Fomento (CAF) en la estimación del impacto económico del fenómeno de El Niño (1997 y 1998). A partir de estos costos y de los efectos físicos proyectados por eventos extremos, se puede inferir que las mayores afecciones físicas y económicas atribuibles al cambio climático serían las siguientes:

- Las viviendas afectadas por exceso de precipitaciones (inundaciones),
- La destrucción de cultivos o bosques por escasez de precipitación (efecto de sequías), y
- La población de damnificados directos.

Estos efectos se muestran en el gráfico IV.23, donde se puede observar que en el escenario A2, por eventos derivados de las variaciones de la precipitación (exceso o sequías), generarían una mayor proporción de pérdidas en cultivos (un 46% del total proyectado) y en viviendas (un 25% del costo total). En el escenario B2, los costos serían menores pero las proporciones se mantienen similares a las del escenario A2, aunque con un incremento en la importancia del impacto en los cultivos (un 50% del total de este escenario).

En la última década de 2100, bajo un escenario climático A2, alrededor de medio millón de personas estarían en condición de afectadas, damnificadas o heridas por eventos climatológicos extremos, 221.000 viviendas habrían sido total o parcialmente afectadas, y cerca de 1,3 millones de hectáreas de cultivos o bosques habrían sido afectadas por exceso o falta de precipitaciones. Bajo el escenario B2, para el mismo período, el efecto de eventos extremos podría ser inferior y afectar a 158.000 viviendas, 375.000 personas y 1 millón de hectáreas de bosques o cultivos.

GRÁFICO IV.23
ECUADOR: ESTIMACIÓN TOTAL DEL IMPACTO ECONÓMICO DEL CAMBIO CLIMÁTICO, 2010-2100, ESCENARIOS A2 Y B2
(En millones de dólares, tasa de descuento del 0%)



Fuente: Elaboración propia.

3. Impacto económico por eventos extremos asociados al cambio climático

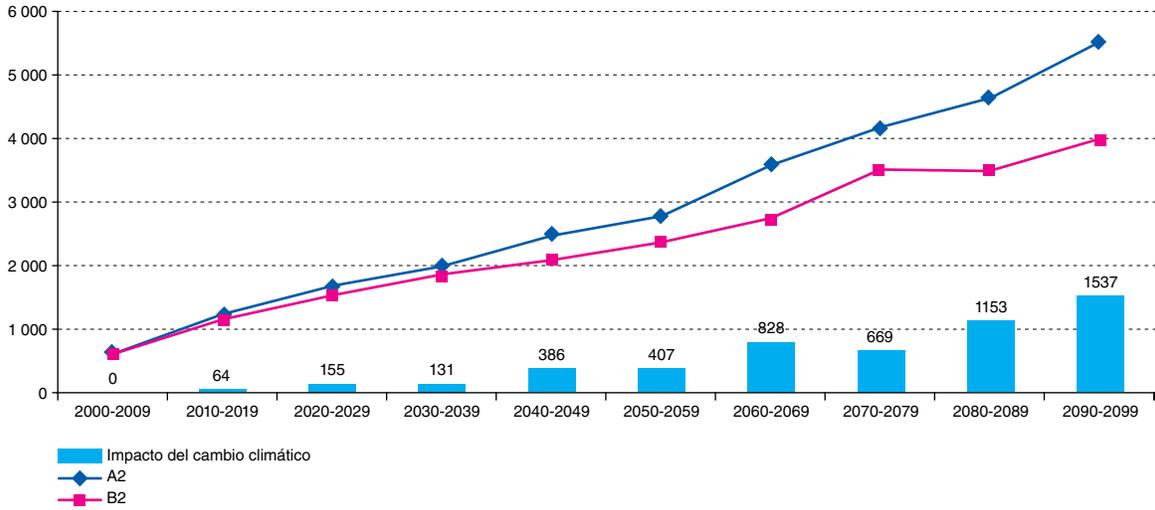
El costo económico total para el período 2010-2100 asociado a eventos extremos por efecto del cambio climático estaría dado por la diferencia entre los escenarios A2 y B2. Se consideró al escenario B2 como escenario base, ya que presentó características similares, y es estadísticamente similar, a la tendencia climática histórica⁹². Por lo tanto, los cambios de temperatura y precipitaciones del escenario B2 no registrarían eventos extremos más allá de los probables eventos asociados a la proyección futura de la tendencia histórica.

Sobre la base de lo expuesto, el impacto económico por eventos extremos asociados al cambio climático sería perceptible a partir de mediados de siglo, ya que registraría un impacto negativo en torno a los 400 millones de dólares, mientras que en la última década del siglo, los daños casi cuadruplicarían este valor y alcanzarían los 1.537 millones de dólares (véase el gráfico IV.24).

Si bien las estimaciones del probable impacto sobre las personas, las viviendas y los cultivos se basan en información limitada, la evidencia histórica ha mostrado que el país es vulnerable a este tipo de eventos. Por lo expuesto, estas estimaciones son indicativas y permiten validar, de cierta forma, el probable costo económico que generarían los eventos extremos asociados al cambio climático.

⁹² Esta metodología se aplicó también para el análisis de recursos hídricos en el acápite A de este capítulo.

GRÁFICO IV.24
ECUADOR: IMPACTO ECONÓMICO POR EVENTOS EXTREMOS ASOCIADOS
AL CAMBIO CLIMÁTICO, VALORES DECADALES
(En millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia.

V. Síntesis de la evaluación económica del impacto del cambio climático en el Ecuador

La valoración económica del impacto del cambio climático en los diferentes sectores analizados permitió integrar el posible costo económico para la sociedad. Los resultados han de tomarse en su justa medida, es decir, como el resultado de un análisis basado en escenarios inciertos y no como pronósticos exactos. En la mayoría de los casos se registran pérdidas en el valor bruto de la producción y no solo en el valor agregado, por ejemplo en el caso de la agricultura, los recursos marinos y costeros, y el turismo en las islas Galápagos. Por lo tanto, también es necesario tomar las precauciones correspondientes al momento de interpretar las cifras presentadas, ya que no serían cuantificadas como pérdidas de valor agregado sino en relación con un monto de referencia, como el PIB.

Cabe aclarar que por haber contado con una información limitada, en este análisis no se han profundizado los efectos dinámicos en la estructura productiva ni los efectos intersectoriales, y tampoco se ha realizado un análisis de sensibilidad económica que incluya los costos y beneficios de la adaptación. Además, los costos económicos sectoriales se estimaron en un contexto principalmente de mercado, por lo que se registraron solo aquellos valores que tienen un precio de mercado. En este sentido, algunos sectores no fueron analizados desde el punto de vista monetario, como en el caso de la pérdida de biodiversidad, lo que no implica que no se reconozca su extraordinario valor económico para el país. Otros sectores e impactos que no fueron objeto del análisis debido a la acotada información disponible son los efectos económicos para el sector hidroeléctrico (energía) ocasionados por los cambios sufridos por los glaciares, y la infraestructura del sector dedicado al riego. Tampoco se abordaron las relaciones intersectoriales y los posibles conflictos conexos.

La integración de los costos sectoriales se llevó a cabo tomando en cuenta los valores presentes de los impactos futuros descontados a distintas tasas: 0,5%, 2% y 4%. Se destaca que para este ejercicio se analizaron los costos descontados en el mediano plazo —hasta 2050— y en el largo plazo —hasta 2100— (cuadros V.1 y V.2). Los costos sectoriales descontados también se compararon con el PIB de 2010, que se ha usado como año de referencia para el análisis (cuadros V.3 y V.4).

Los resultados muestran que el impacto agregado del cambio climático en el escenario A2 variaría entre 34.879 millones y 136.342 millones de dólares hacia finales de siglo, dependiendo de la tasa de descuento utilizada. Por otro lado, los impactos en el escenario B2 serían mucho menores, con rangos de variación entre los 8.199 millones y los 32.890 millones de dólares (cuadro V.2). En el cuadro V.1 se aprecian los costos estimados hasta 2050.

En términos relativos al PIB de 2010, se aprecia que en el escenario A2 los impactos descontados estarían entre el 140% y el 546% del PIB de 2010. Por otro lado, el rango de impacto en el escenario B2 sería menor (cuadro V.4). De manera análoga, estos porcentajes se observan en el caso de los impactos acumulados hasta 2050, que, lógicamente, serían menores (cuadro V.3).

En los sectores analizados, las posibles pérdidas de infraestructura vial y eléctrica representarían el mayor porcentaje de los costos. Dentro de este rubro, el subsector de generación y transmisión eléctrica aportaría casi el 60% de estos costos, seguido por otros tipos de infraestructura. El sector agrícola también sufriría grandes pérdidas por el cambio climático (aproximadamente el 6% de los costos totales). La productividad menguaría, sobre todo en el caso de la caña de azúcar, el banano y el arroz, mientras que aumentaría en el caso del maíz suave y el fréjol. En términos netos, el costo del cambio climático que afectaría al sector agrícola hasta finales de siglo oscilaría entre el 6,2% y el 43,9% del PIB de 2010 en el escenario A2 (cuadro V.4).

El sector de la biodiversidad experimentó una significativa merma y modificación de las especies, que no fue posible valorar económicamente con los datos existentes. Si bien el cambio climático tendría implicancias multidimensionales en la biodiversidad del Ecuador, no siempre es posible valorar económicamente las pérdidas en éste ámbito. El foco de este estudio es entregar lineamientos de los principales impactos y valorarlos económicamente con metodologías comúnmente aceptadas. Por este motivo, y debido a la limitada disponibilidad de información en este rubro, solo se ha valorado económicamente la potencial pérdida de carbono. No se ha valorado el análisis de la pérdida de servicios ecosistémicos asociados con la biodiversidad del Ecuador, lo que quedaría pendiente para profundizar en trabajos futuros, aunque se reconoce su vital importancia. Por ello, cabe recalcar las virtudes de los resultados de carácter físico entregados en este capítulo, ya que permiten visualizar las potenciales alteraciones y reemplazo de formaciones vegetales en el Ecuador y de sus especies asociadas. Sin embargo, sí se valoró el servicio de almacenamiento de carbono, en cuyo caso se observó que la capacidad de absorción se reduciría por la transformación de formaciones vegetales boscosas. Hasta fines de siglo, este costo variaría entre el 8% y el 37% del PIB de 2010 en el escenario A2.

Con una menor proporción del costo total, se encuentran los impactos de los eventos extremos adicionales que, según la tasa de descuento utilizada, oscilarían entre el 2,1% y el 14% del PIB de 2010 en el escenario A2. Por otro lado, la suma de los costos hasta 2100 —asociados a la menor disponibilidad de recursos hídricos, la disminución de recursos marinos y costeros, la reducción de la actividad turística en Galápagos y una mayor incidencia de las enfermedades transmitidas por vectores— variaría entre el 6,4% y el 28% del PIB de 2010. Dada la dificultad de valorar económicamente la pérdida en servicios ecosistémicos y los cambios en la población animal y vegetal de Galápagos, declarado Patrimonio de la Naturaleza de la Humanidad y Reserva de la Biosfera por la UNESCO, es que se han incluido mayoritariamente impactos físicos del cambio climático. En particular, se han relacionado los cambios en los ecosistemas de estas islas con eventos ENOS, que podrían acentuarse con el cambio climático, y con cambios en precipitación y temperatura. Como un primer avance de valoración económica se ha incluido el costo por pérdidas en turismo a causa de eventos extremos que podrían afectar las visitas significativamente.

En el escenario B2 se reducirían los costos respecto al escenario A2. La mayor diferencia entre ambos escenarios se debería a que algunos sectores no se verían muy afectados en el escenario B2, como los recursos hídricos, y otros sufrirían un impacto mucho menor e, incluso, se verían favorecidos, por ejemplo, algunos cultivos. Por otro lado, en este escenario climático más benigno, la estructura de costos se modificaría y la infraestructura sería el sector relativamente más afectado, seguida por la biodiversidad. El sector agrícola podría, incluso, gozar de algunos beneficios.

CUADRO V.1
ECUADOR: COSTOS ECONÓMICOS TOTALES
DEL CAMBIO CLIMÁTICO HASTA 2050
(En millones de dólares)

Sector	Tasa de descuento:		Tasa de descuento:		Tasa de descuento:	
	4%		2%		0,5%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Recursos hídricos	678	NE	976	NE	1,334	NE
Agricultura	457	-3 056	732	-4 399	1 067	-5 977
Infraestructura	22 124	7 414	31 798	10 668	43 439	14 585
Biodiversidad	814	422	1 152	629	1 521	861
Recursos marinos y costeros	272	272	451	451	675	675
Salud	3	2	14	10	29	20
Galápagos	149	149	269	269	427	427
Eventos extremos	235	NE	382	NE	571	NE
Total de los impactos	24 734	5 202	35 775	7 227	49 064	10 592

Fuente: Elaboración propia.

Nota: NE-No evaluado. Para los sectores de recursos hídricos y eventos extremos no fue posible construir una senda base sin cambio climático, por ello se utilizó como proxy el escenario B2. Dado que para estos sectores el escenario BASE es igual al B2 los costos del cambio climático no son medidos.

CUADRO V.2
ECUADOR: COSTOS ECONÓMICOS TOTALES
DEL CAMBIO CLIMÁTICO HASTA 2100
(En millones de dólares)

Sector	Tasa de descuento:		Tasa de descuento:		Tasa de descuento:	
	4%		2%		0,5%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Recursos hídricos	884	NE	1 644	NE	3 060	NE
Agricultura	1 551	-3 858	4 431	-6 910	10 969	-15 292
Infraestructura	29 301	9 851	55 555	18 738	105 734	35 756
Biodiversidad	1 904	1 514	4 374	3 909	9 244	8 823
Recursos marinos y costeros	427	427	977	977	2 083	2 083
Salud	56	31	210	117	591	323
Galápagos	234	234	558	558	1 197	1 197
Eventos extremos	521	NE	1 415	NE	3 464	NE
Total de los impactos	34 879	8 199	69 164	17 388	136 342	32 890

Fuente: Elaboración propia.

Nota: NE-No evaluado. Para los sectores de recursos hídricos y eventos extremos no fue posible construir una senda base sin cambio climático, por ello se utilizó como proxy el escenario B2. Dado que para estos sectores el escenario BASE es igual al B2 los costos del cambio climático no son medidos.

CUADRO V.3
ECUADOR: PARTICIPACIÓN DEL COSTO ECONÓMICO DEL CAMBIO CLIMÁTICO
HASTA 2050 EN EL PIB DE 2010
(En porcentajes)

Sector	Tasa de descuento:		Tasa de descuento:		Tasa de descuento:	
	4%		2%		0,5%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Recursos hídricos	2,7	NE	3,9	NE	5,3	NE
Agricultura	1,8	-12,2	2,9	-17,6	4,3	-23,9
Infraestructura	88,6	29,7	127	42,7	174	58,4
Biodiversidad	3,3	1,7	5	2,5	6	3,4
Recursos marinos y costeros	1,1	1,1	1,8	1,8	2,7	2,7
Salud	0,01	NE	0,1	NE	0,1	0,1
Galápagos	0,6	0,6	1,1	1,1	1,7	1,7
Eventos extremos	0,9	NE	1,5	NE	2,3	NE
Total de los impactos	99	21	143	31	197	42

Fuente: Elaboración propia.

Nota: NE-No evaluado. Para los sectores de recursos hídricos y eventos extremos no fue posible construir una senda base sin cambio climático, por ello se utilizó como proxy el escenario B2. Dado que para estos sectores el escenario BASE es igual al B2 los costos del cambio climático no son medidos.

CUADRO V.4
ECUADOR: PARTICIPACIÓN DEL COSTO ECONÓMICO DEL CAMBIO CLIMÁTICO
HASTA 2100 EN EL PIB DE 2010
(En porcentajes)

Sector	Tasa de descuento:		Tasa de descuento:		Tasa de descuento:	
	4%		2%		0,5%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Recursos hídricos	3,5	NE	6,6	NE	12,3	NE
Agricultura	6,2	-15,5	17,7	-27,7	43,9	-61,3
Infraestructura	117	39,5	223	75,1	424	143,2
Biodiversidad	8	6,1	18	15,7	37	35,3
Recursos marinos y costeros	1,7	1,7	3,9	3,9	8,3	8,3
Salud	0,2	0,1	0,8	0,5	2,4	1,3
Galápagos	0,9	0,9	2,2	2,2	4,8	4,8
Eventos extremos	2,1	NE	5,7	NE	13,9	NE
Total de los impactos	140	33	277	70	546	132

Fuente: Elaboración propia.

Nota: NE-No evaluado. Para los sectores de recursos hídricos y eventos extremos no fue posible construir una senda base sin cambio climático, por ello se utilizó como proxy el escenario B2. Dado que para estos sectores el escenario BASE es igual al B2 los costos del cambio climático no son medidos.

VI. Adaptación al cambio climático

En el Ecuador existen diversos proyectos e iniciativas de adaptación coordinados por el Ministerio del Ambiente por medio de la Subsecretaría de Cambio Climático y otras entidades nacionales. Entre los principales, se pueden citar el proyecto Gestión de la Adaptación al Cambio Climático para disminuir la vulnerabilidad social, económica y ambiental (GACC), el proyecto Adaptación al Cambio Climático a través de una efectiva gobernabilidad del Agua en Ecuador (PACC) y el Proyecto Regional Andino de Adaptación al Cambio Climático / Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales (PRAA).

Todos ellos contribuyen a disminuir la vulnerabilidad de los recursos y la población ante los efectos del cambio climático desde distintos ámbitos y, sobre todo, fortalecen la capacidad nacional. Además, estas iniciativas se enmarcan en programas gubernamentales que promueven el desarrollo sostenible. Más aún, en el caso particular del PRAA, al ser llevado adelante paralelamente en el Ecuador, el Perú y Bolivia (Estado Plurinacional de), fomenta los procesos participativos entre las comunidades beneficiarias, los gobiernos locales y las entidades vinculadas.

Sin embargo, como se ha visto a lo largo de este estudio, los impactos futuros podrían llegar a ser significativos, por lo que se requiere sumar más tareas en cuanto a medidas, políticas, proyectos e inversiones para lograr una efectiva adaptación al cambio climático.

Sobre la base de los resultados, y de las propuestas de los organismos oficiales, las recomendaciones derivadas del estudio se han organizado con un enfoque integral en lugar de una mirada exclusivamente sectorial. De este modo, las principales medidas de adaptación sugeridas en este estudio se enfocarían en las siguientes metas:

- i) El afianzamiento y/o creación de regulaciones y normas de control;
- ii) Las inversiones directas en infraestructura ambiental para rehabilitar ecosistemas en el ámbito público y para crear asociaciones público-privadas de carácter ambiental;
- iii) La política fiscal, con el objeto de regular los mercados y eliminar los subsidios perversos, establecer impuestos y cargas en relación con el daño ambiental y reorientar los subsidios, y
- iv) La creación de mercados que garanticen los derechos de propiedad, contemplen programas de compensación, permisos y derechos transables, e incentiven la adquisición de productos sostenibles.

Todas estas medidas pueden lograrse si se crean fondos de inversión ambiental y se fijan pagos por la generación de servicios ecosistémicos. En el cuadro VI.1 se detallan las medidas propuestas con esta mirada integral.

CUADRO VI.1
ECUADOR: MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Ámbito de las medidas de adaptación				
Sector	Regulación	Inversión pública	Instrumentos fiscales	Creación de mercados
Recursos hídricos	Regulación del uso del agua a partir de la demanda ecosistémica y el déficit o superávit de las distintas regiones hidrográficas (nueva ley de agua).	Construcción y mantenimiento de reservorios medianos para riego y agua potable en la región de la Sierra (costo: 11 millones de dólares) ^a .	Actualización del sistema tributario de agua para usos industrial, doméstico y riego, con la aplicación de subsidios cruzados entre regiones y expectativas de estrés con superávit hídrico por cambio climático.	Ejecución de los proyectos de energía hidroeléctrica basados en mecanismos de desarrollo limpio.
	Promoción del acceso a información hidrometeorológica actualizada (por ejemplo, el estudio del balance hídrico en el ámbito nacional).	Implementación de nuevos proyectos de generación hidroeléctrica en zonas donde se evidencie un probable exceso de recursos hídricos.		Fomento del Fondo del Agua creado para proteger los glaciares.
	Estudio de la explotación y rendimiento de las aguas subterráneas (costo: 1,1 millones de dólares) ^a .	Estudios y diseños de trasvases para proyectos de la vertiente oriental al valle interandino (costo: 0,8 millones de dólares) ^a .		
	Fortalecimiento del Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN)	Optimización del uso del agua en regiones con mayor infraestructura para riego —región de la Sierra y centro y sur de la Costa— (costo: 5,3 millones de dólares) ^a .		
	Modelación hidrológica de ríos en lugares potencialmente sujetos a inundaciones (costo: 1,8 millones de dólares) ^a .	Promoción de nuevos proyectos de riego para zonas con déficit —zona central y meridional de la Costa y de la Sierra— (costo: 30 millones de dólares) ^a .		
	Red hidrometeorológica para prevenir inundaciones y vigilar las crecidas extraordinarias de ríos en las ciudades (costo: 1,8 millones de dólares) ^a .	Programas integrales para el manejo de cuencas hidrográficas en todo el país (costo: 115 millones de dólares) ^a .		
		Mejoramiento, ampliación y construcción de nuevos sistemas de agua potable en la Costa, y la zona central y oriental de la Sierra (costo: 115 millones de dólares) ^a .		
	Construcción de obras para controlar inundaciones en zonas bajas de la Costa y de compensación en lugares sin acceso terrestre de la zona oriental (costo: 2,7 millones de dólares) ^a .			

(Continúa)

Cuadro VI.1 (continuación)

Ámbito de las medidas de adaptación				
Sector	Regulación	Inversión pública	Instrumentos fiscales	Creación de mercados
Agropecuario	Actualización de los planes de reordenamiento territorial a partir de los posibles impactos del cambio climático.	Inversión en silos para almacenar excedentes de productos agrícolas.	Incorporación e incentivo de nuevas tecnologías a fin de lograr unidades de producción agropecuaria de subsistencia. Diversificación y sustitución de cultivos basadas en pronósticos climáticos y precios.	Ejecución de proyectos de cambios en el uso del suelo y desarrollo forestal basados en mecanismos de desarrollo limpio. Promoción del Sistema Nacional de Seguro Agrícola. Incentivos para la creación de futuros mercados forestales que contrarresten la expansión de pastizales.
Biodiversidad	Fortalecimiento de la ampliación de las formaciones vegetales más afectadas por el cambio climático en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (plan estratégico del SNAP 2007-2016). Creación de corredores biológicos a nivel nacional (Llangantes-Sangay, Cuyabeno-Pañacocha-Yasuní y Antisana-Llanganates) y corredores comunitarios (El Ángel-Golondrinas).	Incremento de 4 a 16 dólares por hectárea de las inversiones destinadas al manejo de áreas protegidas en materia de administración, control y vigilancia, planificación, capacitación del personal, educación ambiental, infraestructura, medios de transporte y equipamiento.	Fortalecimiento de los proyectos orientados a reducir la deforestación y la degradación forestal.	
Marino y costero	Protección de playas mediante políticas. Control de la construcción de infraestructura en las playas. Inclusión de las zonas rocosas intermareales en el SNAP. Regulación ambiental para evitar la transformación de sustratos.	Reforestación con mangles y especies nativas afines. Enriquecimiento de las playas. Construcción de infraestructura para diferentes objetivos, por ejemplo: (i) trampas de sedimentos en los ríos, (ii) arrecifes rocosos supramareales, y (iii) diques y canales. Estudios sobre explotación y rendimiento de aguas subterráneas (costo: 1,1 millones de dólares) ^a . Obras para controlar la elevación del nivel del mar y la intrusión salina en tierras agrícolas bajas (costo: 10,7 millones de dólares).	Disminución de la expansión horizontal del desarrollo urbano. Penalización de la pesca de arrastre en zonas rocosas y alrededores y de la extracción de arena, suelos y rocas de los ecosistemas costeros.	

(Continúa)

Cuadro VI.1 (continuación)

Ámbito de las medidas de adaptación				
Sector	Regulación	Inversión pública	Instrumentos fiscales	Creación de mercados
Infraestructura	Mejoramiento de materiales y obras complementarias en las zonas de mayor riesgo mediante reformas de los reglamentos de compras públicas y licitaciones de obras de infraestructura vial. Elaboración de escenarios macrofiscales plurianuales sobre la inclusión de los costos de adaptación en el presupuesto anual estatal.	Protección integral de las obras de vialidad (costo: 157 millones de dólares).	Incentivos económico-financieros para proteger las inversiones de infraestructura pública y privada que incorporen el análisis del impacto causado por el cambio climático.	
Galápagos	Actualización del plan de manejo del Parque Nacional Galápagos y zonificación a fin de identificar nuevos sitios potenciales de visita. Prohibición de anclaje en zonas de arrecifes coralinos e instalación de boyas de amarre. Monitoreo de la temperatura del mar e incidencia en los arrecifes coralinos. Prohibición de venta de coral a turistas o coleccionistas.	Ampliación del programa de manejo de especies en cautiverio y creación de programas para aquellas especies que el parque no alberga. Creación de un programa de replantación de poblaciones de corales, mediante reproducción ex situ, que incluya su monitoreo. Protección de fuentes hídricas para consumo humano y programas de conservación de los recursos hídricos. Inventario de áreas de posibles inundaciones y programas de control.	Creación del fondo de rehabilitación de vías y pistas de aterrizaje. Implementación de sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia.	Ejecución de proyectos de energía eólica basados en mecanismos de desarrollo limpio en las islas.
Salud	Adecuación del sistema de vigilancia epidemiológica para incorporar la noción de riesgo por cambio climático en las zonas vulnerables.	Sistema de comunicación y capacitación en la creación de escudos epidemiológicos en las nuevas zonas propensas al riesgo de transmisión de enfermedades por vectores. Ejecución de campañas de prevención a nivel municipal basadas en la red de información meteorológica a fin de optimizar la inversión en rociado y otras prácticas preventivas.		

(Continúa)

Cuadro VI.1 (conclusión)

Ámbito de las medidas de adaptación				
Sector	Regulación	Inversión pública	Instrumentos fiscales	Creación de mercados
General	Creación de sistemas de acceso libre y sencillo para los actores de los sectores relevantes destinados a monitorear y evaluar el impacto del cambio climático.		Reorientación de los subsidios energéticos de fuentes fósiles hacia tecnologías limpias.	
	Reorientación del Sistema Nacional de Inversión Pública hacia inversiones orientadas a lograr la adaptación y la mitigación de los efectos del cambio climático.		Incentivos fiscales al ahorro de energía (por ejemplo, lámparas de bajo consumo y créditos para reconversión tecnológica) y sustitución energética en industrias y hogares.	

Fuente: Elaboración propia.

^a Los costos estimados, que no constituyen una respuesta a la valoración del costo del cambio climático, son incrementales y complementan los costos contemplados en los planes de desarrollo regionales, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- i) los escenarios analizados A2 y B2 de la demanda de agua para usos consuntivos en cada región hídrica;
- ii) la capacidad gestora de cada región para llevar adelante proyectos y programas incluidos en el presupuesto del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2010 de la SENPLADES;
- iii) las regiones hídricas donde se evidencia un mayor impacto del cambio climático, y
- iv) los proyectos y programas necesarios para lograr la adaptación, no incluidos en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2010.

Los mecanismos de incentivos económico-financieros para inversiones en adaptación deberían plantearse desde la programación macroeconómica y fiscal del gobierno central y el sector público no financiero. En la actualidad, este tipo de mecanismo no se considera un medio viable para financiar programas y proyectos de inversión en medidas de adaptación al cambio climático, ya que el marco constitucional no permite crear fondos de acumulación y contingencia o fideicomisos con recursos públicos.

En la práctica, la posibilidad de implementar programas y proyectos de adaptación al cambio climático está determinada por la disponibilidad de recursos fiscales, las prioridades del gobierno y su costo de oportunidad. Por lo tanto, se sugiere evaluar la congruencia macroeconómica del desempeño fiscal en el mediano plazo para asegurar la disponibilidad actual y la sostenibilidad futura de los recursos fiscales en un horizonte cercano ante los impactos del cambio climático.

Elaborar un escenario de base sin medidas de adaptación permite conocer cuál sería la situación esperada en la economía frente a un escenario donde las variables históricas de la política no sufran alteraciones significativas. Sobre la base de este escenario se pueden ensayar varias alternativas de política pública e inversión en medidas de adaptación, de manera que permitan estudiar sus posibles relaciones e implicancias en el campo macroeconómico y fiscal. A la luz de estas consideraciones, se pueden incluir los costos de adaptación estimados y sugeridos para analizar la coherencia macrofiscal en caso de incurrir en dichos costos y la programación fiscal de los posibles gastos adicionales.

En síntesis, se esperaría que el diseño y la aplicación de las medidas de adaptación requeridas sean de utilidad a la hora de analizar las acciones de la política pública frente al cambio climático. La eficacia de las medidas de adaptación dependerá de la orientación y la oportunidad de las inversiones públicas, así como de los mecanismos de control y los incentivos del ámbito privado.

VII. Mitigación del cambio climático

El objetivo del presente capítulo consiste en analizar el comportamiento de las emisiones de gases de efecto invernadero (emisiones GEI) en el Ecuador. El análisis se desarrolla modelando el sector energético, el cambio de uso del suelo, la reforestación y la silvicultura, así como las emisiones por residuos. A tal fin se simularon escenarios de abatimiento de carbono, así como posibles medidas de mitigación.

A. Mitigación sector energía

En 2009, la energía total producida e importada en el Ecuador fue de 19.473 Mwh¹, de los cuales el 47% corresponde a fuentes hidráulicas; el 47% a fuentes térmicas, y el 5% a fuentes eólicas². Los principales proyectos hidroeléctricos actualmente operativos los puso en práctica el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) en la década de 1970. Actualmente se encuentran en diferentes fases de implementación grandes proyectos hidroeléctricos³.

También se explota gas natural desde 2001, y actualmente se producen 29 millones de pies cúbicos por día (7% de la estructura de energía primaria). A su vez, en 2006 la leña representó el 3% de la energía primaria. Esta forma de energía ha ido disminuyendo de intensidad debido a la penetración del gas licuado (GLP), combustible de bajo costo y combustión limpia, en los hogares ecuatorianos. De acuerdo con el “Plan Maestro de Electrificación 2007-2016” (MEER), la principal línea actual de política energética consiste en impulsar el cambio de la matriz energética, reemplazando la energía fósil por energía renovable, basado en un 15% en el uso de “tecnologías limpias”.

¹ Menos del 1% se concentra en el uso de paneles solares, geotermia, digestión de desechos ganaderos para la producción de metano y biodiésel, entre otros.

² Consejo Nacional de Electricidad (www.conelec.gov.ec)

³ Dentro de los proyectos hidroeléctricos figuran: Coca Codo Sinclair, Toachi Pilatón, Quijos Baeza, Sopladora, Chespi, Chontal y Villadora.

1. Enfoque metodológico

Para simular un escenario de “abatimiento de carbono” fue necesario desarrollar modelos específicos que permitieran definir: a) la prospectiva económica, y b) un modelo energético integrado basado en la matriz energética del país y la prospectiva de la demanda energética.

a) La prospectiva económica

La metodología para definir la prospectiva económica se desprende de un escenario *económico inercial* (o “Business as Usual”), que tiene en cuenta la evolución histórica reciente del sistema y refleja las tendencias inerciales. A partir de dicho escenario económico se elaboran dos escenarios energéticos: (i) escenario energético base, y (ii) escenario de mitigación de emisiones de GEI. El primero considera las tendencias históricas energéticas. El segundo escenario se construye incorporando hipótesis de cambio estructural y de eficiencia energética (véase el gráfico VII.1).

Los sectores considerados dentro del PIB son los que se aproximan al consumo final de los balances energéticos: transporte, almacenamiento y comunicaciones; industria; comercio, servicios y sector público; agricultura (agro), pesca y minería; construcción, y otros. La estructura porcentual del PIB por sectores se mantiene relativamente constante.

b) Modelo energético

La modelación general utiliza el balance energético nacional como elemento integrador y permite equilibrar consistentemente los diferentes flujos de demanda y oferta de energía.

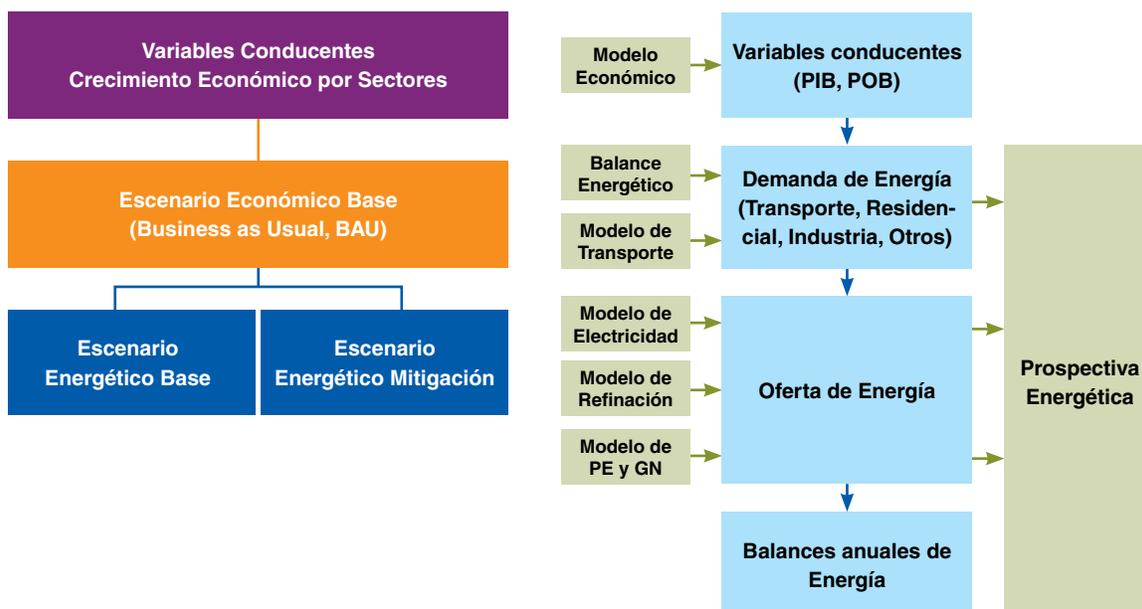
Cada una de las partes del sistema energético se ha analizado y modelado de manera específica. Las modelaciones a nivel de demanda y oferta se desarrollaron con el modelo LEAP (Long-range Energy Analysis Planning System), que permite efectuar la integración de los balances energéticos, analizar los cambios en variables y estimar las emisiones de GEI en el sistema energético.

Las relaciones del balance se expresan mediante ecuaciones de comportamiento de la demanda relacionadas con las variables del sistema económico o variables conducentes (por ejemplo: intensidades energéticas, elasticidades). Del lado de la oferta, los centros de transformación y la producción de energía primaria se expresan en relaciones técnicas de producción.

c) Supuestos del escenario económico

Entre 1993 y 2007, el crecimiento del PIB fue del 3,2%, y el escenario económico inercial, o Business as Usual (BAU), muestra comportamientos anuales acordes con los datos históricos. Entre 2007 y 2030 la tasa de crecimiento promedio del PIB sería del 3,7% (véase el cuadro VII.1). En cuanto al PIB de los sectores socioeconómicos, de acuerdo con las tendencias futuras crecerían, en el sector transporte, el 4,1%, seguido por la agricultura y la minería (4%), el comercio (3,6%), la construcción (3,5%) y la industria (1,8%). El elevado crecimiento del parque automotor resultarían en elevados consumos de combustibles dado su peso en el sector energético.

GRÁFICO VII.1
ECUADOR: SÍNTESIS DE LA MODELACIÓN APLICADA EN MITIGACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO VII.1
ECUADOR: OFERTA Y DEMANDA AGREGADA, ESCENARIO INERCIAL

Período	PIB	Importaciones	Total Ingresos y Gastos	Consumo			Inversión	Exportaciones
				Total	Gobierno General	Hogares		
1993-1999	1,4%	-0,5%	0,9%	1,1%	-0,5%	1,4%	-7,0%	5,8%
2000-2006	5,2%	11,6%	6,9%	5,6%	2,5%	6,0%	11,3%	6,7%
2007-2010	9,7%	1,8%	7,3%	6,7%	6,7%	6,7%	6,0%	9,3%
2010-2015	2,9%	5,5%	3,6%	4,5%	4,5%	4,5%	-2,5%	5,5%
2015-2020	3,3%	3,4%	3,3%	2,9%	2,9%	2,9%	4,9%	3,4%
2020-2025	2,7%	3,6%	3,0%	3,1%	3,1%	3,1%	1,3%	3,6%
2025-2030	2,5%	2,9%	2,7%	2,5%	2,5%	2,5%	2,4%	2,9%

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Banco Central de Ecuador.

d) Supuestos del escenario de mitigación

Como se ha señalado anteriormente, sobre el mismo escenario económico se construyeron dos escenarios energéticos. El escenario base mantiene las tendencias dinámicas inerciales del pasado; para el escenario de mitigación se efectuaron las hipótesis que se presentan en el cuadro VII.2 sobre estrategias de mitigación basadas en cambios estructurales de la demanda final de energía.

CUADRO VII.2
ECUADOR: ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN PARA LOS PRINCIPALES
SECTORES CONSUMIDORES

Sector	Medidas	2030	2050
Residencial	• Aumento de eficiencia usos térmicos (%)	0,14	0,23
	• Aumento de la electricidad en usos térmicos (cocinas de inducción) (%)	33,73	42
	• Sustitución de leña (%)	10,34	6,5
Industria	• Disminución de intensidad energética (%)	0,18	0,3
	• Penetración del gas natural (%)	23,6	30
Transporte	Mejora consumo unitario por vehículo		
	• Motor Otto (litros/ vehículo)	0,09	0,15
	• Motor diésel (litros/ vehículo)	0,18	0,25
	Penetración de biocombustibles en el consumo		
	• Etanol (%)	10	10
	• Biodiésel (%)	10	10
	Penetración de nuevas tecnologías		
	Motores híbridos (%)	24,1	30
	Motores eléctricos (%)	24,4	35
	Sustitución buses por trolebuses (%)	2,1	2,4
	Sustitución de diésel por electricidad en ferrocarriles (%)	90	90
	Sustitución de motores Otto por diésel		
	Camionetas (%)	22,8	30
	Camiones y buses (%)	99,9	100
Autos y jeeps (%)	12	14	

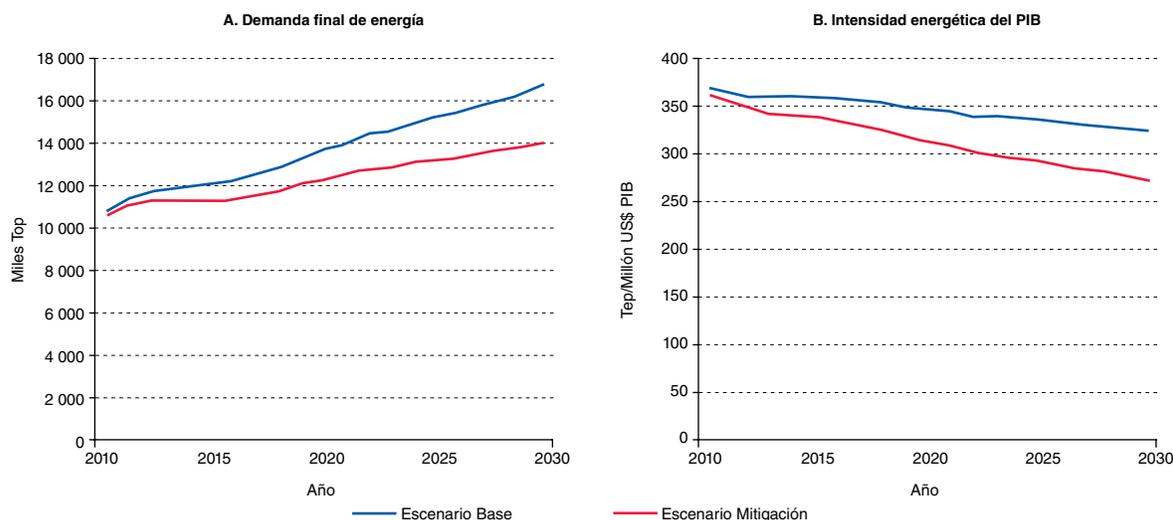
Fuente: Elaboración propia.

2. Cambios estructurales en la demanda de energía: visión en 2030

En el gráfico VII.2 se muestra la demanda total de manera comparada para los dos escenarios energéticos; el escenario base registra un crecimiento anual del 2,8% y el escenario de mitigación del 2% anual. Asimismo, se aprecia el efecto de los cambios supuestos que conducen a una mejora considerable en la intensidad energética de la economía, lo cual hace más eficiente el sistema económico.

GRÁFICO VII.2

ECUADOR: DEMANDA FINAL E INTENSIDAD ENERGÉTICA POR ESCENARIOS HASTA 2030



Fuente: Elaboración propia.

Los sectores con mayor consumo energético en 2030 serían: transporte, con el 53%; residencial (19%), industria (13%) y otros con el 19% en el escenario base (véase el cuadro VII.3a). En comparación con el escenario de mitigación, las diferencias no son tan grandes. Sin embargo, los cambios en este escenario se asocian al crecimiento del PIB sectorial y a los supuestos de eficiencia y sustitución. Al analizar las fuentes energéticas se espera que los productos del petróleo reduzcan su participación por la penetración del gas natural y los biocombustibles (véase el cuadro VII.3B).

CUADRO VII.3

ECUADOR: ESTRUCTURA DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN 2030, ESCENARIOS BASE Y DE MITIGACIÓN

A. Por sector

Sectores	2007	2030	
		Base	Mitigación
Transporte	53,10%	53,40%	53,90%
Residencial	19,30%	15,10%	14,10%
Industria	12,10%	12,70%	10,60%
Otros	15,50%	18,80%	21,40%

B. Por fuente

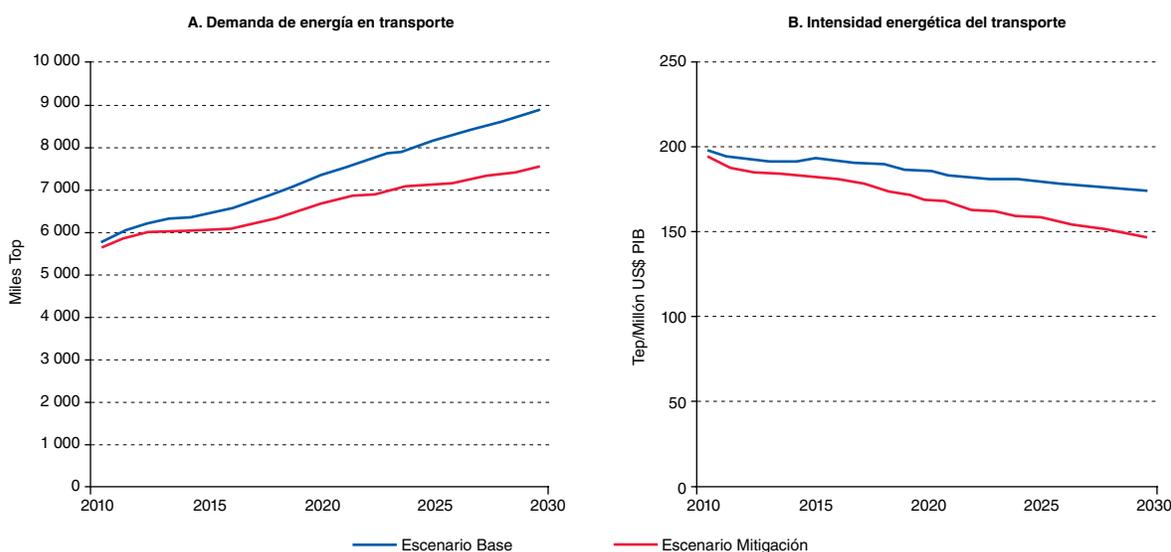
Fuentes	2007	2030	
		Base	Mitigación
Productos petroleros	78,50%	77,60%	68,60%
Gas Natural	0,00%	0,00%	2,20%
Electricidad	14,20%	16,00%	19,50%
Etanol	0,00%	0%	1,30%
Biodiésel	0,00%	0%	2,90%
Otros	7,30%	6,40%	5,50%

Fuente: Elaboración propia.

a) Sector transporte

De acuerdo con el cuadro VII.3, el sector transporte sería el mayor consumidor de energía y el que generaría mayores emisiones de GEI. La demanda futura de energía de dicho sector aumentaría un 2,8% anual en el escenario base, y un 2,1% en el escenario de mitigación. Esos aumentos se explicarían por la sustitución entre fuentes y la eficiencia energética, que en 2030 podrían bajar el consumo esperado en el escenario de mitigación en un 15% (véase el gráfico VII.3), reduciendo también la intensidad energética del transporte en relación con el crecimiento global de la economía.

GRÁFICO VII.3
ECUADOR: DEMANDA DE ENERGÍA E INTENSIDAD ENERGÉTICA DEL TRANSPORTE HASTA 2030



Fuente: Elaboración propia.

En el escenario de mitigación se advierte la penetración de gas natural comprimido (GNC), que busca reemplazar en parte al GLP. La incorporación del etanol permitiría sustituir parcialmente gasolinas y biodiésel y, en parte, diésel oil. Además, se da por supuesto que la electricidad sustituiría gasolinas en autos y jeeps y que aumentaría su consumo en el transporte ferroviario de pasajeros. En dichos casos se reducirá la importación de esos derivados del petróleo.

b) Sector residencial

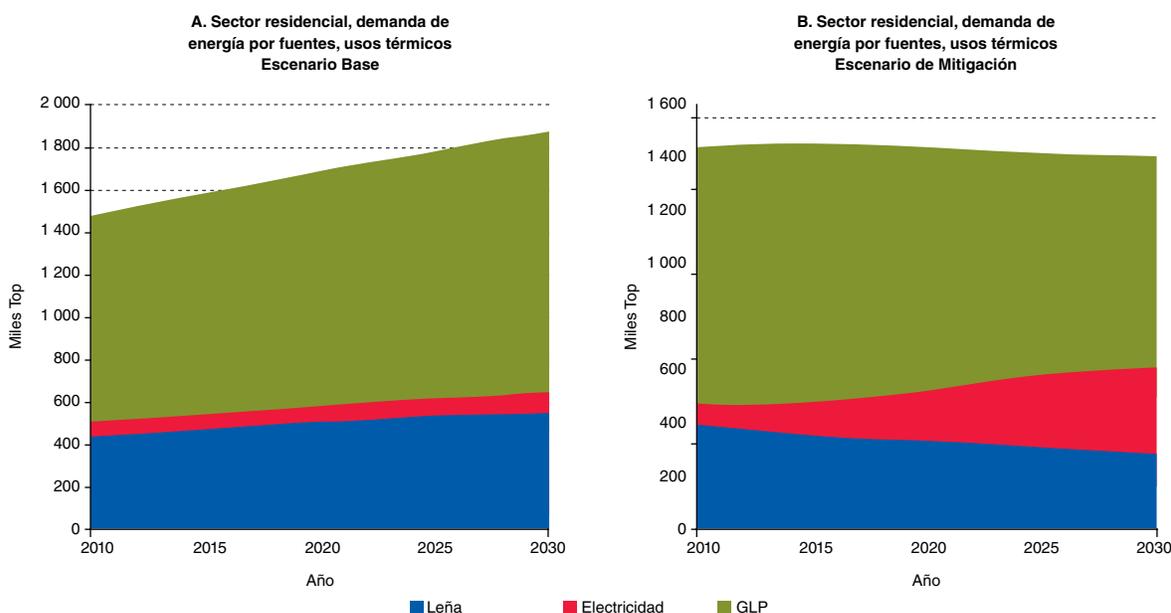
La demanda de energía del sector residencial fue del 20% del total de energía en 2007. La demanda de energía futura resultante de la modelación proyecta una tasa anual del 1,7% en el escenario base y del 0,7% en el escenario de mitigación.

Para 2030, el escenario de mitigación (consumo de 1985,1 kTep) presenta una disminución del 22% con respecto al escenario base (2528,9 kTep). Se espera que la electricidad sea la fuente que experimente el crecimiento más rápido en la demanda de energía del sector. Como lo muestra el gráfico VII.4, habría una mayor penetración en usos térmicos, específicamente en cocción de alimentos, sustituyendo así al GLP, que actualmente recibe subsidios importantes. Por otro lado, se plantea una mejora de la eficiencia en usos electro-específicos, principalmente en iluminación, mediante el uso de focos de bajo consumo, y también mejoras en la eficiencia en usos térmicos. La proporción del consumo en usos térmicos se

reducirá al 74% hasta 2030 en el escenario base, y al 70% en el escenario de mitigación, en función de una reducción del consumo en usos térmicos debida principalmente a la sustitución de la leña.

En los usos térmicos se aprecia el efecto de las mejoras en la eficiencia y en los procesos de sustitución por fuentes más eficientes (véase el gráfico VII.4).

GRÁFICO VII.4
ECUADOR: SECTOR RESIDENCIAL, DEMANDA ENERGÉTICA
EN USOS TÉRMICOS HASTA 2030



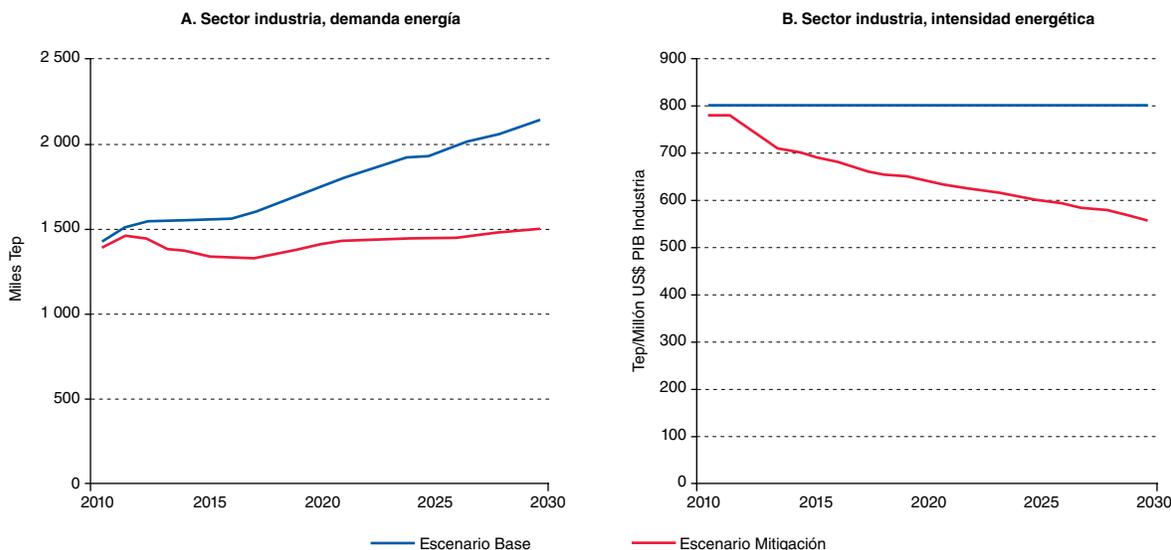
Fuente: Elaboración propia.

c) Sector industrial

La demanda de energía del sector industrial representaba el 12% de la demanda total de energía en 2007. La demanda de energía futura de la industria, resultante de la modelación, proyecta hasta 2030 un aumento del 3% anual (alcanzado 2.123 ktep) en el escenario base, y de un 1,4% anual en el escenario de mitigación (con 1.485 ktep; véase el gráfico VII.5).

La industria consume la mezcla de energía más amplia en comparación con los otros sectores. Particularmente, la generación de calor y la fuerza motriz representaron el 85% de la demanda industrial en 2007. El escenario de mitigación contempla mejoras en la eficiencia y en los usos específicos de la electricidad, y sustituciones por fuentes más limpias y eficientes (por ejemplo, el gas natural).

GRÁFICO VII.5
ECUADOR: CONSUMO DE LA INDUSTRIA E INTENSIDAD ENERGÉTICA
POR ESCENARIOS HASTA 2030



Fuente: Elaboración propia.

d) Generación de electricidad

La generación de energía de servicio público en el país tiene una importante componente hidroeléctrica⁴. Esta predominancia se mantendría aún en un escenario inercial debido a obras ya en construcción y a algunos aumentos de capacidad. Sin embargo, en el escenario de mitigación se intensificaría el desarrollo hidroeléctrico.

El Ecuador cuenta con un importante potencial hidroeléctrico, como se puede apreciar en el cuadro VII.4. El potencial total en proyectos disponibles para desarrollo superaría los 12.000 MW, de los cuales el 77% se asocia a proyectos superiores a los 100 MW de capacidad, el 20% en el rango de 10 a 100 MW, y el resto en proyectos pequeños de hasta 10 MW.

CUADRO VII.4
ECUADOR: CAPACIDAD INSTALABLE EN PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS
DISPONIBLES PARA DESARROLLO

Rango de potencia	Número de proyectos	Capacidad potencial (Mw)	Tamaño promedio (Mw/proyecto)
Mayor a 100 MW (100 a 1140 MW)	15	9 958	663
10 a 100 MW	66	1 951	30
1 a 10 MW	54	272	5
Menor a 10 MW	83	24,6	0,3

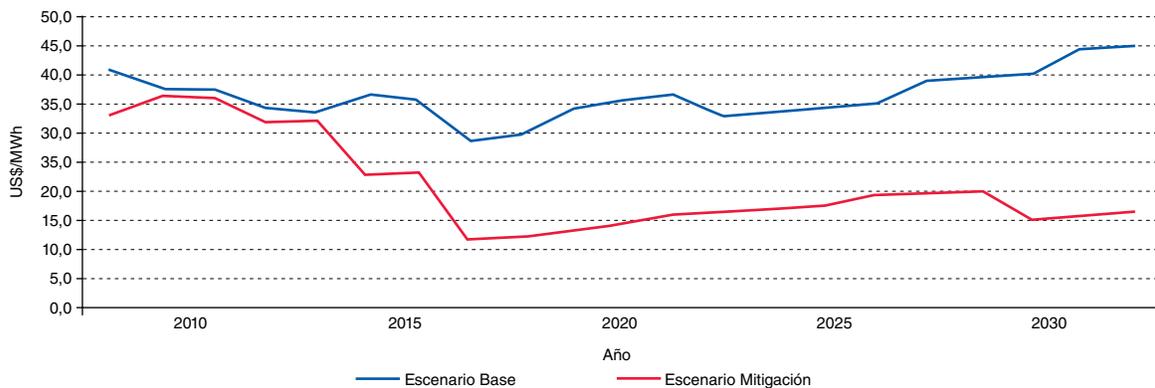
Fuente: CONELEC, Catálogo de proyectos hidroeléctricos.

⁴ En el caso de la generación de electricidad y, en general, en la oferta de energía, solamente se consideran el escenario inercial y el escenario de mitigación.

Es recomendable impulsar el desarrollo de proyectos de tamaño mediano, que pueden tener un impacto considerable, con algunas ventajas de adaptación en su expansión de la capacidad de demanda y mayor facilidad de financiar inversiones más pequeñas.

La mayor intensidad del desarrollo hidroeléctrico en el escenario de mitigación tendría como consecuencia mayores inversiones, ya que las plantas hidroeléctricas requieren inversiones más altas que las térmicas. Sin embargo, la reducción de los costos de combustibles compensa ese efecto dando como resultado un costo de generación menor en el escenario de mitigación que en el escenario base (véase el gráfico VII.6).

GRÁFICO VII.6
ECUADOR: COSTOS UNITARIOS DE GENERACIÓN HASTA 2030,
ESCENARIOS BASE Y DE MITIGACIÓN



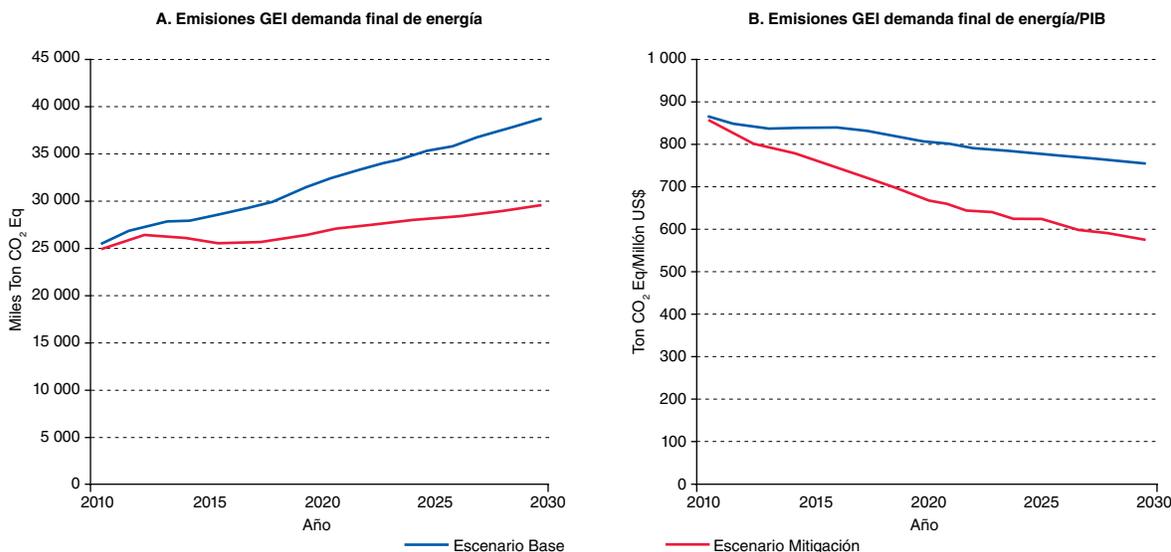
Fuente: Elaboración propia.

3. Mitigación de emisiones de GEI hasta 2030

a) Demanda final

Las emisiones de GEI en el horizonte 2030 llegarían a 29,5 millones de toneladas de CO₂Eq en el escenario de mitigación en comparación con los 38,8 millones del escenario base, con un nivel apreciable de reducción de los efectos globales. Por otra parte, las emisiones específicas por unidad de PIB muestran también una reducción significativa en el escenario de mitigación (véase el gráfico VII.7).

GRÁFICO VII.7
ECUADOR: EMISIONES GEI DEMANDA FINAL DE ENERGÍA,
ESCENARIOS BASE Y DE MITIGACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

A nivel sectorial, el transporte es el mayor emisor de gases de efecto invernadero, con un 68% del total, seguido por el sector residencial, con un 13%, y la industria, con un 10%. Estos porcentajes concuerdan con lo indicado en el análisis de la demanda, ya que el transporte representa el 3% de la demanda energética del país.

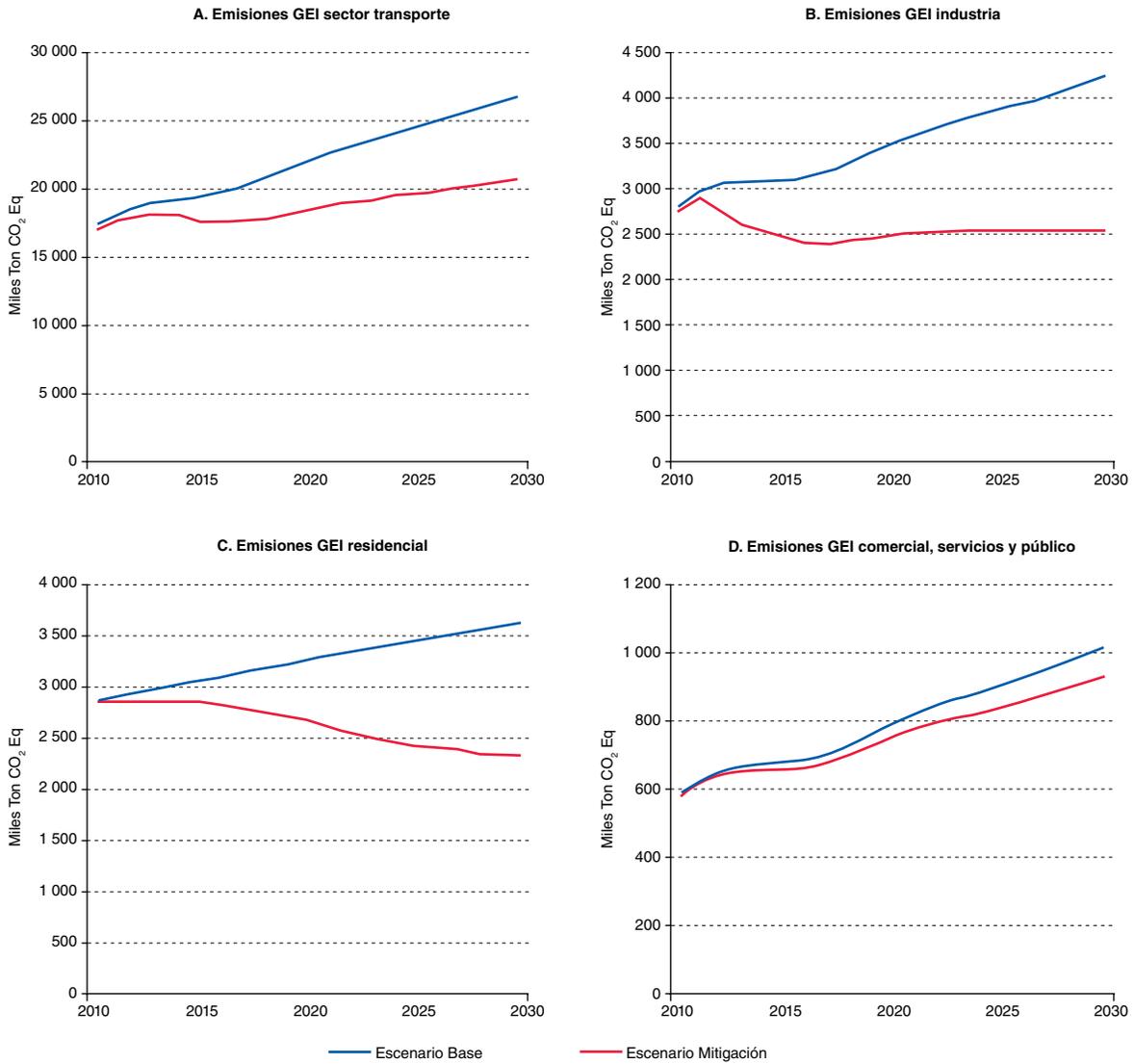
En el escenario de mitigación se producirán cambios significativos en los sectores de consumo más importantes (véase el gráfico VII.8). Como se puede apreciar, se registrarían reducciones significativas en el transporte, aunque en menor medida que en los sectores industrial y residencial.

En el sector industrial hay un margen considerable de mejora en la eficiencia energética, y se ha supuesto una penetración de gas natural por medio de importaciones de gas natural licuado (GNL), reemplazando combustibles líquidos más contaminantes. De esta manera se logran reducciones de emisiones muy significativas.

En el sector residencial, el efecto relativo de reducción de emisiones entre escenarios se debería a la sustitución de GLP por electricidad, haciendo también hincapié en la sustitución de la leña mediante la introducción de cocinas eléctricas de inducción. Cabe señalar que esta sustitución ya se ha considerado como una estrategia a nivel nacional para reducir no solamente las emisiones, sino también el alto subsidio al gas licuado de petróleo⁵.

⁵ El Gobierno del Ecuador está analizando una focalización del subsidio al GLP y su gradual eliminación mediante la sustitución de GLP por electricidad con cocinas eléctricas de inducción; en 2009, el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER) diseñó, para la introducción de dichas cocinas, un programa que aún se encuentra en fase de análisis. Para los montos del subsidio a los combustibles, incluido el GLP, véase: Francisco Figueroa de la Vega, Tablero de comando para la promoción de los biocombustibles en el Ecuador, CEPAL/GTZ, 2008.

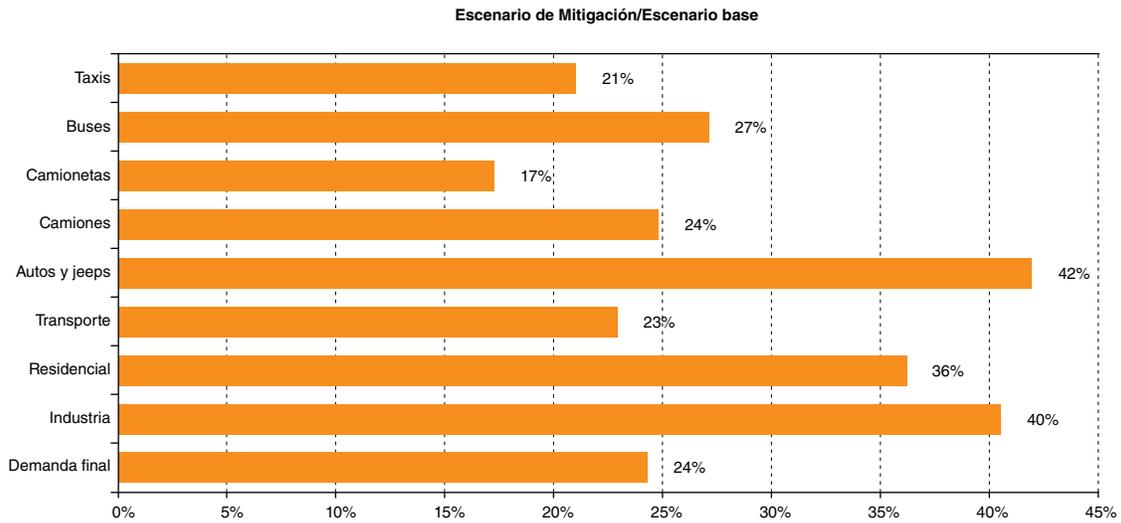
GRÁFICO VII.8
ECUADOR: EMISIONES GEI EN LA DEMANDA FINAL DE ENERGÍA POR SECTOR
HASTA 2030, ESCENARIOS BASE Y DE MITIGACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de las hipótesis planteadas en el escenario de mitigación, se obtendrían reducciones porcentuales muy importantes en los diferentes sectores que se pueden apreciar en el gráfico VII.9. El efecto de la mitigación se manifestaría en reducciones de emisiones de GEI en un rango del 15% al 42% en los diferentes sectores y subsectores hasta 2030. Hay que tener en cuenta que el sector de transporte se analiza con más detalle dada su importancia relativa.

GRÁFICO VII.9 ECUADOR: REDUCCIÓN DE EMISIONES DEMANDA FINAL HASTA 2030



Fuente: Elaboración propia.

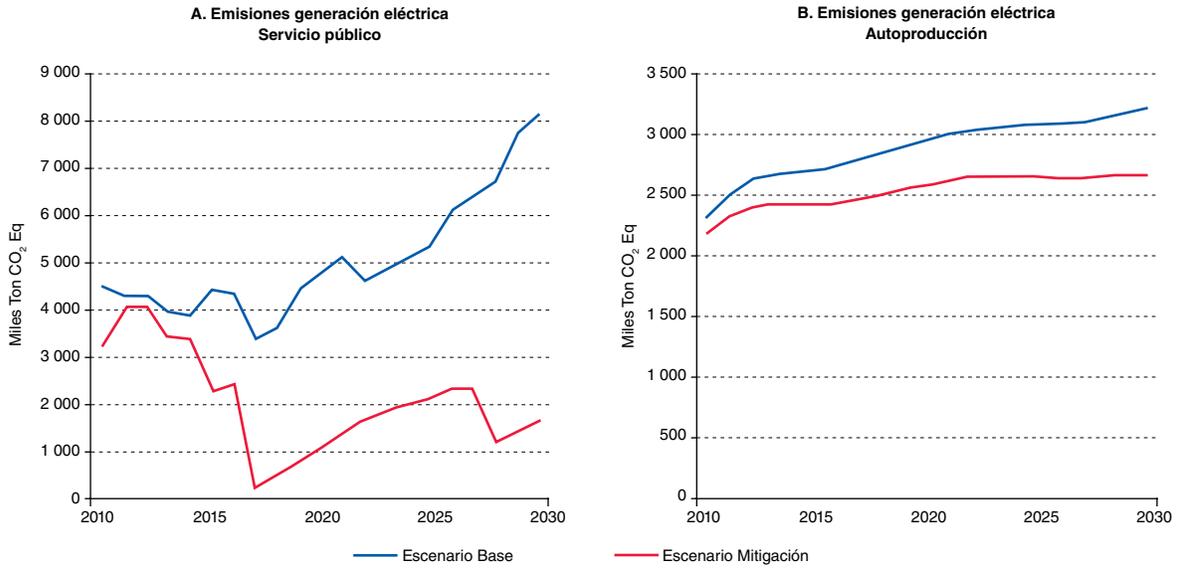
b) Generación de electricidad

El desarrollo hidroeléctrico que podría tener el país minimizaría las necesidades de generación termoeléctrica, aunque esta energía se necesitaría en períodos de estiaje y para complementar la generación hidroeléctrica en las operaciones normales. En el gráfico VII.10 se aprecia una posible reducción muy importante en el escenario de mitigación para el servicio público, no solamente por una menor generación térmica, sino también por la utilización de plantas más eficientes y un mayor uso del gas natural en la generación termoeléctrica.

c) Emisiones totales

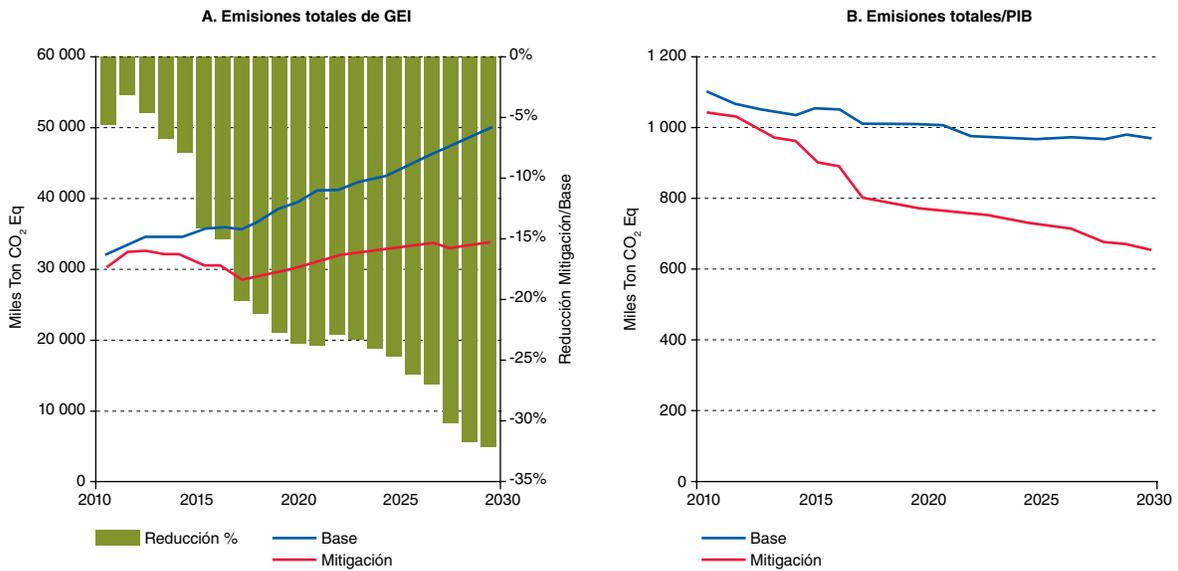
En conclusión, las emisiones totales del sector energético consolidan las emisiones asociadas a la demanda final con las emisiones en la generación de electricidad. En el gráfico VII.11 se observa una reducción importante de las emisiones totales, que llegaría al 33% al final el período. Las emisiones específicas de GEI por unidad de PIB muestran también reducciones significativas entre ambos escenarios, siendo similares, en términos porcentuales, a las reducciones de emisiones totales.

GRÁFICO VII.10
ECUADOR: REDUCCIÓN DE EMISIONES EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA
HASTA 2030



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO VII.11
ECUADOR: REDUCCIÓN DE EMISIONES TOTALES EN EL SECTOR ENERGÍA
HASTA 2030



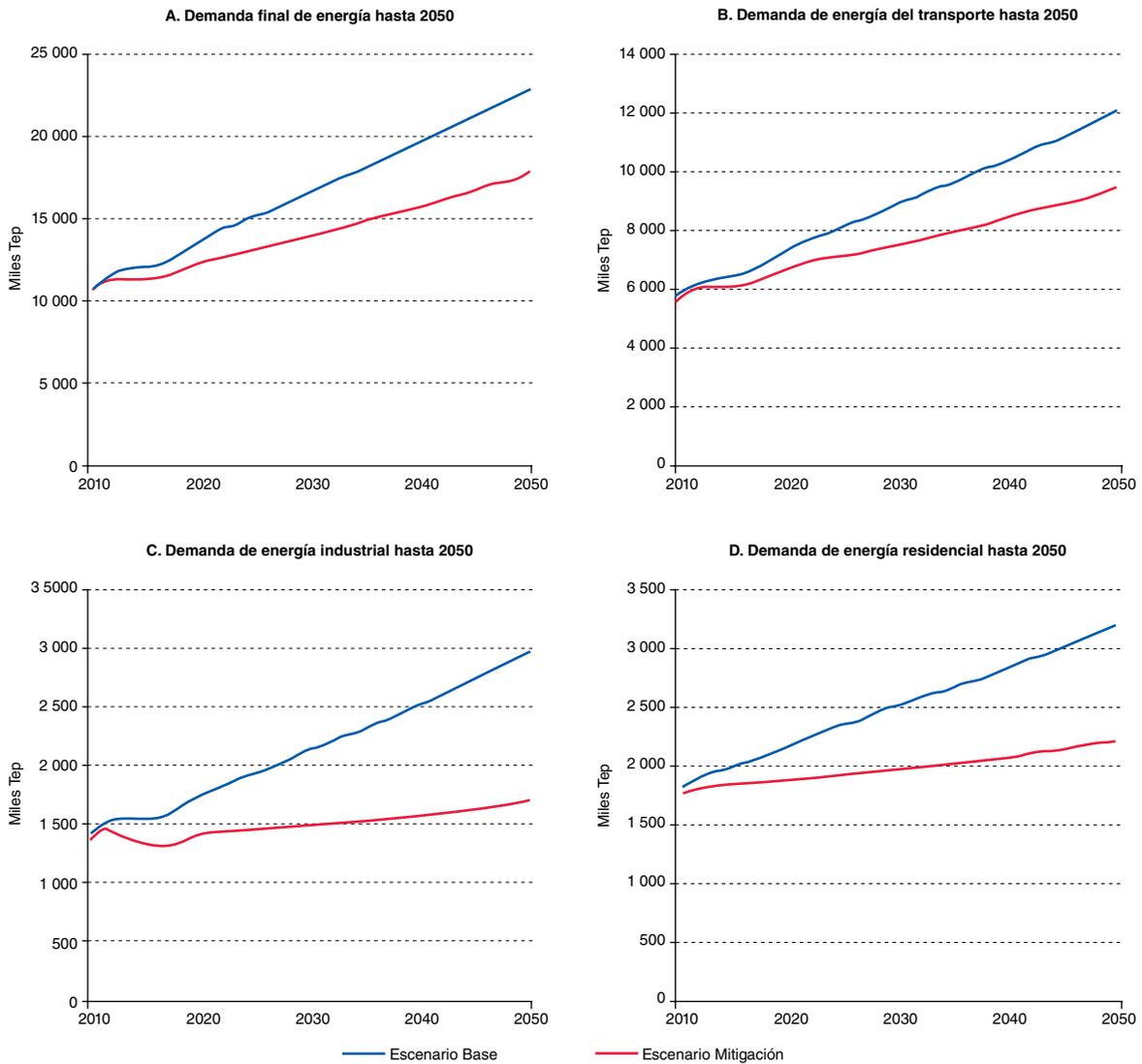
Fuente: Elaboración propia.

4. Cambios estructurales en la demanda de energía: una visión hasta 2050

A continuación se presenta una visión general del sistema económico-energético y de las perspectivas de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en un horizonte que abarca hasta 2050. En cuanto al escenario económico hasta dicho año, se estimó extrapolando las tendencias dinámicas del escenario hasta 2030.

El escenario de mitigación de demanda energética hasta 2050 estaría significativamente por debajo del escenario base, lo cual pone de manifiesto los efectos de las estrategias de cambio en la matriz energética para el mismo nivel de crecimiento económico. El mismo comportamiento se observa en los principales sectores consumidores, es decir, el transporte, el sector residencial y la industria (véase el gráfico VII.12).

GRÁFICO VII.12
ECUADOR: ESCENARIOS DE DEMANDA DE ENERGÍA HASTA 2050

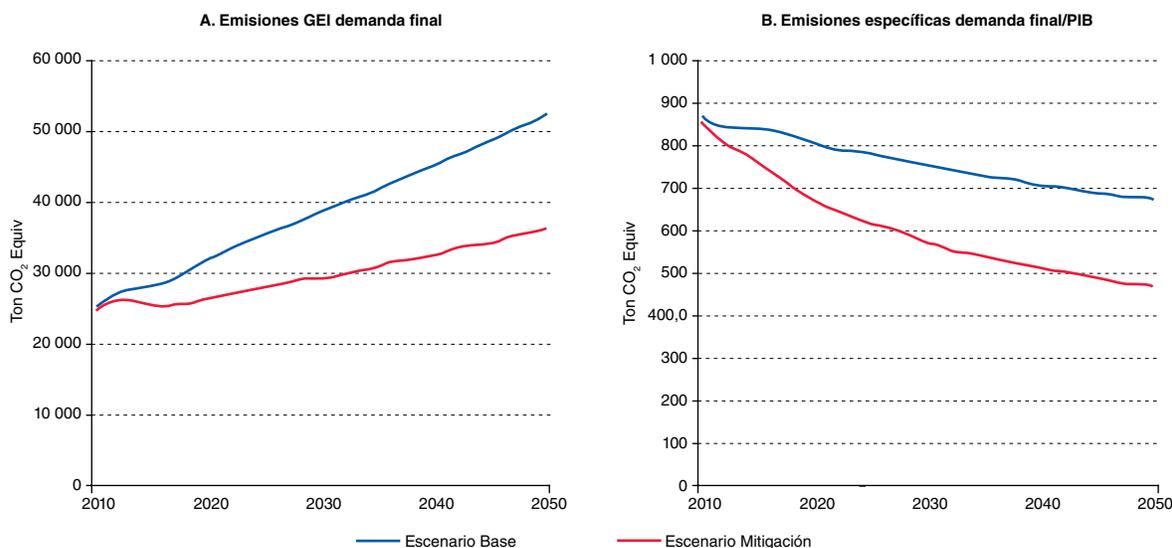


Fuente: Elaboración propia.

a) Emisiones de GEI

Las emisiones de GEI por demanda final en el horizonte 2050 llegarían a unos 36,5 millones de toneladas de CO₂Eq en el escenario de mitigación, y a 52,5 millones de toneladas de CO₂Eq en el escenario base. A su vez, las emisiones específicas por unidad de PIB muestran una reducción aún más significativa en el escenario de mitigación, acentuándose el efecto de las estrategias de mitigación en el horizonte 2050 (véase el gráfico VII.13).

GRÁFICO VII.13
ECUADOR: EMISIONES GEI EN LA DEMANDA FINAL DE ENERGÍA HASTA 2050



Fuente: Elaboración propia.

En el escenario de mitigación a largo plazo se continuarán produciendo cambios significativos en los sectores de consumo más importantes.

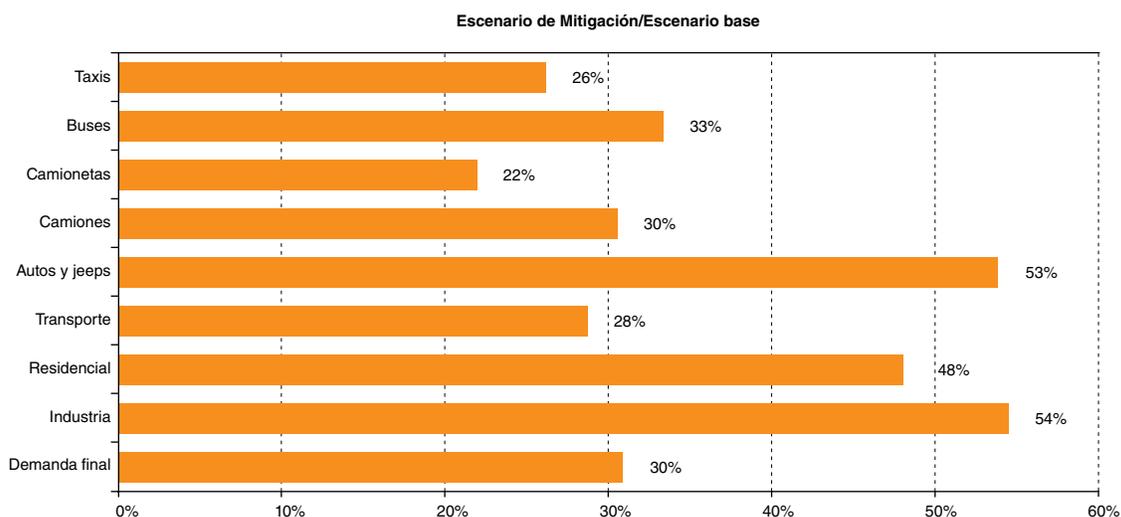
En el sector industrial se aprovecharía un margen importante de mejora en la eficiencia energética, ampliándose la participación del gas natural, que alcanzaría el 30% de los usos térmicos en el horizonte 2050, por medio de importaciones de GNL y reemplazando combustibles líquidos más contaminantes. En el sector residencial se apreciaría una mayor reducción de emisiones entre escenarios, a causa de las sustituciones de GLP por electricidad y, también, por la sustitución de la leña.

En el sector del transporte, sería en el parque vehicular privado (autos y jeeps) donde se obtendría un mayor efecto de mitigación, como consecuencia de las estrategias planteadas para 2030, tales como: introducción de nuevas tecnologías, vehículos híbridos y eléctricos, así como también mejoras en la eficiencia de los motores y de menores recorridos por un mayor desarrollo del transporte público. La penetración de nuevas tecnologías sería más acentuada en el largo plazo, al igual que las mejoras en la eficiencia de motores y sistemas de transporte. Para otros tipos de vehículos también se apreciarían efectos de mitigación importantes en función de las mejoras en la eficiencia y las sustituciones de combustibles.

Como resultado de las hipótesis planteadas en el escenario de mitigación, se obtendrían reducciones porcentuales muy importantes en los diferentes sectores. A fin de ilustrar y comparar los efectos, en el gráfico 7.14 se muestra la disminución porcentual, hasta el año horizonte 2050, del escenario de mitigación con respecto al escenario base. Se aprecian disminuciones muy significativas en autos y jeeps (53%), en el sector residencial (48%), en la industria (54%) y en los demás sectores (entre el 20% y el 30%).

GRÁFICO VII.14

ECUADOR: REDUCCIÓN DE EMISIONES EN LA DEMANDA FINAL HASTA 2050



Fuente: Elaboración propia.

b) Generación de electricidad

La generación de energía de servicio público en el país continuaría teniendo una fuerte componente hidroeléctrica aún hacia 2050, que se intensificaría en el escenario de mitigación. Este desarrollo aminoraría los requerimientos de generación termoeléctrica (requerida para períodos de estiaje y como complemento de la generación hidroeléctrica).

Incluso en un horizonte a largo plazo, las instalaciones de capacidad hidroeléctrica estarían dentro del rango del potencial en proyectos disponibles para su desarrollo.

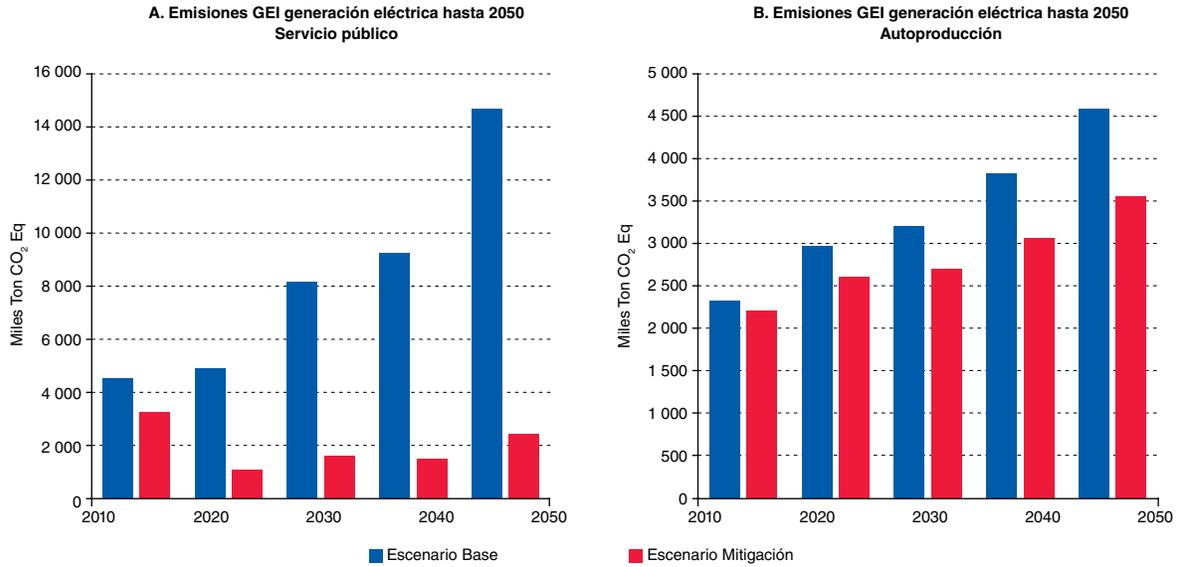
En el gráfico VII.15 se presentan las reducciones de emisiones en la generación eléctrica térmica, las cuales serían significativas en el escenario de mitigación para el servicio público de electricidad (alrededor de -80%). Dichas emisiones se asociarían a la menor generación térmica, a la utilización de plantas más eficientes y a un mayor uso de gas natural en la generación termoeléctrica.

La expansión de la generación de electricidad después de 2030 continuará siendo, en el escenario de mitigación, fundamentalmente hidroeléctrica, y en la parte térmica se volverían a utilizar las centrales de vapor, usando fuel oil o motores diésel con el mismo combustible.

c) Emisiones totales

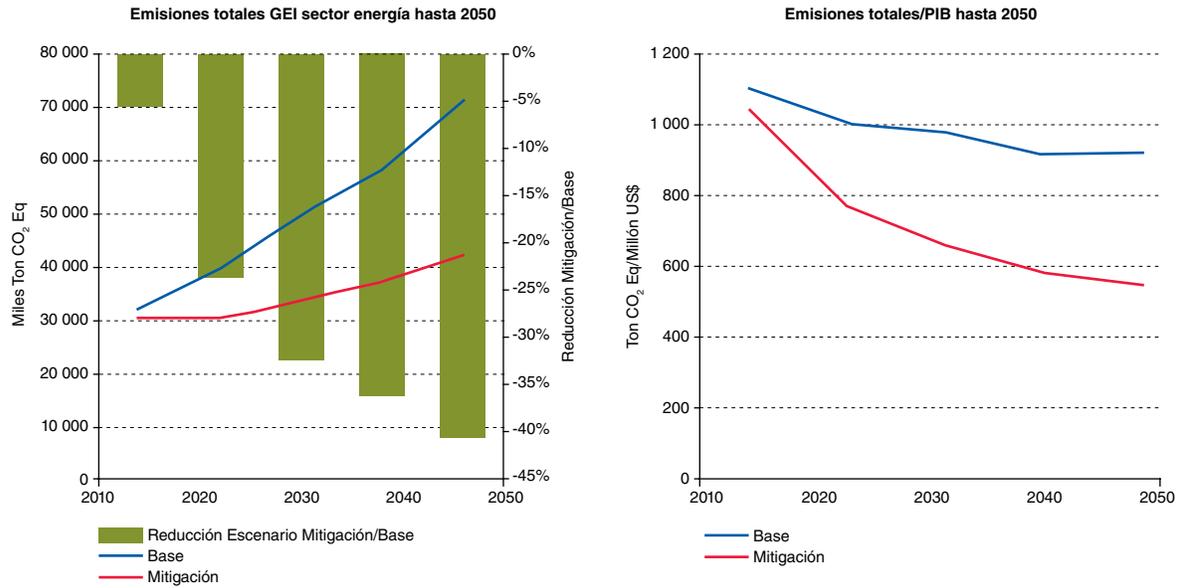
En el gráfico VII.16 se aprecia una reducción importante de las emisiones totales (demanda final y generación), que en términos porcentuales presentan reducciones decrecientes durante el período 2030-2050. Las emisiones específicas de GEI por unidad de PIB muestran reducciones entre escenarios de la misma magnitud que las totales.

GRÁFICO VII.15 ECUADOR: REDUCCIÓN DE EMISIONES EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA, ESCENARIOS HASTA 2050



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO VII.16 ECUADOR: REDUCCIÓN DE EMISIONES TOTALES EN EL SECTOR ENERGÍA HASTA 2050



Fuente: Elaboración propia.

B. Uso del suelo y cambios en el uso del suelo y la silvicultura (USCUSS)

En este apartado se analiza el comportamiento de las emisiones generadas a partir del uso del suelo y cambios en el uso del suelo y la silvicultura (USCUSS) para los horizontes 2030 y 2050⁶. Este análisis se centra en los tres principales gases de efecto invernadero (NO_2 , CO_2 y CH_4), aunque debido a su peso relativo (98,5%) la base del análisis de los escenarios futuros son las emisiones de CO_2 . Las unidades utilizadas son K Ton CO_2Eq .

La única información disponible ha sido el Inventario Nacional de GEI, en su versión preliminar por tipo de GEI y por fuente de emisión, para cuatro puntos de referencia (1990, 1994, 2000 y 2006). Este hecho dificultó el análisis, incluido el de correlaciones estadísticas, ya que el informe presenta datos preliminares sin incluir análisis sobre las causas o las variables que determinaron ese comportamiento. Por otro lado, los datos del inventario cambiaron en cuanto a valores y estructuras las cifras del año base de la Primera Comunicación Nacional, por lo cual las cifras no pudieron utilizarse como punto de referencia para el análisis cuantitativo.

La tasa de deforestación y las emisiones por ese concepto permitieron estimar un escenario alternativo, pero no se pudieron identificar metas cuantitativas para el futuro. No existe aún un inventario forestal y una evaluación de los niveles actuales de deforestación⁷, de ahí que la limitada información no permitiera profundizar el análisis y efectuar una vinculación de las emisiones con algunas variables conducentes y formular un escenario base y un escenario de mitigación de manera más apropiada. Al respecto es altamente recomendable que se dediquen esfuerzos sostenidos a producir y difundir públicamente información básica fiable sobre los parámetros relevantes que determinan las emisiones en los diferentes sectores y tipos de GEI.

1. La evolución histórica de las emisiones por USCUSS

En el cuadro VII.5 se presenta la evolución histórica de las emisiones totales por tipo de GEI y el peso relativo que el USCUSS tiene en ellas. Si bien éste muestra una tendencia irregular a lo largo del período, entre 1990 y 1994 se mantiene constante, con un significativo incremento en 2000 y disminuciones en 2006. No se identificó una explicación para este comportamiento.

⁶ Estas emisiones se analizaron tomando como referencia los valores estimados en el Inventario Nacional de Gases del Efecto de Invernadero en Ecuador (1990, 1994, 2000, 2006), Versión preliminar 02, abril de 2010, para las emisiones generadas por USCUSS y para los principales GEI producidos en 1990, 1994, 2000 y 2006.

⁷ Los documentos obtenidos en 2009 muestran el desarrollo metodológico; hasta 2010 no se comenzaron los estudios, con un avance del 10% hasta marzo de 2010.

CUADRO VII.5
ECUADOR: EMISIONES TOTALES DE GEI POR USCUS

	1990	1994	2000	2006
CO ₂ Emisiones	107 140	119 970	192 389	190 669
CO ₂ Remociones	-9 070	-9 070	-1 769	-1 695
CH ₄	15 480	18 364	16 742	19 456
N ₂ O	151 590	175 305	142 744	201 581
Total Emisiones Netas	265 140	304 569	350 106	410 011
Emisiones USCUS	86 495	98 215	17 4834	162 147
USCUS/Total (%)	33	32	50	40

Fuente: Inventario Nacional de Gases de Efecto de Invernadero en el Ecuador, Versión preliminar 02, abril de 2010, Ministerio del Ambiente del Ecuador.

A nivel más detallado, en el cuadro VII.6 se aprecia que el CO₂ rebasa, en promedio, el 96% del total de USCUS por tipo de emisiones de GEI, alcanzando en 2006 el 98,4% de su participación. Es por esta razón que el CO₂ se tomó como base para construir los escenarios de emisiones en USCUS.

CUADRO VII.6
ECUADOR: ESTRUCTURA DE LAS EMISIONES DE GEI POR USCUS

	1990	1994	2000	2006
CO ₂ Emisiones netas	96,9%	96,7%	98,6%	98,4%
CH ₄	2,8%	3,0%	1,3%	1,4%
N ₂ O	0,3%	0,3%	0,1%	0,1%
Total Emisiones Netas	100%	100%	100%	100%

Fuente: Inventario Nacional de Gases de Efecto de Invernadero en el Ecuador, Versión preliminar 02, abril de 2010, Ministerio del Ambiente del Ecuador.

Las emisiones de CO₂ por fuentes se deben en mayor medida a la conversión de bosques y praderas y a las emisiones y remociones de CO₂ del suelo. Los cambios en la biomasa forestal y otros stocks leñosos prácticamente están desapareciendo como fuentes de emisión, al igual que las remociones por abandono de tierras.

2. Escenarios de emisiones de CO₂

a) Escenario base

Dadas las dificultades para conseguir información, a fin de construir un escenario base se realizó un análisis de correlación de series en el tiempo con las emisiones totales de CO₂ en USCUS. Posteriormente se separaron por fuentes sobre la base de la estructura histórica, que es constante entre 2000 y 2006. El criterio general fue encontrar una correlación razonable con funciones que permitiesen reflejar alguna atenuación de las emisiones en el largo plazo, con horizontes en 2030 y 2050⁸.

Se efectuó una interpolación entre los cuatro años disponibles para tener una aproximación de las emisiones de CO₂ en USCUS. Por otro lado, el mejor ajuste se obtuvo con una función potencial que muestra una proyección atenuada en el largo plazo⁹. Esta proyección total se abrió en sus dos componentes principales sobre la base de los valores históricos 2000-2006. Los resultados se presentan en el cuadro VII.7.

CUADRO VII.7
ECUADOR: EMISIONES DE CO₂ POR USCUS, ESCENARIO BASE
(Miles TM CO₂Eq)

	Cambios de biomasa forestal y otros stocks leñosos	Conversión de bosques y praderas	Emisiones y remociones de CO ₂ del suelo	Total CO ₂ en USCUS
1990	6 813	48 816	37 258	92 887
1994	7 842	56 663	39 586	10 4091
2000	6 698	81 361	86 030	174 088
2006	139	81 361	79 827	161 328
2010	0	91 224	89 384	180 608
2020	0	101 572	99 524	201 096
2030	0	109 717	107 504	217 222
2040	0	116 527	114 177	230 704
2050	0	122 428	119 959	242 387

Fuente: Elaboración propia.

b) Escenario de mitigación

El escenario de mitigación se elaboró sobre la base de las emisiones originadas en la conversión de bosques y praderas, vinculadas con los procesos de deforestación. No se formularon hipótesis sobre emisiones y remociones de CO₂ del suelo, ya que este componente se vincula con la expansión de la frontera agrícola y no hay elementos de análisis suficientes para considerar cambios. Por otro lado, se tuvieron en cuenta los mismos niveles para el escenario de crecimiento económico, excepto los cambios de productividad que no se pudieron estimar.

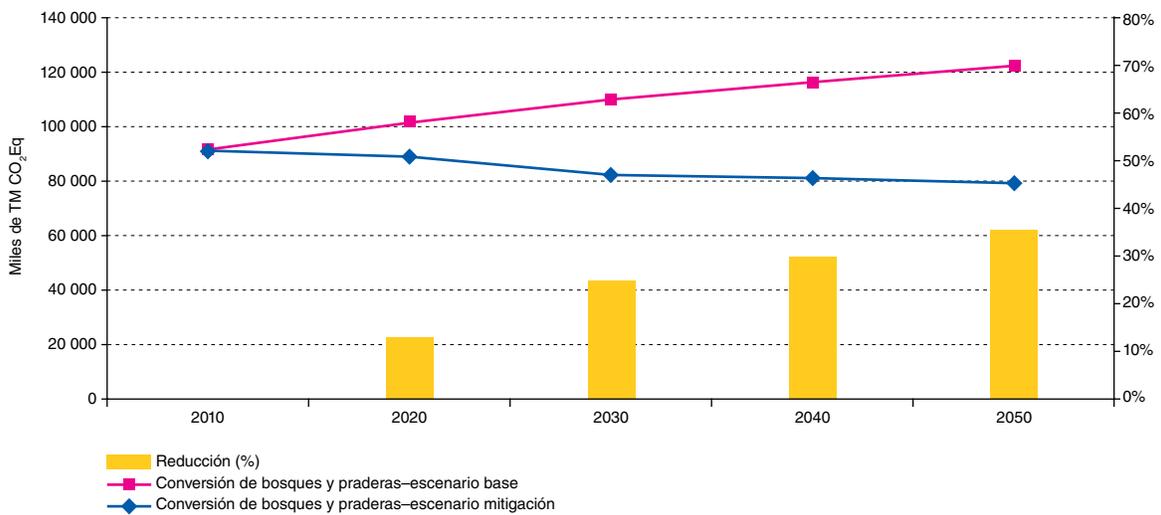
⁸ También se intentaron análisis en función de emisiones específicas, por habitante o por unidad de PIB, tomando como base el escenario económico utilizado en el estudio del sector de la energía. El comportamiento de estos indicadores en los cuatro años históricos disponibles es totalmente errático y no permite obtener conclusiones válidas.

⁹ Ecuación $y = 77986 \cdot (t^{0,2759})$, $R^2 = 0,843$.

La prioridad de la protección de los bosques, de la mejora en el manejo forestal y de la reducción de la tasa de deforestación son prioridades claras en los planes y programas del gobierno.

La estrategia REDD menciona una tasa de deforestación de 198.000 ha anuales (Clirsen 2000), con unas emisiones de CO₂ de 55 millones de TM. Se asumió la hipótesis de que la deforestación causaba la totalidad de emisiones de CO₂ considerando que las emisiones en bosques y praderas son de 81 millones de TM de CO₂Eq y teniendo en cuenta los posibles incrementos en la tasa de deforestación histórica. Sobre la base de esa hipótesis se formuló el escenario de mitigación para las emisiones originadas por conversión de bosques y praderas, que disminuirían un 25% en el horizonte 2030 y un 35% en el horizonte 2050 con respecto al escenario base (véase el gráfico VII.17).

GRÁFICO VII.17
ECUADOR: REDUCCIÓN DE EMISIONES TOTALES, CONVERSIÓN DE BOSQUES Y PRADERAS HASTA 2050



Fuente: Elaboración propia.

Sobre esta base se construyó el escenario de mitigación que se muestra en el cuadro VII.8, en el que se puede apreciar que las emisiones totales de CO₂Eq en USCUS hasta 2030 serían de 190.000 TM frente a las 217.000 TM en el escenario base (véase el cuadro VII.7); en 2050 serían de 200.000 TM en comparación con las 242.000 TM del escenario base.

CUADRO VII.8
ECUADOR: EMISIONES DE CO₂ POR USCUS, ESCENARIO MITIGACIÓN
(Miles de TM CO₂Eq)

	Cambios de biomasa forestal y otros stocks leñosos	Conversión de bosques y praderas	Emisiones y remociones de CO ₂ del suelo	Total USCUS
1990	6 813	48 816	37 258	92 887
1994	7 842	56 663	39 586	104 091
2000	6 698	81 361	86 030	174 088
2006	139	81 361	79 827	161 328
2010	0	91 224	89 384	180 608
2020	0	88 876	99 524	188 399
2030	0	82 288	107 504	189 792
2040	0	81 569	114 177	195 746
2050	0	79 578	119 959	199 537

Fuente: Elaboración propia.

3. Emisiones totales y comparación de escenarios

En el gráfico VII.18 se presenta la comparación de los escenarios de base y de mitigación a nivel de: i) emisiones totales asociadas a USCUS; ii) reducción de emisiones en conversión de bosques y praderas; iii) los indicadores de emisiones por habitante, y iv) emisiones por unidad de PIB.

GRÁFICO VII.18
ECUADOR: EMISIONES DE CO₂ EN USCUS, COMPARACIÓN DE ESCENARIOS

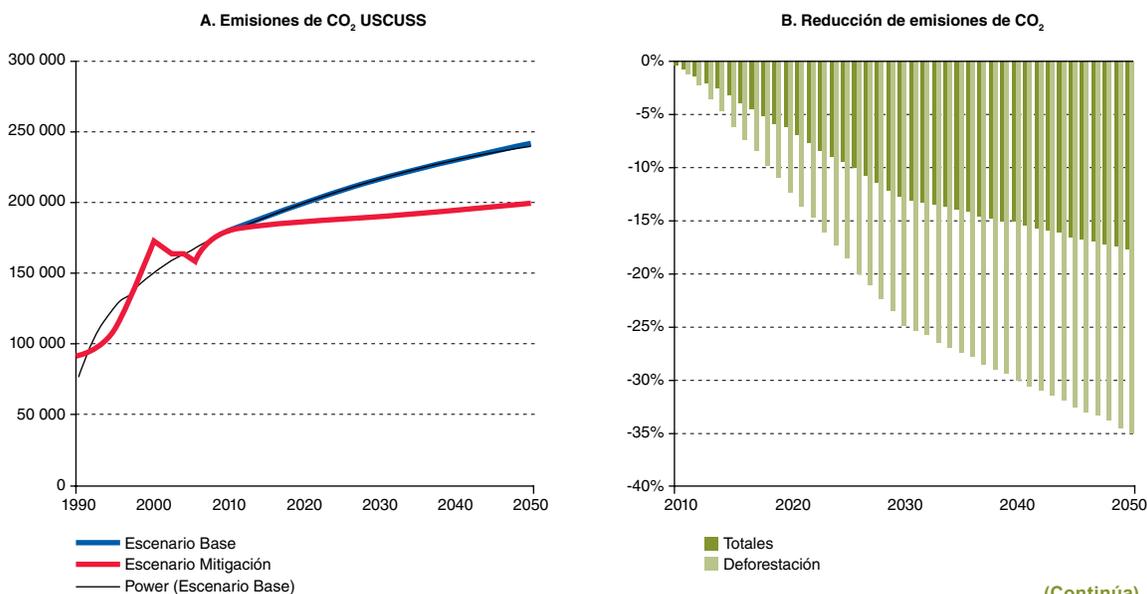
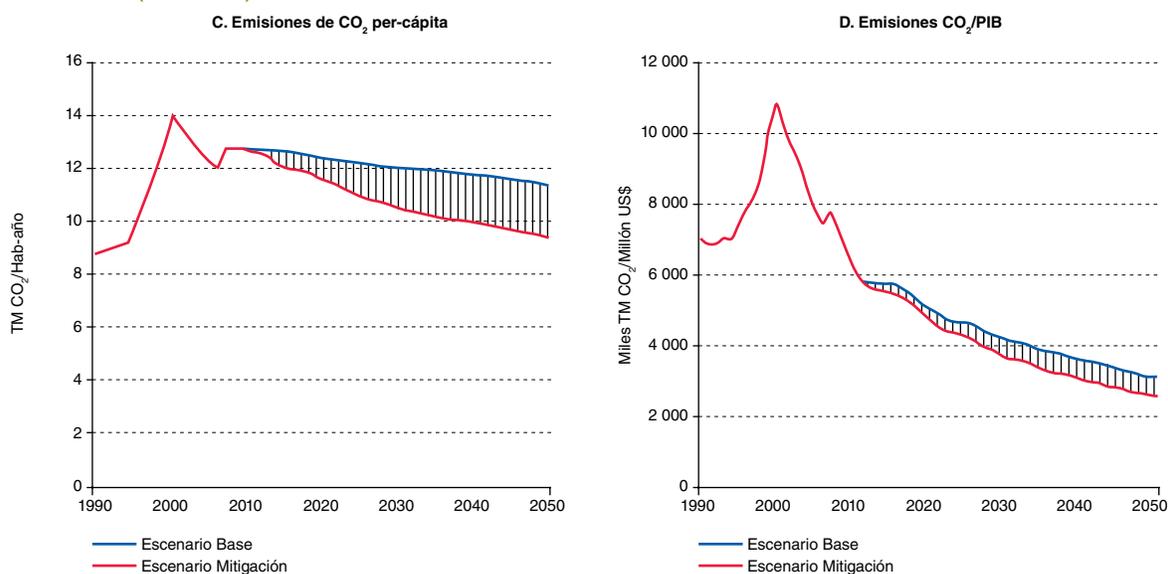


Gráfico VII.18 (conclusión)



Fuente: Elaboración propia.

Los objetivos de reducir las emisiones en conversión de bosques y praderas harían que las emisiones totales del sector cayeran en un 12,6% hasta 2030 y un 17,7% hasta 2050 con respecto al escenario base. También cabría esperar una disminución de emisiones unitarias entre ambos escenarios, aunque menos significativas en relación con el PIB.

C. Residuos

En este apartado se analiza el comportamiento de las emisiones generadas por los residuos y se calculan los comportamientos esperados en 2010, 2020, 2030 y 2050¹⁰.

También este análisis se ha visto afectado por la limitada información, ya que sólo se ha contado con datos preliminares del inventario nacional de GEI, tal como se ha señalado en el sector de USCUS.

1. La evolución histórica de las emisiones por residuos

En el cuadro VII.9 se resume la evolución histórica de las emisiones totales por tipo de GEI y el peso relativo que el sector residuos tiene en ellas. Puede observarse que la participación de los residuos en el total muestra un comportamiento estable hasta 2000 y que aumenta significativamente en 2006.

¹⁰ Estas emisiones se analizaron tomando como referencia los valores estimados en el Inventario Nacional de Gases del Efecto de Invernadero en Ecuador (1990, 1994, 2000, 2006), Versión Preliminar 02, abril de 2010, para las emisiones generadas por residuos y para los principales GEI producidos en 1990, 1994, 2000 y 2006.

CUADRO VII.9
ECUADOR: EMISIONES TOTALES DE GEI POR RESIDUOS
(Miles de TM CO₂Eq)

	1990	1994	2000	2006
CO ₂ Emisiones	107 139,5	119 970,4	192 389,3	190 668,8
CO ₂ Remociones	-9 070,1	-9 070,1	-1 769,1	-1 695,2
CH ₄	15 480,4	18 363,7	16 741,8	19 456,4
N ₂ O	151 589,9	175 305,2	142 744,0	201 580,8
Total emisiones netas	265 139,7	304 569,2	350 106,0	410 010,7
Emisiones de residuos	4 653,38	5 422,62	6 112,33	8 104,73
% Residuos/Total	1,76	1,78	1,75	1,98

Fuente: Inventario Nacional de Gases de Efecto de Invernadero en el Ecuador, Versión Preliminar 02, abril de 2010, Ministerio del Ambiente del Ecuador.

En la composición porcentual de las emisiones por residuos el metano (CH₄) mantiene un promedio superior al 97% del total de las emisiones, el remanente es óxido nitroso (N₂O). Por esta razón se tomó el CH₄ como base para construir los escenarios de emisiones en residuos. Estas emisiones se distribuyen a nivel de fuentes entre residuos sólidos (rellenos sanitarios y botaderos), que representaron una media del 31,5% en el período 1990-2006, y en vertidos de aguas residuales, con una media del 68,5% a lo largo del período.

2. Escenarios de emisiones de CH₄

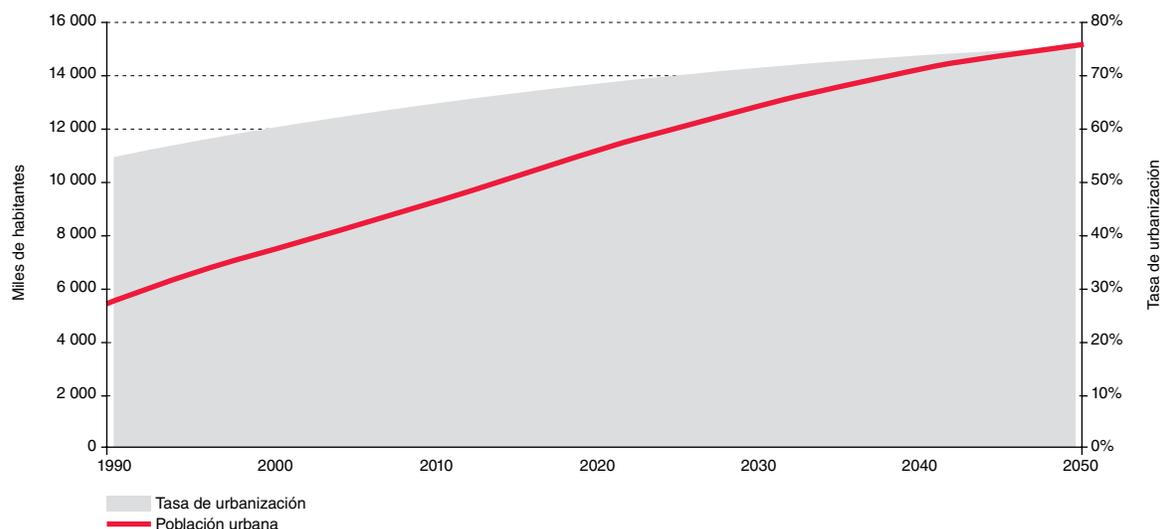
a) Escenario base

El escenario base de emisiones de CH₄ se realizó mediante un análisis de correlación de series en el tiempo de dichas emisiones en residuos, con algunas variables explicativas. Posteriormente, se separaron las emisiones por fuentes sobre la base de la estructura histórica antes explicada. Asimismo, se efectuó una interpolación de las emisiones de CH₄ por tasas de crecimiento entre los cuatro años disponibles, para aproximar el comportamiento anual de las emisiones.

La producción de residuos sólidos y efluentes líquidos está relacionada con el crecimiento poblacional, mayormente en las áreas urbanas. Por lo tanto, el mejor ajuste se obtuvo con una función potencial de la población urbana¹¹. Las cifras históricas y las proyecciones de población total y urbana se tomaron de CEPAL-CELADE véase el gráfico VII.19), donde se aprecia que la tasa de urbanización se saturaría y comenzaría a declinar en la última década del período analizado.

¹¹ Ecuación $y = 0,0754 * (\text{Pob.urb.}^{\wedge} 1,2713)$, $R^2 = 0,963$.

GRÁFICO VII.19
ECUADOR: POBLACIÓN URBANA Y TASA DE URBANIZACIÓN



Fuente: Datos de CEPAL/CELADE.

La proyección total de emisiones de CH_4 se abrió en sus dos componentes principales (residuos sólidos y vertidos de aguas residuales) sobre la base de los valores históricos 2000-2006. Como se muestra en el cuadro VII.10, las emisiones totales de CH_4 crecerían en este escenario hasta 12,6 millones de TM en 2030, y en 2050 llegarían a 15,6 millones de TM. Además, se aprecia que las emisiones de CH_4 per cápita aumentarían en relación con el aumento de la tasa de urbanización, llegando a duplicarse en 2050, en relación con las emisiones per cápita de 1990.

CUADRO VII.10
ECUADOR: EMISIONES DE CH_4 POR RESIDUOS, ESCENARIO BASE
(Miles TM CO_2Eq)

	Residuos Sólidos	Vertimientos Aguas Residuales	Emisiones Totales CH_4	Emisiones CH_4 per-cápita
1990	1 454	3 073	4 527	0,4
1994	1 652	3 634	5 286	0,5
2000	2 013	3 932	5 945	0,5
2006	2 266	5 651	7 917	0,6
2010	2 607	5 679	8 286	0,6
2020	3 306	7 202	10 508	0,6
2030	3 971	8 650	12 621	0,7
2040	4 520	9 845	14 365	0,7
2050	4 922	10 721	15 643	0,8

Fuente: Elaboración propia. Proyecciones de población: CEPAL/CELADE.

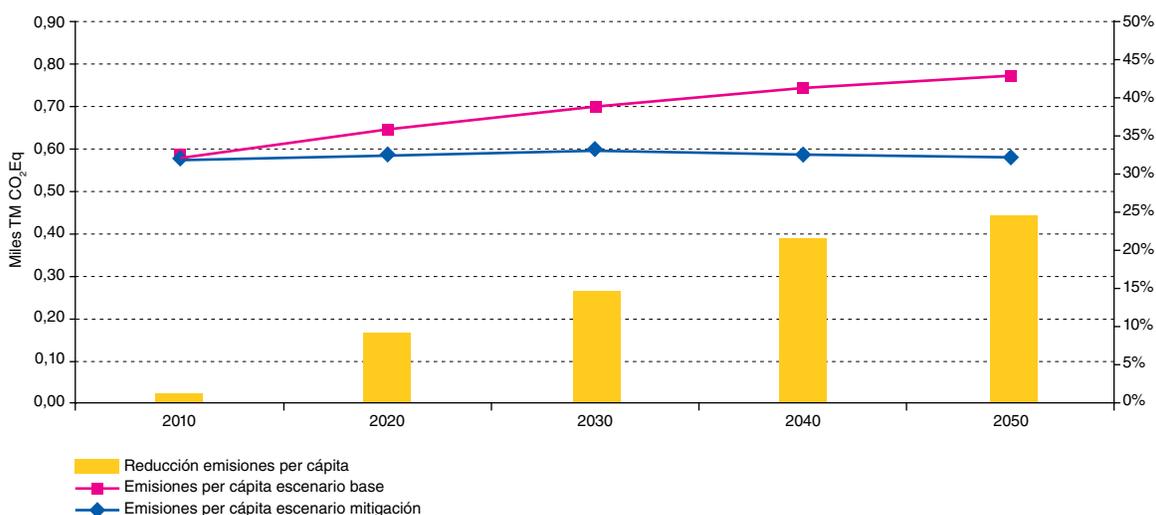
b) Escenario de mitigación

En los últimos años, la tendencia en América Latina y el Caribe es la de cambiar la forma de tratamiento de los residuos sólidos urbanos, incrementando la transformación de los tradicionales “botaderos de basura” en sistemas de disposición técnica. Estos últimos consideran la recuperación de gases combustibles para generación de electricidad, con procesos previos de selección de los tipos de basura.

Sin embargo, en el país son muy pocos los rellenos sanitarios/botaderos de basura controlados, lo cual permite establecer medidas de mitigación. Una situación parecida se aprecia en los vertimientos de aguas residuales, donde en los últimos años se advierte un mayor interés por incorporar sistemas de tratamiento de las aguas de residuos de los procesos agroindustriales. Sin embargo, en ambos casos (residuos sólidos y vertidos), queda todavía mucho por hacer para cumplir con la normativa ambiental de evitar la contaminación de aguas y de generación de emisiones de GEI.

No se dispuso de información sobre la base de cálculo de las emisiones originadas en residuos ni sobre proyectos específicos de rellenos sanitarios o medidas específicas para tratamientos de aguas residuales. Por lo tanto, el escenario de mitigación se estimó cuantitativamente partiendo de una reducción de las emisiones per-cápita (sobre la población total). Se planteó una hipótesis de reducción del 15% hasta 2030 y de 25% hasta 2050 en el escenario de mitigación con respecto al escenario base (véase el gráfico VII.20).

GRÁFICO VII.20
ECUADOR: REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CH₄ POR RESIDUOS



Fuente: Elaboración propia.

Sobre esta base se construyó el escenario de mitigación que se muestra en el cuadro VII.11, donde se ve que en 2030 las emisiones totales de CH₄ serían de unas 10.700 TM frente a las 12.600 TM del escenario base (véase el cuadro VII.10) y en 2050 serían de unas 11.700 TM frente a las 15.600 del escenario base.

CUADRO VII.11
ECUADOR: EMISIONES DE CH₄ POR RESIDUOS, ESCENARIO MITIGACIÓN
(Miles de TM CO₂Eq)

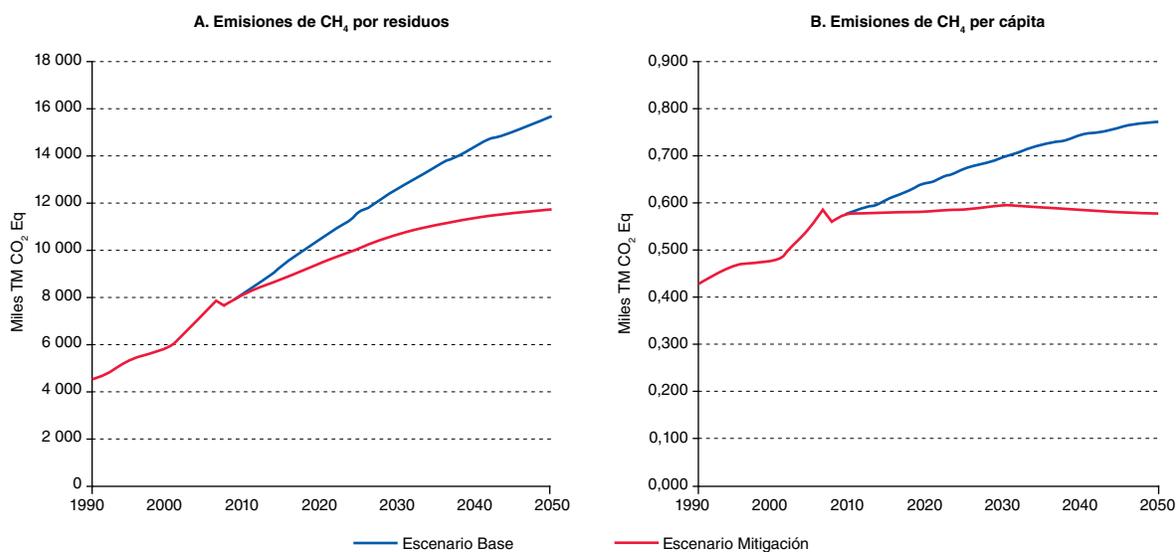
	Residuos Sólidos	Vertimiento de Aguas Residuales	Emisiones CH ₄	Emisiones per-cápita
1990	1 454	3073	4527	0,44
1994	1 652	3634	5286	0,47
2000	2 013	3932	5945	0,48
2006	2 266	5 651	7 917	0,59
2010	2 607	5 679	8 286	0,58
2020	2 992	6 517	9 509	0,59
2030	3 376	7 353	10 728	0,60
2040	3 577	7 791	11 367	0,59
2050	3 692	8 041	11 733	0,58

Fuente: Elaboración propia.

3. Emisiones totales y comparación de escenarios

En el gráfico VII.21 se comparan los escenarios base y el de mitigación a nivel de: i) emisiones totales, y ii) emisiones de metano per cápita.

GRÁFICO VII.21
ECUADOR: EMISIONES DE CH₄ POR RESIDUOS, COMPARACIÓN DE ESCENARIOS



Fuente: Elaboración propia.

En síntesis, el comportamiento de las emisiones de gases de efecto invernadero en el Ecuador para el sector energético, USCUS y residuos presenta un aumento considerable en el escenario base. Sin embargo, la aplicación de medidas de mitigación permitiría reducir los niveles de emisiones inerciales.

En el sector energético, la aplicación de una política de mitigación reduciría las emisiones totales de GEI de este sector hasta en un 33% en 2030. Para el caso de los USCUS se podrían reducir sus emisiones totales, por conversión de bosques y praderas, hasta en un 12,6% al 2030 y un 17,7% al 2050. En lo que respecta a los residuos, con una meta de reducción del 25% de las emisiones de metano por habitante en 2050, se originaría una reducción de las emisiones totales de este gas en un 23% en el escenario de mitigación.

VIII. Estrategias de cambio climático en el país

El Ecuador ratificó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto, por lo que participa en el proceso mundial para afrontar el cambio climático. Por ser un país en desarrollo, no tiene compromisos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, el Gobierno ecuatoriano ha cumplido con la entrega de su Primera Comunicación Nacional y ha completado la Segunda Comunicación Nacional. También ha reconocido mediante el Decreto Ejecutivo 1815, publicado en el Registro Oficial N° 636 del 17 de julio de 2009, que la mitigación y adaptación al cambio climático es una política de Estado. El Ministerio del Ambiente es la entidad encargada de formular y ejecutar las acciones, medidas y mecanismos de coordinación y articulación interinstitucional en todos los niveles del Estado que permitan combatir el cambio climático. En este marco, una de las medidas instrumentadas es la Estrategia Nacional de Cambio Climático 2010-2030 y el plan respectivo para llevarla a cabo.

Además, mediante un decreto presidencial, en octubre de 2010 se creó el Comité Interinstitucional de Cambio Climático (CICC), un órgano de alto nivel conformado por el Secretario Nacional de Planificación, el Ministro de Coordinación de Patrimonio, el Ministro del Ambiente, el Ministro de Coordinación de Sectores Estratégicos, el Ministro de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad, el Ministro de Coordinación de Desarrollo Social, el Ministro de Relaciones Exteriores, Comercio e Integración, el Secretario Nacional del Agua y el Secretario Nacional de Gestión de Riesgos, o sus delegados. Este comité tiene como objeto coordinar la ejecución integral de las políticas nacionales y solicitar insumos técnicos y legales en las áreas de mitigación y adaptación al cambio climático. El Ministerio del Ambiente desempeña un rol protagónico en las actividades y ejerce la Presidencia y la Secretaría Técnica.

El Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013, documento prioritario a nivel nacional, también aborda el cambio climático, sobre todo al señalar en su objetivo 4 la necesidad de “garantizar los derechos de la Naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable” y al establecer en su respectiva política 4.5 la meta de “fomentar la adaptación y mitigación a la variabilidad climática con énfasis en el proceso de cambio climático” (SENPLADES, 2009).

En cuanto a las iniciativas locales, se llevó a cabo la reciente sistematización de las acciones nacionales voluntarias que el Ecuador instrumenta desde 2001, lo que permitió identificar y documentar 34 planes nacionales y sectoriales, 25 iniciativas, 50 proyectos y 270 estudios relacionados directa e indirectamente con los diferentes componentes del cambio climático —efectos, vulnerabilidad, y adaptación y mitigación— (Ministerio del Ambiente, 2011).

Los resultados de todas estas medidas serán de vital importancia para disminuir la vulnerabilidad, facilitar las acciones de mitigación a escala internacional y enfrentar de mejor manera los impactos que podrían derivarse del fenómeno del cambio climático.

IX. Conclusiones del estudio de la economía del cambio climático en el Ecuador y algunas opciones de política

El Ecuador posee una de las mayores diversidades biológicas del mundo debido a sus características climatológicas, su ubicación geográfica, los altos niveles de pluviosidad y la presencia de la cordillera de los Andes. Las condiciones climáticas también dan lugar a marcados cambios temporales y espaciales en las regiones del país. Se observan dos épocas diferenciadas por la distribución temporal de la precipitación —una lluviosa y otra seca—, exceptuando la región amazónica, donde las lluvias son abundantes durante todo el año.

Si bien existen altos márgenes de incertidumbre asociados al cambio climático proyectado, los resultados muestran que el Ecuador podría sufrir aumentos progresivos de las variables climatológicas: de hecho, la temperatura media podría subir hasta 3°C a finales de siglo y las precipitaciones se incrementarían hasta 5,5 mm en promedio.

El cambio climático podría intensificar los acontecimientos climatológicos extremos, el incremento del nivel del mar, los cambios en la escorrentía de las cuencas hidrográficas, la prevalencia de las enfermedades transmitidas por vectores y los daños a los ecosistemas continentales y de las Galápagos. La posible magnitud del cambio climático y sus impactos hacen necesario analizar los efectos económicos que podría presentar este fenómeno en el Ecuador, así como evaluar diversas medidas de adaptación y mitigación en los sectores analizados.

Este estudio debe ser considerado una aproximación a los impactos económicos que el cambio climático tendría en el país. Si bien los resultados sugieren que el Ecuador presentaría efectos netos negativos por manifestarse sobre todo en la segunda mitad del siglo, aún existiría un amplio margen para el rediseño de políticas públicas que permitan un considerable grado de adaptación.

El Ecuador registraría un superávit hídrico que variaría entre los 43 hm³ y los 51 hm³ hacia finales de siglo, dependiendo del escenario de cambio climático que prevalezca a nivel global. Sin embargo, este balance estaría diferenciado por zonas: el sur y centro de la Costa estarían en permanente estrés hídrico, mientras que el incremento de pluviosidad en el norte de la Costa podría dar origen a una oferta que exceda el potencial aprovechamiento económico del recurso. Ello representaría un reto

para las políticas públicas nacionales y locales en lo que concierne a afrontar el creciente aumento de la demanda del recurso en zonas afectadas por el estrés hídrico y realizar las inversiones necesarias para aprovechar el exceso en la región septentrional de la Costa.

Por otro lado, en el escenario A2 el sector agropecuario registraría pérdidas netas durante la última década del siglo. Sin embargo los agricultores dedicados al cultivo de maíz suave y fréjol podrían beneficiarse del cambio climático, pues su productividad mejoraría a partir de la década de 2050, mientras que la caña de azúcar, el banano y el arroz correrían la suerte opuesta. La mayor temperatura y pluviosidad aumentarían la productividad hasta cierto nivel, pero luego los rendimientos comenzarían a menguar. En el escenario climático B2, el sector agropecuario podría disfrutar de beneficios, que mermarían en el tiempo.

Los mayores impactos físicos del cambio climático se asociarían a cambios en la estructura de formaciones vegetales y la modificación de hábitats para las especies. A esto se suma de la pérdida de cobertura vegetal lo que reduciría la captura de carbono en el país, en particular en el escenario de mayor impacto.

Además, la infraestructura ubicada en zonas de riesgo podría verse perjudicada por los efectos del cambio climático. Así, estarían comprometidos el 13% de la infraestructura vial, el 24% de las líneas de transmisión eléctrica y el 13% de la capacidad de generación eléctrica, por lo que se requerirían inversiones en materia de prevención y adaptación.

La línea costera ecuatoriana presentaría una reducción en la nubosidad e incrementos en torno al 35% de la precipitación; por consiguiente, los caudales de agua dulce aumentarían considerablemente en las desembocaduras. Asimismo, a finales de siglo se esperaría una elevación de 0,5m del nivel medio del mar. Estas consecuencias afectarían a las especies y hábitats costeros, pues podrían causar un retroceso de las raíces de los mangles y ocasionar un reemplazo y pérdida de hasta el 40% de las superficies de las playas en provincias como Esmeraldas y El Oro. A causa de la retracción del manglar de hasta un 22%, se verían afectadas diversas especies demersales con usos económicos y podrían inundarse grandes áreas agrícolas.

En el caso del sector de la salud, el impacto combinado de un incremento de 2,5°C y el 40% de las precipitaciones a fin de siglo provocaría entre 58.000 y 130.000 casos adicionales de malaria y entre 8.200 y 10.200 de dengue hasta 2100, según el escenario climático global. A esta situación se le sumaría el posible traslado de la malaria a nuevas altitudes y zonas geográficas, tanto rurales como urbanas.

Los efectos en los sectores descritos se han cuantificado económicamente mediante distintos modelos y se los ha proyectado en el tiempo de acuerdo con cada escenario climático. Luego, se agregaron los montos para expresarlos en su valor presente neto. Los resultados de esta agregación muestran que el impacto acumulado del cambio climático hasta final de siglo en el escenario A2 oscilaría entre 34.879 millones y 136.342 millones de dólares, dependiendo de la tasa de descuento utilizada (del 0,05% al 0,4%).

Estos importes fueron contextualizados al compararlos con el PIB de 2010 (24.964 millones de dólares de 2000), utilizado como año de base. Los resultados indican que en el escenario A2 los impactos descontados oscilarían entre el 140% y el 546% del PIB de 2010, dependiendo de las tasas de descuento. Por otro lado, en el escenario B2 los impactos serían menores: entre el 33% y el 132% del PIB de 2010.

El valor de los impactos económicos del cambio climático no toma en cuenta las medidas de adaptación, por lo que los costos estimados podrían reducirse si se adoptan medidas preventivas a tiempo. Si bien se identificaron algunas acciones, se destaca que, para enfrentar los impactos, es necesario redoblar los esfuerzos abocados a poner en marcha medidas integrales que incluyan a los diversos grupos sociales. Las principales medidas de adaptación recomendadas para salvaguardar la biodiversidad, ya en curso en el Ecuador, son las siguientes: ampliar y fortalecer el manejo de las áreas naturales protegidas, crear corredores que permitan la migración de especies y promover el pago por servicios ambientales.

En el caso de la infraestructura, se recomienda construir obras de mayor dragado, obras para la estabilización de taludes, el mantenimiento y mejoramiento de la infraestructura vial, y la profundización de los mecanismos financieros y fiscales que incentiven la conversión de tecnologías constructivas.

En cuanto a los recursos hídricos, se recomienda promover instrumentos normativos y económicos que alienten a los consumidores finales a hacer un uso sostenible del recurso. Se recomienda promover instrumentos fiscales y financieros que incentiven la inversión local para prevenir el estrés hídrico y que fomenten el uso productivo en las zonas con exceso.

En términos de adaptación agrícola, se recomienda promover la conversión productiva con el fin de aprovechar las nuevas condiciones climáticas, financiar e implementar medidas de monitoreo que brinden información sobre los cultivos más aptos y aquellos que presentarían riesgos de pérdidas dependiendo de la zona. También se recomienda crear instrumentos financieros que ofrezcan protección ante el riesgo de pérdidas de cultivos por cambio climático y eventos extremos.

Por último, respecto de la salud, se recomienda monitorear las nuevas zonas geográficas propensas a sufrir brotes epidémicos, aumentar la educación preventiva, ampliar las tareas de desinfección domiciliaria y mantener una acción coordinada entre el control epidemiológico del sector sanitario, el programa nacional contra la malaria y las acciones de saneamiento y educación de los gobiernos locales.

También se deben analizar las medidas tendientes a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero con el fin de lograr los objetivos ambientales de largo plazo. En este estudio se ha demostrado que una política de sustitución y eficiencia energética podría reducir cada vez más las emisiones totales de GEI por unidad de PIB, pudiendo alcanzar una merma de un 33% hacia el año 2030. Para ello, habría que disminuir y optimizar la demanda final de energía por parte del transporte, la industria y el sector residencial. Asimismo, se debería mejorar la generación eléctrica.

Entre las medidas de mitigación y las líneas de política recomendadas, se encuentran impulsar los motores de ciclo diésel en el transporte, mejorar la eficiencia energética y ampliar el uso de gas natural así como generalizar la utilización de energías limpias en el sector residencial. En cuanto a la generación, se deberían analizar las inversiones en hidroelectricidad e implementar las metas del nuevo proyecto de matriz energética en conjunto con una política pública de transporte intermodal e incentivos para racionalizar el consumo.

En síntesis, determinar los costos de algunos de los impactos del cambio climático y las diversas incertidumbres asociadas permite dimensionarlos en el contexto económico nacional y en las particularidades sociales del Ecuador. Identificar las medidas de adaptación al cambio climático y decidir cómo financiarlas son consideraciones primordiales de los lineamientos de política para el presente siglo, lo que contribuirá a afrontar el complejo desafío del cambio climático.

Bibliografía

- Adams, R. y otros (1998), *The Economic Consequences of ENSO Events: the 1997-98 El Niño and the 1998-99 La Niña*, Faculty Paper Series, Department of Agricultural Economics, Texas A&M University.
- Aguilar, E. (2007), *Número de casos y tasas de incidencia anual de dengue clásico según provincias y regiones. Ecuador 1998–2007*, Quito, Ministerio de Salud Pública/Vigilancia Epidemiología.
- Atkinson, R., J. Rentería y W. Simbaña (2008), “Las consecuencias de la erradicación de herbívoros en Santiago: ¿Estamos preparados para prevenir una nueva degradación del ecosistema?”, *Informe Galápagos 2007-2008*, Fundación Charles Darwin (FCD)/Parque Nacional Galápagos (PNG)/Instituto Nacional Galápagos (INGALA), Puerto Ayora.
- Auriolos, D. y F. Trillmich (2008a), “*Zalophus wollebaeki*”, *IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1*, Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) [en línea] www.iucnredlist.org [fecha de consulta: 17 de septiembre de 2009].
- _____ (2008b), “*Arctocephalus galapagoensis*”, *IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1*, Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) [en línea] www.iucnredlist.org [fecha de consulta: 17 de septiembre de 2009].
- Avendaño, U., S. Llerena y V. Gravez (2006), *Evaluación poblacional del pepino de mar *Isostichopus fuscus* en la Reserva Marina de Galápagos, pre-pesquería 2006*, Puerto Ayora.
- Banco Mundial (2006), “Ecuador Country Economic Memorandum: Promoting Stable and Robust Economic Growth”, Washington, D.C., mayo.
- Bates, B.C. y otros (eds.) (2008), *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Ginebra, Secretaría del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).
- BCE (Banco Central del Ecuador) (2007), *Cuentas provinciales*, Quito.
- _____ (2007a), *Cuentas nacionales. Cuentas provinciales 2001-2007*, Dirección General de Estudios [en línea] <http://www.bce.fin.ec/frame.php?CNT=ARB0000175>.
- _____ (2002), *75 años de estadísticas 1927-2002*, Quito.
- BirdLife International (2008a), “*Spheniscus mendiculus*”, *IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1*, Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) [en línea] www.iucnredlist.org [fecha de consulta: 12 de agosto de 2009].

- _____ (2008b), “*Phalacrocorax harrisi*”, *IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1*, Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) [en línea] www.iucnredlist.org [fecha de consulta: 12 de agosto de 2009].
- _____ (2008c), “*Phoebastria irrorata*”, *IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1*, Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) [en línea] www.iucnredlist.org [fecha de consulta: 17 de septiembre de 2009].
- Bliemsrieder, M. (1998), *The “El Niño” event in Galápagos*, Puerto Ayora, Fundación Charles Darwin.
- Briones, E.E., J. Sonnenholzner y S. López (2001), *Mapificación preliminar de los humedales marino costeros de las Islas Galápagos*, Quito, EcoCiencia/Parque Nacional Galápagos/Ministerio del Ambiente.
- Briones, E. y otros (1999), *Inventario de humedales del Ecuador, quinta parte: humedales interiores y humedales marino costeros de la provincia de Galápagos*, Quito, Convención de Ramsar/Ministerio del Ambiente/EcoCiencia.
- Burke, L. y J. Maidens (2004), *Reefs at Risk in the Caribbean*, Washington, D.C., Instituto de los Recursos Mundiales (WRI).
- Burneo, D. y J. Oleas (1996), “Análisis del crecimiento en el Ecuador (1965-1994): Estabilidad macroeconómica y apertura como factores coadyuvantes”, *Nota técnica*, N° 28, Banco Central del Ecuador.
- Burton, I., E. Malone y S. Huq (2005), *Marco de políticas de adaptación al cambio climático, desarrollo de estrategias, políticas y medidas*, Nueva York.
- Cáceres, L., R. Mejía y G. Ontaneda (1998), “Evidencias del cambio climático en Ecuador”, *Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos*, vol. 27, N° 3.
- CAF (Corporación Andina de Fomento) (2000), *Las lecciones de El Niño: Memorias del fenómeno El Niño 1997 - 1998: Retos y propuestas para la región andina: Ecuador*.
- Campbell, A. y otros (2008), *Carbon Storage in Protected Areas: Technical Report*, Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación del PNUMA.
- Cañadas, L. (1983), *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*, Quito, Banco Central del Ecuador.
- Castrejón, M. y otros (2007), *Puntos de referencia objetivo para la pesquería de pepino de mar (Isostichopus fuscus) en la Reserva Marina de Galápagos*, Reporte de la Comisión Técnica de la Junta de Manejo Participativo (JMP), Puerto Ayora [en línea] http://www.galapagospark.org/documentos/DPNG-FCD_estado_2007_pepino.pdf.
- Causton, C. (2007), “Riesgo asociado con las rutas aéreas actuales y propuestas hacia Galápagos”, *Informe Galápagos 2006-2007*, Fundación Charles Darwin (FCD)/Parque Nacional Galápagos (PNG)/Instituto Nacional Galápagos (INGALA), Puerto Ayora.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2005), “Los impactos diferenciados del Tratado de Libre Comercio Ecuador – Estados Unidos de Norte América sobre la agricultura del Ecuador”, Santiago de Chile [en línea] http://www.pnud.org.ec/Publicaciones/TLC/InformeUNDP_CEPLA.pdf.
- CEPAL/Mecanismo Mundial de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (2010), *Proyecto regional de valoración económica de la degradación ante escenarios alternativos de cambio climático*.
- Chimborazo, O., S. Guitarra y Á.G. Muñoz (2010), *Informe final Análisis de nuevas salidas del modelo TL959*, Proyectos Ministerio del Ambiente-Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Quito.
- Church, J.A. y otros (2001), “Changes in sea level”, *Climate Change 2001. The Scientific Basis*, J. Houghton y otros (eds.), Cambridge, Cambridge University Press.
- CONELC (Consejo Nacional de Electricidad) (2006), *Balance de la energía total producida e importada*, Quito.
- _____ (2007), *Plan Maestro de Electrificación 2007-2016*, Quito.

- CONELEC y SIGAGRO (Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria, del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (2008), “Zonificación de Áreas de Riesgo de Desastres Naturales para la Infraestructura Eléctrica del Ecuador”, disponible en http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/MemoriaZonificacionRiesgosInfraestructuraElectrica.pdf
- Conrad, J. Franklin y otros (2006), *Fisheries Management in the Galápagos Marine Reserve: A Bioeconomic Perspective*, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Costanza, R. y C. Folke (1997), “Valuing ecosystem services with efficiency, fairness and sustainability as goals”, *Nature’s Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, G.C. Daily (ed.), Washington, D.C., Island Press.
- Costanza, R. y otros (1997), “The value of the world’s ecosystem services and natural capital”, *Nature*, vol. 387.
- Cuesta-Camacho, F., M. Peralvo y A. Ganzenmüller (2008), “Posibles efectos del calentamiento global sobre el nicho climático de algunas especies en los Andes Tropicales”, *Páramo y cambio climático*, GTP-Ecociencia-Abya-Yala, Quito.
- Daily, G. y otros (2009), “Ecosystem services in decision making: time to deliver”, *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 7, Nº 1.
- Danulat, E. y G. Edgar (eds.) (2002), *Reserva Marina de Galápagos. Línea base de la biodiversidad*, Puerto Ayora, Fundación Charles Darwin/Parque Nacional Galápagos.
- Dasgupta, S. y otros (2007), “The impact of sea level rise on developing countries: A comparative analysis”, *World Bank Policy Research Working Paper*, Nº 4136.
- D’Ercole, Robert y otros (coords.) (2003), *Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador: Los desastres un reto para el desarrollo*, Quito, Cooperazione Internazionale (COOPI), Institut de Recherche pour le Développement (IRD), OXFAM.
- D’Ozouville, N. (2008), “Manejo de recursos hídricos: caso de la cuenca de Pelican Bay”, *Informe Galápagos 2007-2008*, Fundación Charles Darwin (FCD)/Parque Nacional Galápagos (PNG)/Instituto Nacional Galápagos (INGALA), Puerto Ayora.
- _____ (2007), “Agua dulce: la realidad de un recurso crítico”, *Informe Galápagos 2006-2007*, Fundación Charles Darwin (FCD)/Parque Nacional Galápagos (PNG)/Instituto Nacional Galápagos (INGALA), Puerto Ayora.
- D’Ozouville, N. y G. Merlen (2007), “Agua dulce o supervivencia en Galápagos”, *Galápagos: migraciones, economía, cultura, conflictos y acuerdos*, P. Ospina y C. Falconí, Quito, Universidad Andina Simón Bolívar.
- Easterling, W.E. y otros (2007), “Food, fibre and forest products”, *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry y otros (eds.), Cambridge, Cambridge University Press.
- Epler, B. (2007), *Turismo, economía crecimiento poblacional y conservación en Galápagos*, Puerto Ayora, Fundación Charles Darwin (FCD).
- Epler, B. y M. Proaño (2007), “¿Cuántas plazas y cuántos cupos hay en Galápagos?”, *Informe Galápagos 2006-2007*, Fundación Charles Darwin (FCD)/Parque Nacional Galápagos (PNG)/Instituto Nacional Galápagos (INGALA), Puerto Ayora.
- Epler, B., G. Watkins y S. Cárdenas (2007), “Los flujos financieros del turismo de Galápagos”, *Informe Galápagos 2006-2007*, Fundación Charles Darwin (FCD)/Parque Nacional Galápagos (PNG)/Instituto Nacional Galápagos (INGALA), Puerto Ayora.
- Falconi, F. y J. Oleas (2004), “Antología de la economía ecuatoriana 1992-2003. Estudio introductorio”, *Antología. Economía ecuatoriana*, F. Falconi y otros (eds.), Quito, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO)

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2000), *Efectos de los fenómenos climatológicos adversos en la producción y el comercio de los alimentos* (FAO-GIC--LARC/00/4), vigésimo sexto período de sesiones de la Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Mérida (México), 10 a 14 de abril.
- FCD (Fundación Charles Darwin) (1989), *Informe anual 1988–1989 de la Estación Científica Charles Darwin*, Puerto Ayora.
- _____ (2009a), *Base de datos meteorológicos*, Puerto Ayora.
- _____ (2009b), *Galápagos and Climate Change. Final technical report from the Charles Darwin Foundation to CI and WWF Galápagos*, Puerto Ayora.
- FCD/WWF (Fundación Charles Darwin/Fondo Mundial para la Naturaleza) (2002), *Visión para la biodiversidad de las islas Galápagos*. R. Bensted-Smith (ed.). Puerto Ayora, Galápagos.
- FCD/PNG/INGALA (Fundación Charles Darwin/Parque Nacional Galápagos/Instituto Nacional Galápagos) (2007), *Informe Galápagos 2006-2007*, Puerto Ayora.
- _____ (2008), *Informe Galápagos 2007-2008*, Puerto Ayora.
- Fischlin, A. y otros (2007), “Ecosystems, their properties, goods, and services”, *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry y otros (eds.), Cambridge, Cambridge University Press.
- FMAM/PNUD/MAE (Fondo para el Medio Ambiente Mundial/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo/Ministerio del Ambiente del Ecuador) (2008), *Estudio para evaluar la vulnerabilidad al riesgo climático actual por efecto del cambio climático en las cuencas de los ríos Chone, Portoviejo, Babahoyo, Paute, Jubones, Catamayo*, Quito.
- Foden, W. y otros (2008), “Species susceptibility to climate change impacts”, *The 2008 Review of The IUCN Red List of Threatened Species*, J.-C. Vié, C. Hilton-Taylor y S.N. Stuart (eds.), Ginebra, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN).
- Glynn, P. (1988), “El Niño-Southern Oscillation 1982-1983: nearshore population community bioerosion and ecosystem responses”, *Ecology and Systematics*, N° 19.
- Glynn, P. y L. D’Croze (1990), “Experimental evidence for high temperature stress as the cause of the El Niño-coincident coral mortality”, *Coral Reefs*, N° 8.
- Glynn, P. y G. Wellington (1983), *Corals and Coral Reefs of the Galápagos Islands*, Berkeley, University of California Press.
- Glynn, P. y otros (1988), *El Niño (1982-83) associated coral mortality and relationship to sea surface temperature deviations in the tropical eastern Pacific. Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium*, Townesville.
- Guzmán, J. (2006), “Informe final; Evaluación de resultados ambientales, evaluación de resultados e impactos económicos”, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)/Banco Mundial.
- Haites, E. (2002), *Assessment of the Economic Impact of Climate Change on CARICOM Countries*, Washington, D.C., Banco Mundial.
- Hanley, N., J. Shogren y B. White (1997), *Environmental Economics in Theory and Practice*, Oxford, Oxford University Press.
- Hardner, J. y P. Gómez (2004), *Incorporación de la mano de obra del sector pesquero artesanal en las actividades turísticas de Galápagos*, California, Hardner & Gullison Associates.
- Hearn, A. (2005), *Evaluación poblacional de la langosta roja en Galápagos 2005*, Puerto Ayora, Fundación Charles Darwin (FCD).
- _____ (2002), *Evaluación de las poblaciones de langostas en la Reserva Marina de Galápagos*, Puerto Ayora, Fundación Charles Darwin (FCD)/Parque Nacional Galápagos (PNG).
- Hearn, A. y J. Murillo (2007), “Se agotan los recursos pesqueros costeros en la Reserva Marina”, *Informe Galápagos 2006-2007*, Fundación Charles Darwin (FCD)/Parque Nacional Galápagos (PNG)/Instituto Nacional Galápagos (INGALA), Puerto Ayora.

- Hearn, A., J. Mora y J. Moreno (2008), *Evaluación del pepino de mar Stichopus horrens en la Reserva Marina de Galápagos. Informe 2007*, Puerto Ayora, Fundación Charles Darwin (FCD).
- Hearn A., F. Pinillos y J. Sonnenholzner (2002), *Evaluación de las poblaciones de langosta en la Reserva Marina de Galápagos. Informe anual*, Puerto Ayora, Fundación Charles Darwin (FCD).
- Hearn A. y otros (2004), “Evaluación de la pesquería de pepino de mar (*Isostichopus fuscus*) en Galápagos”, *Evaluación de las pesquerías en la Reserva Marina de Galápagos. Informe Compendio 2004*, Puerto Ayora, Fundación Charles Darwin (FCD).
- _____ (2005), “Evaluación de la pesquería de langosta (*Panulirus penicillatus* y *P. gracilis*) en la Reserva Marina de Galápagos”, *Evaluación de las pesquerías en la Reserva Marina de Galápagos. Informe Compendio 2004*, Puerto Ayora, Fundación Charles Darwin (FCD).
- Heywood, V.H. (ed.) (1995), *Global Biodiversity Assessment*, Cambridge, Cambridge University Press.
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) (2000), *Análisis del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en el Ecuador*, Quito, Comité Nacional sobre Clima.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (2010), *Proyección poblacional urbana y rural 2001-2010*, Quito.
- INEC/SEAN (Instituto Nacional de Estadística y Censos/Sistema Estadístico Agropecuario Nacional) (2007), *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2002-2007*, Quito, Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- INEFAN (Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales y Vida Silvestre) (1998), *Ecuador: Informe interino a la Secretaría del Convenio de Diversidad Biológica sobre la aplicación del Artículo 6*, Quito, Dirección Nacional de Áreas Naturales y Vida Silvestre, febrero [en línea] <http://www.cbd.int/doc/world/ec/ec-nr-01-es.pdf>.
- INP (Instituto Nacional de Pesca) (2005), *Investigación de los recursos bio-acuáticos y su ambiente*.
- Inurritegui, M., I. Camacho y J. Ludeña (2008), *Acuerdo Asociación UE-CAN: ¿quiénes ganan y quiénes pierden?: Un estudio exploratorio sobre el sector agrícola*, CEPES.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2001), *Climate Change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Cambridge, Cambridge University Press.
- _____ (2007), *Cambio climático 2007: informe de síntesis*. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, Ginebra.
- Izurieta, A. y L. Sinay (2008), *Estudio de determinación de la actual y potencial demanda de turismo en las Islas Galápagos*, Puerto Ayora, Cámara Provincial de Turismo de Galápagos/Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Jiménez-Uzcátegui, G. (2008), *Monitoreo de albatros Phoebastria irrorata*, Puerto Ayora, Fundación Charles Darwin (FCD)/Parque Nacional Galápagos (PNG).
- Jiménez-Uzcátegui, G. y otros (2007), “Estado de los vertebrados introducidos en Galápagos”, *Informe Galápagos 2006-2007*, Fundación Charles Darwin (FCD)/Parque Nacional Galápagos (PNG)/Instituto Nacional Galápagos (INGALA), Puerto Ayora.
- Jones, R.N. y B.L. Preston (2006), *Climate Change Impacts, Risk and the Benefits of Mitigation. A Report for the Energy Futures Forum*, CSIRO, Australia.
- Jurado Maldonado, Viviana (2005), *Aspectos biológicos y pesqueros de la Concha Prieta (Anadara tuberculosa)*.
- Labandeira Villot, X. y M. Loureiro García (2009), “Apuntes sobre la investigación económica del cambio climático”, *Economía y medio ambiente*, Información Comercial Española (ICE).
- Lara, A. y otros (2006), “Impacto socio-económico del cambio climático en la República Argentina (Presentación de informe final)”, Buenos Aires, Serman & Asociados S.A. Consultora/Fundación Bariloche/Fondo para el Medio Ambiente Mundial/Banco Mundial.
- Lewis, O.T. (2006), “Climate change, species-area curves and the extinction crisis”, *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences*, vol. 361, N° 1465.

- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador) (2011), *Sistematización de iniciativas de cambio climático en el Ecuador*, Subsecretaría de Cambio Climático, Proyecto FMAM/PNUD/MAE Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático.
- _____ (2009), *Inventario nacional de gases de efecto de invernadero*, Segunda Comunicación Nacional.
- _____ (2007), *Plan estratégico del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador 2007-2016*, informe final de consultoría. Proyecto FMAM: Ecuador Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP-GEF), Quito, REGAL-ECOLEX.
- _____ (2001a), Proyecto ECU/99/G31 Cambio climático: inventario de GE, primera comunicación nacional.
- _____ (2001b), *Vulnerabilidad – Adaptación y mitigación al cambio climático*, Quito, Comité Nacional sobre el Clima.
- MAE/Ecociencia (Ministerio del Ambiente del Ecuador/ Fundación Ecuatoriana de Estudios Ecológicos) (2005), *Terrestrial Ecosystems Indicators*.
- MAE/PACC (Ministerio del Ambiente del Ecuador/Proyecto de Adaptación al Cambio Climático a través de una efectiva Gobernabilidad del Agua en Ecuador) (2008), *Estudio sobre la vulnerabilidad actual a los impactos climatológicos en la cuenca del Río Paute*.
- Markham, A. (1996), “Potential impacts of climate change on ecosystem: a review of implication for policymakers and conservation biologist”, *Climate Research*, vol. 6.
- Martínez, P. y otros (2001), “Análisis de la densidad poblacional y estructura de tallas de pepino de mar (*Stichopus fuscus*) en Galápagos, durante el monitoreo de abril del 2001”, Puerto Ayora, Servicio del Parque Nacional Galápagos (SPNG)/ Estación Científica Charles Darwin (ECCD)/Instituto Nacional de Pesca (INP).
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005), *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Washington, D.C., Island Press.
- MEE (Ministerio de Energía y Electricidad) (2008), *Proyecto de Matriz Energética del Ecuador*.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (2007), Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria (SIAGRO) [fecha de consulta: 25 de junio de 2009].
- Mittermeier, R.A., P. Robles-Gil y C.G. Mittermeier (eds.) (1997), *Megadiversity. Earth's Biologically Wealthiest Nations*, México, D.F., CEMEX/Agrupación Sierra Madre.
- Moench, M. y otros (2008), “Moving from concepts to practice: A process and methodology summary for identifying effective avenues for risk management under changing climatic conditions”, *Risk to Resilience Working Paper*, N° 8, Katmandú, ISET-Nepal/ProVenton.
- Moreno, J., C. Peñaherrera y A. Hearn (2007), *Evaluación de la pesquería de langosta espinosa (*Panulirus penicillatus* y *P. gracilis*) en la Reserva Marina de Galápagos 2006*, Puerto Ayora, Fundación Charles Darwin (FCD).
- Murillo, J. (2008), *Resultados del monitoreo poblacional de pepinos de mar *Stiochopus fuscus*, junio 2008*, Puerto Ayora, Comisión Técnica de Pesca.
- Murillo, J. y H. Reyes (2008), *Evaluación de la pesquería 2007 de pepino de mar *Isostichopus fuscus* en la Reserva Marina Galápagos*, Puerto Ayora, Parque Nacional Galápagos (PNG).
- Nelson, K., H. Snell y M. Wikelski (2004), “*Amblyrhynchus cristatus*”, *IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.1*, Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) [en línea] www.iucnredlist.org [fecha de consulta: 12 de agosto de 2009].
- Nelson, E., y otros (2009), *Frontiers in Ecology and Environment*, vol. 7, N° 1.
- Nicholls, R.J. y R.S. Tol (2006), “Impacts and responses to sea level rise: a global analysis of the SRES scenarios over the twenty-first century”, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, vol. 364, N° 1841.
- OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) (2006), *Informe de estadísticas energéticas*, Quito.

- Ordóñez, A. (2008), “Situación de la oferta turística de Galápagos: Planta turística, capacidad instalada y capacidad de acogida”, *Informe Galápagos 2007-2008*, Fundación Charles Darwin (FCD)/Parque Nacional Galápagos (PNG)/Instituto Nacional Galápagos (INGALA), Puerto Ayora.
- _____. (2007), “Determinación de la oferta actual y potencial del sector turístico en las islas Galápagos”, proyecto Desarrollo sostenible de los sectores productivos de Galápagos, Banco Interamericano de Desarrollo (BID)/Cámara Provincial de Turismo de Galápagos (CAPTURGAL), Puerto Ayora.
- Ospina, P. y C. Falconí (2007), *Galápagos: migraciones, economía, cultura, conflictos y acuerdos*, Quito, Universidad Andina Simón Bolívar.
- Parlamento Europeo (2008), *Climate Change – Induced Water Stress and its Impact on Natural and Managed Ecosystems*, Bruselas, Dirección General de Políticas Exteriores.
- Pearce, W. y K. Turner (1990), *Economics of Natural Resources and the Environment*, Madrid, Celeste Ediciones.
- Penning-Rowsell, E.C. y J.B. Chatterton (1977), *The Benefits of Flood Alleviation: A Manual of Assessment Techniques*, Aldershot, Gower Technical Press.
- PNG (Parque Nacional Galápagos) (2000), *Zonificación terrestre del Parque Nacional Galápagos*, Puerto Ayora.
- _____. (2008), *Estadísticas del Parque Nacional Galápagos 1979-2008*, Puerto Ayora.
- Proaño, M. y B. Epler (2007), “El turismo en Galápagos: una tendencia al crecimiento”, *Informe Galápagos 2006-2007*, Fundación Charles Darwin (FCD)/Parque Nacional Galápagos (PNG)/Instituto Nacional Galápagos (INGALA), Puerto Ayora.
- Pounds, J.A., M.L.P. Fogden y J.H. Campbell (1999), “Biological response to climate change on a tropical mountain”, *Nature*, N° 398.
- Reyes, H., J. Murillo y M. Wolff (2009), “Informe técnico de las pesquerías de pepino de mar (*Isostichopus fuscus*) y langosta espinosa (*Panulirus penicillatus* y *P. gracilis*) en la RMG”, PNG, *Conservación y uso racional de ecosistemas marinos*, Fundación Charles Darwin (FCD), Departamento de Ciencias Marinas y Costeras, Puerto Ayora.
- Robalino, E. y otros (1985), “Efectos del El Niño 1982-1983 en el hombre y sus actividades en la Isla Santa Cruz, Galápagos”, *El Niño en las Islas Galápagos: el evento de 1982-83*, G. Robinson y E. del Pino, Puerto Ayora, Fundación Charles Darwin (FCD).
- Robinson, G. y E. del Pino (1985), *El Niño en las Islas Galápagos: el evento de 1982-83*, Puerto Ayora, Fundación Charles Darwin (FCD).
- Root, T. y otros (2003), “Fingerprints of global warming on wild animals and plants”, *Nature*, N° 421.
- Roque-Albelo, R., E. Lomas y O. Castillo (2008), “Dispersión de especies de insectos atraídos por las luces de barcos hacia y entre las islas Galápagos: implicaciones para la conservación”, *Informe Galápagos 2007-2008*, Fundación Charles Darwin (FCD)/Parque Nacional Galápagos (PNG)/Instituto Nacional Galápagos (INGALA), Puerto Ayora.
- Seminoff, J. (2004), “*Chelonia mydas*”, *IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1*, Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) [en línea] www.iucnredlist.org [fecha de consulta: 16 de septiembre de 2009].
- SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua) (2008), *Plan Nacional del Agua, 2008*, Quito.
- SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación de Desarrollo) (2009), *Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013*, Quito.
- Sierra, R. (2009), *Adaptation to Climate Change in Ecuador and the City of Esmeraldas: An Assessment of Challenges and Opportunities*, Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat), Universidad de Texas.
- Sonnenholzner J., A. Hearn y J. Murillo (2002), *Metodología de evaluación de las poblaciones de langostas en la Reserva marina de Galápagos*, Puerto Ayora, Parque Nacional Galápagos (PNG)/Fundación Charles Darwin (FCD).
- STGR (Secretaría Técnica de Gestión de Riesgos del Ecuador) (2009), “Base de datos de eventos y efectos de amenazas en el Ecuador (DESINVENTAR). Periodo de información 1980 a 2009”, Quito.

- Tallis, H.T. y otros (2008), *InVEST 1.0 beta User's Guide*, Stanford, The Natural Capital Project.
- Taylor, E., J. Hardner y M. Stewart (2006), “Ecotourism and economic growth in the Galápagos: an island economy-wide analysis”, *Working Paper*, N° 06-001, California, University of California.
- The Nature Conservancy (2008), “Especies invasoras y cambio climático, un reto para la biología de la conservación”, ponencia en el Congreso Mexicano de Ecología, Yucatán, noviembre.
- Thomas, C.D. y otros (2004), “Extinction rate from climate change”, *Nature*, N° 427.
- Toba, N. (2009), “Potential impacts of climate change in the Caribbean community”, *LCR Sustainable Development Working Paper*, N° 32, Banco Mundial.
- Toral, M. (2005), *Estado poblacional del pepino de mar Isostichopus fuscus posterior a la temporada de pesca 2005*, Puerto Ayora, Junta de Manejo Participativo (JMP)/Fundación Charles Darwin (FCD).
- _____ (2004), *Estado poblacional del pepino de mar Isostichopus fuscus posterior a la temporada de pesca 2004*, Puerto Ayora, Junta de Manejo Participativo (JMP)/Fundación Charles Darwin (FCD).
- _____ (2001), *Monitoreo de poblaciones de Stiochopus fuscus antes y después de la temporada de pesca 2000*, Puerto Ayora, Estación Científica Charles Darwin/Departamento de Investigación y Conservación Marina.
- Toral, M. y M. Oviedo (2002), *Análisis de la densidad poblacional y estructura de tallas del pepino de mar Stichopus fuscus post-pesquería 2002*, Puerto Ayora, Parque Nacional Galápagos (PNG)/Fundación Charles Darwin (FCD).
- Toral, M. y otros (2000), “La pesca artesanal en Galápagos”, *Informe Galápagos 1999-2000*, Puerto Ayora.
- _____ (2003), *Estado Poblacional del pepino de mar (Isostichopus fuscus) en la Reserva Marina de Galápagos: análisis comparativo de los años 1999 – 2002*, Puerto Ayora, Parque Nacional Galápagos (PNG)/Fundación Charles Darwin (FCD).
- Tye, A., R. Atkinson y V. Carrión (2007), “Incrementa el número de plantas introducidas en Galápagos”, *Informe Galápagos 2006-2007*, Fundación Charles Darwin (FCD)/Parque Nacional Galápagos (PNG)/Instituto Nacional Galápagos (INGALA), Puerto Ayora.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales) (2008), *Red List of Threatened Species*.
- _____ (2009), *Red List of Threatened Species. Version 2009.1* [en línea] www.iucnredlist.org [fecha de consulta: 12 de agosto de 2009].
- Valarezo, V. y otros (1999), *Informe de Evaluación sobre la Eficiencia del Manejo del SNAP*, proyecto del Instituto Ecuatoriano Forestal y de Areas Naturales y Vida Silvestre (INEFAN) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), Quito.
- Vega Raúl, Galarza Martha (2009), *Problemática y conflicto sobre los recursos hídricos por efecto del cambio climático*, convenio entre la cooperación alemana (DED) y la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA).
- Vergara, W. (ed.) (2009), “Assessing the potential consequences of climate destabilization in Latin America”, *Sustainable Development Working Paper*, N° 32, Banco Mundial
- Vogel, Joseph Henry (1994), *Genes for Sale: Privatization as a conservation policy*, Oxford, Oxford University Press.
- _____ (1995), “The market alternative to the valuation of biodiversity: the example of Ecuador”, *Association of Systematics Collection Newsletter*, vol. 23, N° 5, octubre.
- Von Hesse, M. y C. de la Torre (2009), *La incorporación de la gestión del riesgo en los proyectos de inversión pública y la protección financiera del riesgo en la subregión andina*, Comunidad Andina/Comisión Europea.
- Vos, R., M. Velasco y E. Labastida (1999), *Economic and Social Effects of “El Nino” in Ecuador, 1997-8*, Institute of Social Studies Working Paper, La Haya, julio.
- Wilbanks, T.J. y otros (2007), “Industry, settlement and society”, *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry y otros (eds.), Cambridge, Cambridge University Press.

- Zakri, A.H. (2003), *Integrated Assessment through the Millennium Ecosystem Assessment*, Instituto de Estudios Avanzados de la Universidad de las Naciones Unidas.
- Zárate, P. y P. Dutton (2002), “Tortuga verde”, *Reserva Marina de Galápagos, línea base de la biodiversidad*, E. Danulat y G. Edgar (eds.), Estación Científica Charles Darwin/Southwest Fisheries Science Center/National Marine Fisheries Service/Parque Nacional Galápagos (PNG), Puerto Ayora.
- Zuleta, I. (2005), “Monitoreo participativo de la calidad y contaminación del agua en Santa Cruz”, base de datos, Gobierno Municipal de Santa Cruz/JICA, Puerto Ayora.

Páginas web:

www.compraspublicas.gov.ec

www.mtop.gov.ec

www.inp.gov.ec

www.mag.gov.ec/sigagro/zonifica/producto.htm

www.siise.gov.ec/

Anexo

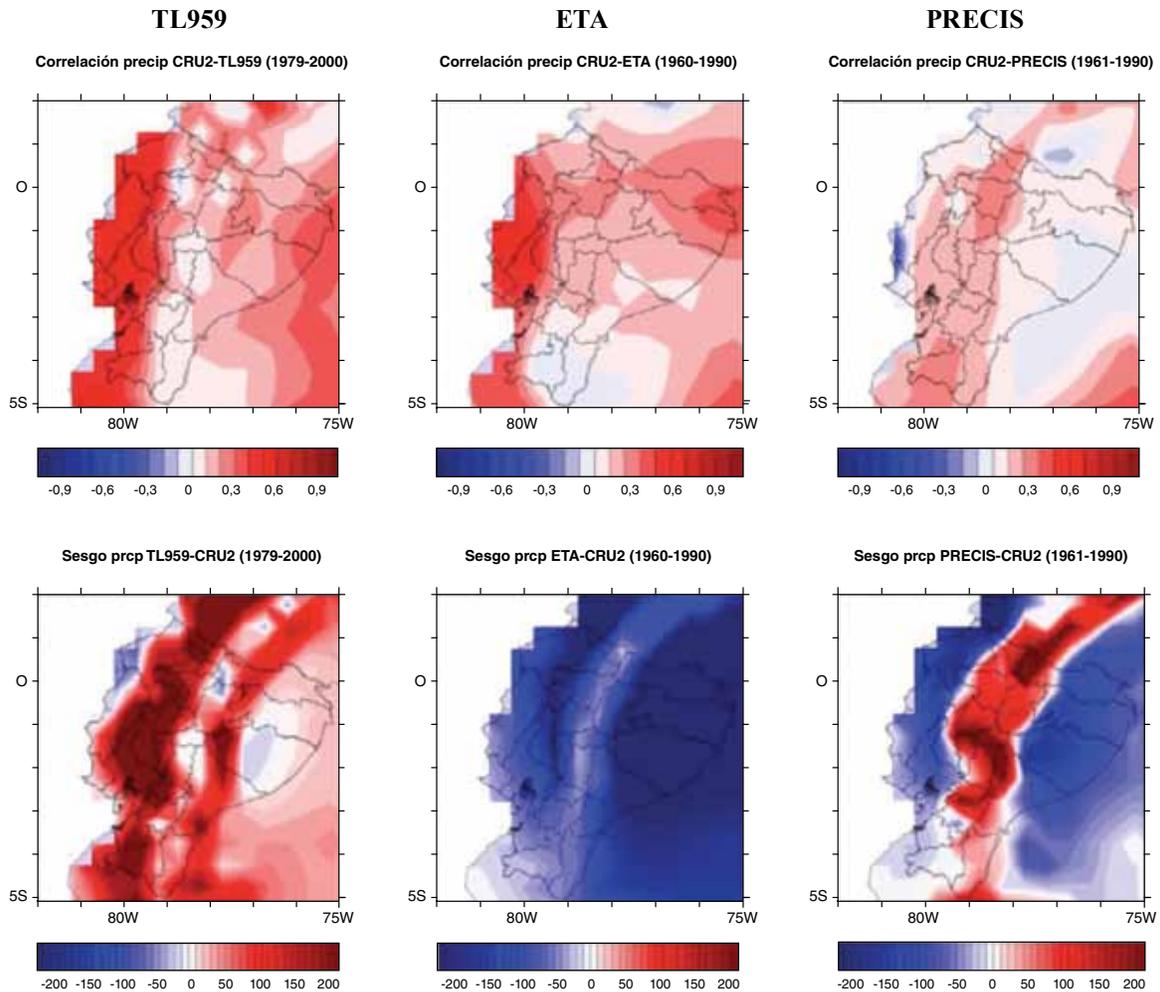
Modelos de cambio climático para el Ecuador¹

Debido a la incertidumbre de los modelos climáticos, en el Ecuador se llevó a cabo el estudio Validación y análisis de modelos de escenarios de cambio climático para Ecuador (Muñoz, 2010), donde se analizaron las fortalezas y debilidades de tres modelos dinámicos para determinar escenarios futuros de cambio climático para el país: i) PRECIS (25 km con los escenarios A2 y B2); ii) ETA (56 km con los escenarios A2 y B2), y iii) TL959 (20 km con el escenario A1B). Se revisaron las previsiones de cada modelo —temperatura y precipitaciones— y escenarios futuros en el largo plazo (PRECIS y ETA) y en el corto plazo (TL959).

La validación de los resultados relativos a las precipitaciones demostró que las correlaciones con datos históricos del modelo PRECIS fueron menores que en los otros dos modelos analizados para la Amazonía. El PRECIS sobreestima la precipitación en la Sierra, mientras que la subestima para la Costa y la Amazonía. Por otro lado, el modelo ETA posee las mejores correlaciones, pero subestima la pluviosidad en la mayor parte del territorio ecuatoriano, excepto en la Sierra. El modelo TL959 sobreestima la precipitación en gran parte de la Costa y a lo largo de las laderas andinas de la vertiente amazónica. En el gráfico A-1 puede observarse la comparación entre los coeficientes de correlación y el sesgo de los tres modelos para la variable de la precipitación.

¹ El contenido de este anexo se extrajo de Á.G. Muñoz, “Validación y análisis de modelos de escenarios de cambio climático para Ecuador”, proyecto INAMHI-MAE-SCN-PRAA-PACC, Maracaibo, septiembre de 2010, [en línea] <http://www.ambiente.gob.ec/sites/default/files/users/dhermida/InformeFinalConsenso.pdf>.

GRÁFICO A-1
PRECIPITACIONES: COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES MEDIOS
TEMPORALES DE CORRELACIÓN Y SESGO
(En milímetros)



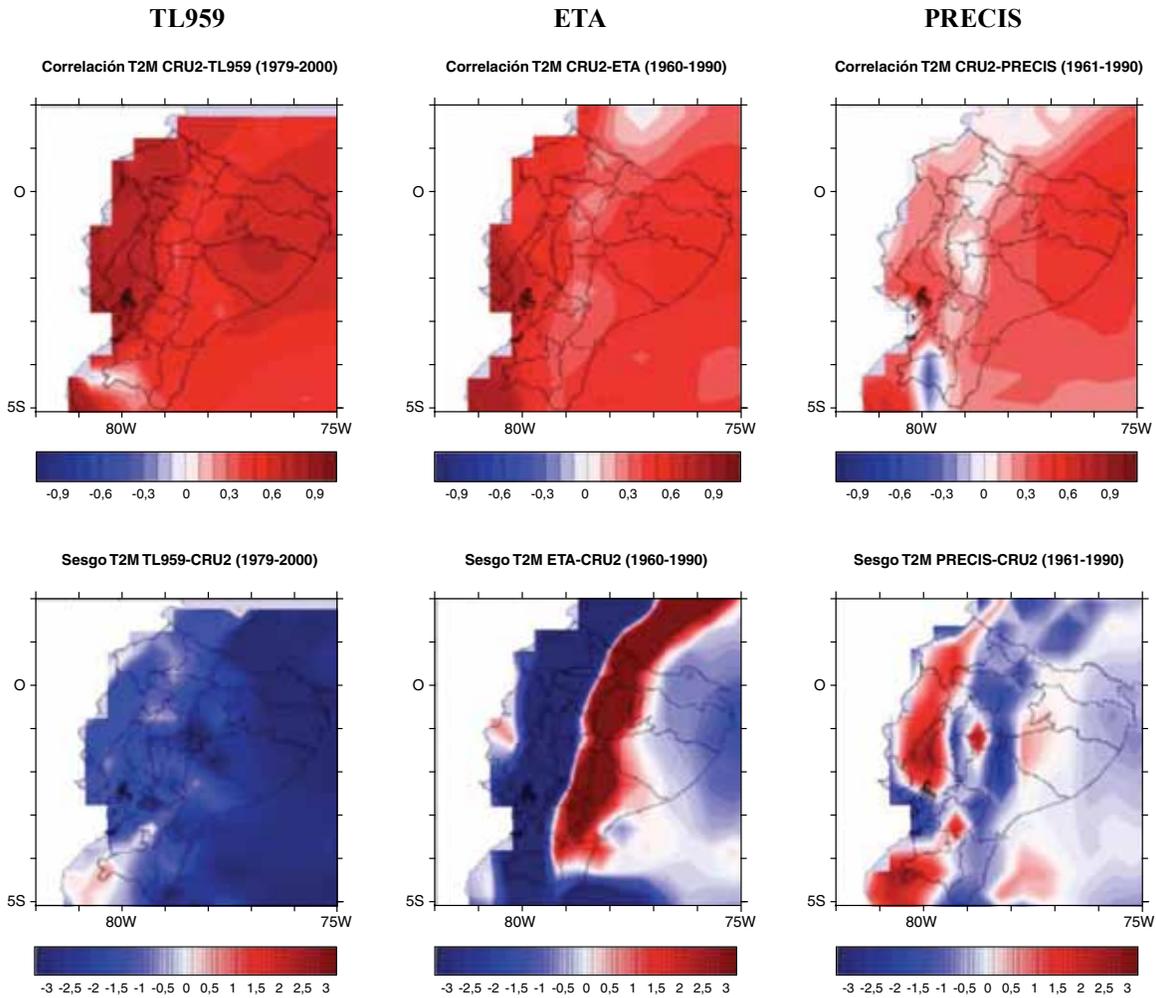
Fuente: Á. G. Muñoz, “Validación y análisis de modelos de escenarios de cambio climático para Ecuador”, proyecto INAMHI-MAE-SCN-PRAA-PACC, Maracaibo, septiembre de 2010, [en línea] <http://www.ambiente.gob.ec/sites/default/files/users/dhermida/InformeFinalConsenso.pdf>.

Al analizar los resultados promedio de los tres modelos se observa que la intensidad de las precipitaciones aumentaría en la Sierra, pero disminuiría en el extremo oriental de la Amazonía y en la Costa (Santa Elena, Manabí y Esmeraldas).

En cuanto a la temperatura, el estudio indica que el modelo PRECIS muestra las más altas correlaciones, con un sesgo cálido para la mayor parte del litoral y sesgos fríos para la Sierra. En el caso de la Amazonía, en general las temperaturas reciben una mejor descripción (salvo en el extremo oriental). El ETA presenta un sesgo frío para la Costa —con una diferencia igual o mayor a los 3°C— y para la vertiente pacífica de los Andes, y un sesgo cálido —también con una diferencia igual o mayor a los 3°C— para la vertiente amazónica y la Amazonía cercana a las laderas andinas. Para el resto del

Oriente, se aprecia un sesgo frío menor (de hasta aproximadamente 1,5°C). En contraste, el modelo TL959 provee mejores correlaciones, pero con un sesgo frío para casi todo el territorio ecuatoriano. En el gráfico A-2 se presenta la comparación entre los coeficientes de correlación y el sesgo de los tres modelos.

GRÁFICO A-2
TEMPERATURA: COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES MEDIOS
TEMPORALES DE CORRELACIÓN Y SESGO
(En grados Celsius)



Fuente: Á. G. Muñoz, “Validación y análisis de modelos de escenarios de cambio climático para Ecuador”, proyecto INAMHI-MAE-SCN-PRAA-PACC, Maracaibo, septiembre de 2010, [en línea] <http://www.ambiente.gob.ec/sites/default/files/users/dhermida/InformeFinalConsenso.pdf>.

Este estudio permitió concluir que ninguno de los tres modelos analizados describe a la perfección el clima actual. Sin embargo, este tipo de análisis permite identificar las virtudes y defectos de cada modelo y corregir estadísticamente los sesgos de los resultados (Chimborazo y otros, 2010). También se destaca el gran peso de las incertidumbres, ya que los resultados dependen de diversas suposiciones, tales como las tecnologías, las fuentes energéticas, el contexto social, político y económico, y, sobre todo, los detalles que se desconocen sobre los procesos físicos y la resolución espacial de los modelos. En cuanto a este último aspecto, los modelos regionales mejoran la resolución, pero aún no alcanza para interpretar, por ejemplo, los microclimas del callejón interandino.

Comparación entre el modelo PRECIS para los estudios regionales sobre la economía del cambio climático y los tres escenarios analizados

Los resultados del modelo PRECIS usados en el estudio de la economía del cambio climático en el Ecuador se basan en una resolución de 50 km por 50 km que, si bien reduce el detalle de los resultados arrojados por el modelo de 25 km², no cambia su sesgo ni su dirección.

Como se observó en el análisis de validación de los tres modelos, las proyecciones de los modelos ETA y PRECIS no suelen ser muy diferentes, por lo que resulta difícil determinar cuál es el mejor. Sin embargo, el modelo ETA representa de manera más precisa la zona de los Andes.

El TL959 es un modelo global de alta resolución que no puede compararse con los otros dos modelos regionales (PRECIS y ETA), ya que contempla un período a muy corto plazo y solo se aplica al escenario A1B, por lo que se necesitaría realizar un análisis por separado. Los modelos PRECIS y ETA cubren hasta el período 2071-2100 para los escenarios A2 y B2.



La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe



C E P A L

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)
Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC)
www.cepal.org