

LA ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



NACIONES UNIDAS

CEPAL



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



BID

**La economía del cambio climático en
el Estado Plurinacional de Bolivia**

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

Banco Interamericano de Desarrollo.

La economía del cambio climático en el Estado Plurinacional de Bolivia 2014 / Banco Interamericano de Desarrollo,
Comisión Económica para América Latina y el Caribe
p.cm. – (Monografía del BID; 220)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Climatic changes— Economic aspects—Bolivia. 2. Climate change mitigation—Bolivia. 3. Climatic changes—
Adaptation— Bolivia. I. Naciones Unidas. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. II. Banco Interamericano
de Desarrollo. División de Cambio Climático y Sostenibilidad. III. Título. IV. Serie.

IDB-MG-220

NDB-MG-de referencia de la CEPAL, Naciones Unidas: LC/W.627

Palabras clave: Cambio Climático, Bolivia, Impactos Económicos, Adaptación

Clasificación JEL: C68, Q54, Q58, O54.

Este documento fue elaborado con el financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en el marco del
Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe, coordinado por la Comisión
Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y con el apoyo de UKAID, del Gobierno del Reino Unido.

El estudio fue coordinado por Carlos Ludeña y Leonardo Sánchez-Aragón (BID), y por Carlos de Miguel, Karina Martínez
y Mauricio Pereira (CEPAL), con los aportes del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, el Ministerio de Economía y
Finanzas Públicas, el Ministerio de Planificación del Desarrollo y el Ministerio de Relaciones Exteriores del Estado
Plurinacional de Bolivia.

<http://www.iadb.org>

Las opiniones expresadas en esta publicación, que no ha sido sometida a revisión editorial, son exclusivas de los autores
y no necesariamente reflejan el punto de vista de la CEPAL ni del BID, su Directorio Ejecutivo o los países que representa.
Los límites y los nombres que figuran en los mapas no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.
Se prohíbe el uso comercial no autorizado de los documentos del BID, y este uso podría castigarse de conformidad con
las políticas del Banco o las legislaciones aplicables.

La palabra “dólares” se refiere a dólares de los Estados Unidos, salvo indicación contraria.

Copyright ©2014 Banco Interamericano de Desarrollo y Naciones Unidas. Todos los derechos reservados. Este
documento puede reproducirse libremente para fines no comerciales.



MMA y A
Ministerio de Medio Ambiente y Agua



LA ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



NACIONES UNIDAS

CEPAL



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



BID

Coordinación General

Lykke Andersen Directora, Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo (INESAD)
Rubén Mamani Paco Director de Operaciones, Fundación Ingenieros en Acción

Colaboradores temáticos*Climatología:*

Marcos F. Andrade Laboratorio de Física de la Atmósfera, Universidad Mayor de San Andrés

Modelación económica:

Luis Carlos Jemio INESAD

Lykke Andersen INESAD

Recursos hídricos:

Miguel Angel Ontiveros Mollinedo Universidad de la Cordillera

Demanda hídrica:

Nashira Calvo Cardenas INESAD

Hidroenergía:

Carlos Gustavo Machicado INESAD

Eventos extremos, infraestructura y producción agropecuaria:

Juan C. Arenas INESAD

Sector agropecuario:

Lykke Andersen INESAD

Luis Carlos Jemio INESAD

Horacio Valencia

Biodiversidad: Banco Central de Bolivia

Lykke Andersen INESAD

Salud:

Oscar Jorge Molina Tejerina Centro de Investigaciones Económicas y Empresariales (CIEE), Universidad Privada Boliviana

Equipo del BID:

Carlos Ludeña Especialista, División de Cambio Climático y Sostenibilidad

Leonardo Sánchez Investigador, División de Cambio Climático y Sostenibilidad

Prem Jai Vidaurre Consultor, División de Cambio Climático y Sostenibilidad

Equipo de la CEPAL:

Joseluis Samaniego Director de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos (DDSAH)

Carlos de Miguel Jefe de la Unidad de Políticas para el Desarrollo Sostenible, DDSAH

Mauricio Pereira Investigador, DDSAH

Karina Martínez Investigadora, DDSAH

Comité consultivo nacional:

José Antonio Zamora Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Roberto Salvatierra Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Luis Alberto Arce Catacora Ministerio de Economía y Finanzas Públicas

Magaly Churrurrín Ministerio de Economía y Finanzas Públicas

Viviana Caro Ministerio de Planificación del Desarrollo

David Choquehuanca Céspedes Ministerio de Relaciones Exteriores

René Orellana Ministerio de Relaciones Exteriores

Diego Pacheco Ministerio de Relaciones Exteriores

Panel asesor internacional:

Daniel Bouille Experto en mitigación

Graciela Magrín Experta en adaptación

Gustavo Nagy Experto en adaptación

José Marengo Experto en Escenarios Climáticos, Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales del Brasil

Lincoln Muniz Experto en Escenarios Climáticos, Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales del Brasil

Índice

Prólogo	9
Resumen	13
I. El cambio climático en el Estado Plurinacional de Bolivia	17
A. Las condiciones climáticas nacionales	17
B. Evidencia de cambio climático en el pasado	18
C. Escenarios para el futuro de acuerdo con el modelo PRECIS	19
II. Escenarios macroeconómicos y demográficos	23
A. La situación al principio del siglo XXI	23
B. Cambios estructurales previstos	24
III. La metodología del análisis de los impactos económicos del cambio climático	25
A. Construcción del escenario base	26
B. Metodología para el análisis de los efectos del cambio climático por sector	27
1. Recursos hídricos	27
2. Daños causados por eventos extremos a la infraestructura pública	28
3. Sector agropecuario	29
4. Biodiversidad	30
5. Salud humana	31
6. Sector hidroeléctrico	31
7. Simulación de los impactos agregados y totales del cambio climático sobre la economía boliviana	32
IV. Impactos económicos y vulnerabilidades al cambio climático en sectores seleccionados	33
A. Recursos hídricos: índice de escasez	33
1. Disponibilidad de recursos hídricos a nivel provincial	34
2. Demanda de recursos hídricos a nivel de provincias	36
3. Índice de escasez de agua	37
4. El costo de la reducción de la disponibilidad de agua	39
5. El papel de la retracción de los glaciares andinos	40
B. Eventos extremos e infraestructura pública	42
1. Cambio en la frecuencia de eventos extremos	42
2. Estimación de daños económicos causados por precipitaciones extremas	46
C. Sector agropecuario	47

D.	Biodiversidad.....	51
1.	Estimación de pérdidas de biodiversidad causada por el cambio climático	51
2.	Estimación de daños económicos causados por la pérdida de biodiversidad	53
E.	Salud	53
F.	Sector energético	57
G.	Resumen de los impactos sectoriales.....	58
H.	Efectos totales.....	58
1.	Introducción de los choques	59
2.	Impactos totales: análisis de resultados	63
V.	Adaptación	69
A.	Evidencia sobre procesos de adaptación	69
B.	Propuestas de adaptación	70
1.	Provisión de agua potable y agua para riego	70
2.	Ordenamiento territorial y manejo de la migración interna	71
3.	Prevención de pérdidas debido a la variabilidad en las precipitaciones.....	72
4.	Reducción de la vulnerabilidad	72
VI.	Mitigación	73
A.	Emisiones en el escenario base	73
B.	Oportunidades para mitigación	74
1.	Mitigación para el control de la deforestación y cambio de uso del suelo	74
2.	Mitigación en los sectores de energía y transporte	76
3.	Antecedentes de los costos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector energético.....	79
VII.	Síntesis de la evaluación del cambio climático	81
A.	Análisis de los impactos económicos.....	81
B.	Análisis de las medidas de adaptación	82
C.	Análisis de las oportunidades para mitigación	82
D.	Aclaraciones y limitaciones del estudio.....	83
1.	Incertidumbres asociadas a los modelos climáticos	83
2.	Incertidumbres asociadas a la construcción del escenario económico	84
3.	Efectos y sectores no contabilizados.....	84
VIII.	Estrategias de cambio climático en el país	85
A.	El contexto internacional y la estrategia nacional	85
B.	Financiamiento de las estrategias de cambio climático	85
C.	Hacia una economía baja en carbono y un desarrollo sostenible de largo plazo	86
IX.	Conclusiones y recomendaciones de política pública.....	87
	Bibliografía.....	89
	Cuadros	
	Cuadro III.1 Clasificación del índice de escasez de agua	28
	Cuadro IV.1 Impactos del cambio climático (escenario A2) sobre la oferta neta de agua al final del siglo XXI.....	40
	Cuadro IV.2 Santa Cruz y Beni: precipitación por día y daño en infraestructura por km ² durante El Niño (2006-2007) y La Niña (2007-2008).....	43
	Cuadro IV.3 Impactos del cambio climático del escenario A2 sobre el nivel de ingresos rurales, por departamento, 2100.....	50
	Cuadro IV.4 Impactos del cambio climático sobre la riqueza absoluta de especies, departamento, bajo el escenario A2, 1990-2100,	52
	Cuadro IV.5 Impactos parciales del cambio climático bajo los escenarios A2 y B2, 2100	58

Cuadro IV.6	Impactos directos del cambio climático, 2010-2100	59
Cuadro IV.7	Valor presente neto de impactos sectoriales directos de pérdidas de producción por el cambio climático, 2010-2100.....	61
Cuadro IV.8	Valor presente neto de pérdidas del PIB debido al cambio climático, 2010-2100	63
Cuadro IV.9	Valor presente neto de pérdidas del cambio climático con respecto al valor presente neto del PIB, 2010-2100	64
Cuadro VI.1	Consumo de energía total, por recurso energético.....	75

Gráficos

Gráfico III.1	Crecimiento del PIB real, del PIB real per cápita y de la población, bajo el escenario base, 2000-2100.....	26
Gráfico IV.1	Santa Cruz: precipitación bajo el escenario A2, 1961-2100	44
Gráfico IV.2	Santa Cruz: precipitación bajo el escenario B2, 1961-2100	44
Gráfico IV.3	Beni: precipitación bajo el escenario A2, 1961-2100	45
Gráfico IV.4	Beni: precipitación bajo el escenario B2, 1961-2100.....	45
Gráfico IV.5	Proyecciones del costo en infraestructura pública para el escenario A2 y el escenario base.....	47
Gráfico IV.6	Escenario A2: cambios en productividad para los sectores directamente afectados por el cambio climático	61
Gráfico IV.7	Escenario B2: cambios en productividad para los sectores directamente afectados por el cambio climático	62
Gráfico IV.8	Tasas de depreciación del acervo de capital público en los escenarios A2 y B2	63
Gráfico IV.9	Pérdidas sectoriales en valor presente con respecto al valor presente del PIB sectorial del escenario base, escenarios A2 y B2	65
Gráfico IV.10	Pérdidas sectoriales en valor presente con respecto al valor presente del PIB nacional, escenarios A2 y B2	66
Gráfico IV.11	Variación del déficit fiscal con respecto al escenario base, escenarios A2 y B2	66
Gráfico IV.12	Variación de la deuda pública con respecto al escenario base, escenarios A2 y B2	67
Gráfico VI.1	Emisiones anuales, 2000-2100	74
Gráfico VI.2	Oferta de energía primaria, 2012.....	76

Diagramas

Diagrama III.1	Metodología general del estudio	25
----------------	---------------------------------------	----

Mapas

Mapa I.1	Elevación de la superficie en el territorio boliviano	18
Mapa I.2	Cambios en la temperatura media anual entre 1961-1990 y 2071-2100, de acuerdo con el modelo PRECIS (escenarios A2 y B2).....	20
Mapa I.3	Cambios en la precipitación media anual entre 1961-1990 y 2071-2100, de acuerdo con el modelo PRECIS (escenarios A2 y B2).....	21
Mapa IV.1	Diferencias de precipitación y evapotranspiración entre el escenario A2 y el escenario base, por provincia	34
Mapa IV.2	Oferta hídrica neta en el escenario base y en el escenario A2	35
Mapa IV.3	Cambio en la oferta hídrica neta atribuible al cambio climático (escenario A2, 2071-2100, comparado con el escenario base).....	35
Mapa IV.4	Volumen de agua disponible en el escenario base y en el escenario A2 (2071-2100), por provincia.....	36
Mapa IV.5	Demanda hídrica por provincia, 2008 y 2100	37

Mapa IV.6	Índice de escasez de agua, 2008	38
Mapa IV.7	Índice de escasez de recursos hídricos en los escenarios base y A2 por provincia, 2100	39
Mapa IV.8	Cuencas con cobertura glaciaria que están relacionadas con actividades de uso del agua para consumo humano y generación de hidroenergía en las zonas de La Paz y el Alto	41
Mapa IV.9	Daños económicos por municipio originados por eventos climáticos extremos durante El Niño y La Niña, 2006-2008	46
Mapa IV.10	Impactos brutos del cambio climático en el escenario A2 sobre ingresos rurales, por municipio.....	49
Mapa IV.11	Impacto total del cambio climático sobre la riqueza absoluta de especies bajo el escenario A2.....	52
Mapa IV.12	Vulnerabilidad al dengue en 2000 y en los escenarios base y A2 a 2100, por municipio.....	55
Mapa IV.13	Vulnerabilidad a la malaria en 2000 y en los escenarios base y A2 a 2100, por municipio.....	56

Prólogo

El cambio climático es uno de los más grandes desafíos que enfrenta la humanidad y se expresa principalmente por un aumento de la temperatura media y modificaciones en los patrones y la frecuencia de las precipitaciones. La evidencia indica que estas transformaciones climáticas son un fenómeno global que se registra, sobre todo, como consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la actividad humana.

Los cambios en el clima provocan, entre otras cosas, una reducción de la superficie cubierta por nieve y por glaciares, alteraciones en los patrones de precipitación, disminuciones en la disponibilidad de agua, modificaciones en la calidad y el uso del suelo, y una mayor frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos extremos. Los efectos de estos sucesos sobre la población, los ecosistemas y las actividades económicas son cada vez más intensos y muchas veces irreversibles.

Una de las prioridades del Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia es abordar el problema del cambio climático, con el fin de minimizar los efectos negativos, y profundizar la efectividad de las actuales medidas de adaptación y mitigación. El reto de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas y, de manera simultánea, participar en una estrategia de mitigación y adaptación, supone costos socioeconómicos de tal magnitud que convierten al cambio climático en un factor condicionante de las características y opciones de desarrollo para las próximas décadas.

Dada la dimensión del cambio climático, sus múltiples aspectos, los efectos que provoca y la cantidad de actores que involucra, es imprescindible que las medidas para adaptarse y mitigar sus impactos se adopten en virtud de una perspectiva que integre las necesidades de la sociedad con las del medio ambiente. Para ello, es necesario contar con información actualizada sobre este fenómeno y conocer sus implicaciones a nivel nacional.

El objeto de este estudio es analizar y dimensionar los impactos que podría tener el cambio climático en el Estado Plurinacional de Bolivia hacia fines de siglo. El análisis se enfoca desde una perspectiva general, mostrando la distribución esperada de los impactos climáticos en los distintos sectores y zonas geográficas y considerando la alta heterogeneidad que presenta el país. Asimismo, se proponen diversas medidas de adaptación y mitigación en los sectores analizados.

En los escenarios climáticos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se prevé para el Estado Plurinacional de Bolivia un aumento de la temperatura hacia 2100 de hasta 5 °C en el escenario A2 y en torno a 3 °C en el escenario B2. Los mayores incrementos de

la temperatura media corresponderían al sur del Altiplano y el norte amazónico para ambos escenarios. Por otra parte, la precipitación se reduciría en el Altiplano y aumentaría en las tierras bajas. Esta combinación implicaría más problemas de desertificación en el Altiplano y aumentos en la frecuencia y los costos de inundaciones en las tierras bajas del país.

Los resultados no deben considerarse como pronósticos exactos, dado que existen altos márgenes de incertidumbre en la realización de los cálculos, pero son indicativos de tendencias que permiten entender y anticiparse a las nuevas dinámicas climáticas. Estos resultados ponen de relieve la necesidad de continuar con políticas activas para reducir la vulnerabilidad del país ante posibles daños y pérdidas en la infraestructura pública, causada por fenómenos climáticos extremos, disminuciones en la productividad del sector agrícola, deforestación y efectos negativos sobre la biodiversidad, la desertificación en zonas altiplánicas y los cambios en la distribución geográfica de enfermedades causadas por vectores como la malaria y el dengue.

El Estado Plurinacional de Bolivia ha avanzado en medidas de adaptación y mitigación que permitirían reducir los impactos del cambio climático. Estas medidas se han incorporado al Plan Plurinacional de Cambio Climático, que, entre otros objetivos, apunta a promover la conservación del medio ambiente con el fin de elevar los niveles de bienestar de las generaciones actuales y futuras. Como parte de la normativa vigente, también se prevé la elaboración de la Política Plurinacional de Cambio Climático y de las Estrategias de Mitigación y Adaptación, que serán desarrolladas, administradas y ejecutadas por la Autoridad Plurinacional de la Madre Tierra. Estas actividades son financiadas por el Fondo Plurinacional de la Madre Tierra.

En los últimos años, primero a través del Programa Nacional de Cambio Climático y ahora por medio de la Autoridad Plurinacional de la Madre Tierra, se han llevado adelante diversos planes piloto para la implementación de proyectos de adaptación en poblaciones posiblemente afectadas por el retroceso de los glaciares, como el manejo integrado de la cuenca Tuni Condoriri, el manejo piloto integrado de las microcuencas afectadas por la retracción de los glaciares y la adaptación participativa para la construcción de defensivos en el río La Paz, el sector de Huayhuasi y El Palomar. La Autoridad Plurinacional de la Madre Tierra también coordina el Sistema Plurinacional de Información y Monitoreo Integral de la Madre Tierra y Cambio Climático, que considera las funciones ambientales y los sistemas de vida de la Madre Tierra, tomando en cuenta el impacto del cambio climático en los distintos sectores, sistemas productivos y territorios del país.

En el marco del Plan Nacional de Desarrollo de Bolivia, a su vez, se han ejecutado importantes programas, entre los que se incluyen: a) el programa de prevención de desastres en sectores vulnerables, b) el programa de adaptación de sistemas de subsistencia vulnerables: recursos hídricos, recursos energéticos, soberanía alimentaria, y c) programas de educación. Además, se ha elaborado el Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático, con programas sectoriales en las áreas de recursos hídricos, seguridad alimentaria, asentamientos humanos y gestión de riesgos, salud y ecosistemas. También se ha incentivado la recuperación de saberes y tecnologías ancestrales para lidiar con la falta de agua y las sequías prolongadas. Estos conocimientos ya se están poniendo en práctica en diferentes comunidades en la zona del Altiplano. Además, se considera la futura implementación de un seguro agrícola para proteger a los agricultores ante la ocurrencia de sequías y desastres.

En el estudio de la economía del cambio climático en el Estado Plurinacional de Bolivia se refleja el compromiso tanto del gobierno nacional como del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) respecto de este tema. El análisis se enmarca en el Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático, una iniciativa a escala latinoamericana y caribeña, coordinada por la CEPAL, y se mantiene dentro de los mismos lineamientos técnicos y organizativos de los demás países que integran dicho proceso.

Este estudio contó con el apoyo del Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia a través del Programa Nacional de Cambio Climático, hoy denominado Autoridad Plurinacional de la Madre Tierra,

perteneciente al Ministerio de Medio Ambiente y Agua, y con los aportes del Ministerio de Economía y Finanzas Públicas, el Ministerio de Planificación del Desarrollo y el Ministerio de Relaciones Exteriores, además de otras entidades del Estado.

El cambio climático plantea al país una serie de retos que deben resolverse con el esfuerzo de la sociedad en su conjunto. Los pueblos originarios indígenas y campesinos, con sus conocimientos ancestrales y formas de vida, pueden contribuir a la solución de este mal global. Las conclusiones revelan la importancia del tema y la necesidad imperiosa de contar con un canal de comunicación para su difusión. El Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia, el BID y la CEPAL reiteran su compromiso de seguir profundizando esta investigación y desarrollar el conocimiento necesario para que todos los actores puedan tomar decisiones informadas, tanto para contribuir a la prevención del cambio climático como para reducir sus consecuencias adversas sobre los habitantes del país.

Alicia Bárcena

Secretaria Ejecutiva
Comisión Económica para América Latina
y el Caribe (CEPAL)

Santiago Levy

Vicepresidente de Sectores y Conocimiento
Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

José Antonio Zamora

Ministro de Medio Ambiente y Agua

Viviana Caro Hinojosa

Ministra de Planificación del Desarrollo

Resumen

El cambio climático es un problema importante que debe enfrentarse con previsión e inteligencia a nivel mundial, nacional y local, y ponerse adecuadamente en perspectiva, en virtud de investigaciones y datos obtenidos de manera responsable. Los modelos climáticos revisados por el Informe Stern (2007) sugieren importantes aumentos en la temperatura a nivel mundial durante el siglo XXI y cambios mixtos en las precipitaciones. El alto nivel de incertidumbre existente no debe limitar nuestra capacidad de tomar precauciones adecuadas. Dicha incertidumbre resalta la necesidad de implementar políticas activas para reducir la vulnerabilidad ante eventos climáticos de todo tipo.

A fin de poder priorizar adecuadamente las iniciativas y políticas para reducir la vulnerabilidad a nivel nacional y local, es importante contar con un panorama general que estime la distribución más probable de los impactos climáticos entre los distintos sectores y municipios, debido a la diversidad de dichos impactos en un país tan heterogéneo como este.

En el presente informe se presenta un análisis exhaustivo de los efectos del cambio climático en el Estado Plurinacional de Bolivia y se analizan los impactos anuales desde 2000 hasta 2100 en los sectores donde se esperan repercusiones significativas. Estas estimaciones están basadas en cálculos a nivel municipal, lo que permite tomar en cuenta la gran heterogeneidad existente en el país.

En este estudio se calculan los efectos previstos sobre la estructura socioeconómica para cada año en el futuro, tomando en cuenta el aumento de la población, el crecimiento económico, la expansión de la infraestructura pública y privada, la migración rural-urbana, la transición demográfica y los aumentos en los niveles educativos, entre otros cambios que se espera que ocurran en el Estado Plurinacional de Bolivia durante las próximas décadas.

Para estimar los efectos totales y acumulados sobre la economía boliviana, se calcularon los efectos directos en cada sector, por año y municipio, y después se estimaron los efectos indirectos y dinámicos a partir de los efectos de encadenamiento con el resto de la economía. Hay que notar que una economía afectada año tras año por los efectos del cambio climático seguirá un camino de desarrollo muy diferente al de otra que solo experimenta un choque de manera aislada. Por otra parte, los efectos acumulados generarían mayores presiones en las finanzas públicas en el escenario de cambio climático, porque el Estado recibiría menos ingresos (por el menor nivel de producción), mientras que existiría una mayor necesidad de gasto público para la reconstrucción de infraestructuras afectadas por eventos climáticos y de gastos en salud pública por el aumento de las enfermedades, entre otros.

Los efectos calculados en este informe están basados en dos escenarios climáticos (A2 y B2) generados por el modelo climático PRECIS (*Providing Regional Climates for Impacts Studies*) del Centro Hadley de Inglaterra¹. Para el Estado Plurinacional de Bolivia, este modelo prevé aumentos de temperatura de 3,4 °C a 5,1 °C en 2100 en el escenario A2, además de reducciones de precipitación en el Altiplano sur y aumentos en las tierras bajas del norte. Esta combinación implica más sequías y más inundaciones, y estos cambios en los patrones de precipitación son los que causarían más problemas. Por otra parte, existen efectos positivos localizados sobre todo en el departamento de Santa Cruz, donde el modelo prevé que las áreas secas del Chaco recibirán más precipitaciones, lo que podría favorecer al sector agropecuario o a la biodiversidad en este lugar.

En el estudio se estima que las pérdidas totales asociadas al cambio climático entre 2010 y 2100 se situarían entre el 4,75% y el 2,87% del PIB para el escenario A2 y entre el 2,18% y el 1,32% del PIB para el escenario B2, con tasas de descuento de entre el 0,5% y el 4%, respectivamente. Los sectores más afectados serían el agropecuario y la industria manufacturera en forma directa e indirecta, respectivamente.

Cabe mencionar que, dada la incertidumbre sobre el clima en el futuro, otros modelos prevén distintos patrones de cambio en cuanto al nivel y la distribución de los impactos. Para las temperaturas existe coincidencia en las tendencias proyectadas entre el modelo PRECIS y los modelos climáticos. Sin embargo, para las proyecciones de las precipitaciones, y en particular para las áreas con vertientes altitudinales abruptas, la incertidumbre del modelo PRECIS es mayor. Por ello, los resultados no deben considerarse pronósticos exactos, dado que existen altos márgenes de incertidumbre en la realización de los cálculos. Pese a que constituye un apoyo importante para avanzar en los procesos de investigación sobre la temática del cambio climático, la aplicación de los resultados de este documento deberá ser tomada como referencial.

Para el presente estudio, además de las proyecciones climáticas, se analiza el desarrollo económico y social futuro del país, que muestra cómo podría evolucionar la economía durante el resto del siglo. El escenario base proyecta una evolución factible con tecnologías existentes y consistentes a nivel interno, empleando una tasa de crecimiento medio de largo plazo del PIB real de aproximadamente un 3% anual. Esto toma en cuenta, entre otros, los cambios estructurales que se esperan en términos de crecimiento poblacional, migración rural-urbana, educación y expansión de la frontera agropecuaria. Esta tasa es realista, e incluso conservadora, ya que la tasa media de crecimiento del PIB real durante los últimos 20 años fue del 4% anual.

Por otra parte, en el estudio se distingue explícitamente entre la variabilidad climática natural y aquella causada por las emisiones adicionales de gases de efecto invernadero producto de actividades humanas. Por ello, se presentan costos asociados únicamente con el cambio climático de origen antropogénico, los que serían mayores a medida que avancen los años².

En comparación con otros países de la región, que también han publicado análisis nacionales en virtud de Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe, los efectos estimados para el Estado Plurinacional de Bolivia se sitúan en la cota alta. Algunas de estas diferencias se deben a que las decisiones metodológicas varían de un estudio a otro (en el Estado Plurinacional de Bolivia, por ejemplo, se incluyen sectores que en otros países no se han considerado). Además, el uso de un modelo multisectorial de equilibrio general ha permitido la inclusión de efectos indirectos y dinámicos del cambio climático.

En virtud de la gran incertidumbre sobre el clima y la economía boliviana a finales de este siglo, en el presente estudio se recomienda concentrar la atención en problemas que ya son urgentes, y que seguramente van a ser más críticos en el futuro:

¹ Véase [en línea] <http://www.metoffice.gov.uk/precis/>.

² Los efectos de origen antropogénico son aquellos resultantes o producidos por acciones humanas (IPCC, 2001).

- Inversión en sistemas de agua potable y de agua para riego, dada la creciente escasez que se experimentará por el gran aumento de la demanda y la probable reducción en la disponibilidad de aguas superficiales debido al cambio climático. Sin embargo, hay que evitar invertir en infraestructura de riego y agua potable en áreas donde es probable que no haya suficiente agua para alimentar estos sistemas.
- El ordenamiento territorial y el manejo de la migración interna pueden ayudar a limitar el número de personas que habitan en áreas muy vulnerables a eventos climáticos adversos y pueden prevenir posibles conflictos en torno a la escasez de recursos (como agua y suelos fértiles).
- Prevención de pérdidas debido a la variabilidad en las precipitaciones. Los buenos sistemas de riego pueden aliviar el problema de las lluvias impredecibles. Además, es esencial controlar la deforestación para no exacerbar el problema de las inundaciones en las tierras bajas.
- Reducción de vulnerabilidades en general a través de educación, urbanización y desarrollo.
- Descenso de la contaminación de los recursos hídricos mediante la limpieza de aguas contaminadas por la actividad minera, los centros urbanos y las actividades industriales. Esto incrementará el agua disponible para riego y otros usos que no requieran potabilización.

Por otra parte, hay que destacar que la contribución del Estado Plurinacional de Bolivia a las emisiones de gases de efecto invernadero es mínima. Si bien en 2005 el país solo generó el 0,46% de las emisiones mundiales, o 200 millones toneladas de CO₂ equivalente, también puede contribuir a la mitigación del cambio climático. La gran mayoría de las emisiones de gases de efecto invernadero en el país proviene de los procesos de deforestación, de tal manera que durante la primera mitad del siglo XXI, los esfuerzos pueden centrarse en la reducción de la deforestación.

Actualmente, el 12% de las emisiones nacionales lo constituyen el consumo de energía y el sector de transporte, entre otros. Con el tiempo, sin embargo, esta composición cambiará y surgirán importantes oportunidades de mitigación en otros sectores. En este sentido, el país presenta importantes potencialidades —como la extracción y el uso de gas natural, la producción de baterías de litio y las posibles mejoras en materia de eficiencia energética—, que, acompañadas de los avances tecnológicos previstos, le permitirían reducir las emisiones.

I. El cambio climático en el Estado Plurinacional de Bolivia

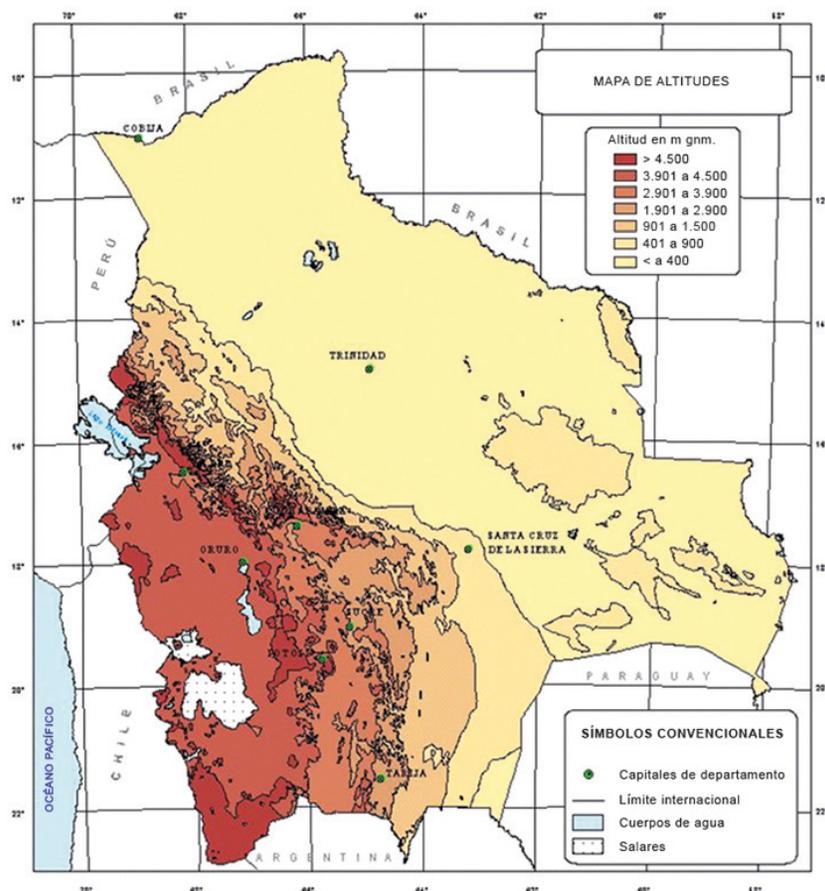
A. Las condiciones climáticas nacionales

El clima en el Estado Plurinacional de Bolivia depende mucho de la distribución altitudinal del territorio. Casi un tercio del país se localiza en regiones con altura menor de 500 metros sobre el nivel del mar, otro tercio se encuentra entre 500 y 2.500 metros sobre el nivel del mar y el resto del territorio (zona andina) está por arriba de esa altura (véase el mapa I.1). La parte baja se puede dividir en por lo menos dos regiones: una húmeda ligada al área amazónica y otra mucho más seca en la zona denominada Chaco. La región de altura intermedia se caracteriza por tener un alto gradiente altitudinal, con una alta precipitación por convección orográfica en la zona³. Esta área presenta regiones que se destacan a nivel mundial por su importante biodiversidad. A su vez, las zonas altas son regiones con bajas precipitaciones y temperaturas. En este caso, la precipitación depende mucho del transporte de humedad desde el área amazónica; llega al máximo durante la época de lluvias, por lo general entre diciembre y febrero, y se inhibe casi por completo en la época seca. El sistema de alta presión, denominado “alta boliviana”, determina en gran parte el transporte de humedad.

Eventos como El Niño y La Niña modifican drásticamente el comportamiento climático en muchas regiones del territorio boliviano. Durante El Niño, el Altiplano por lo general sufre una disminución de lluvias, en tanto que en las regiones bajas se observa un aumento relativo de la precipitación (de por sí elevada). Estas anomalías no son siempre de la misma intensidad, pues también dependen del comportamiento de otros fenómenos de escala regional, como la posición e intensidad de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur, del Anticiclón del Pacífico y el Anticiclón del Atlántico. De hecho, dado que gran parte de la humedad transportada hasta el territorio boliviano proviene de la zona amazónica, el comportamiento del jet de bajo nivel, una corriente de viento a unos 850 milibares de altura al este de los Andes, es muy importante en términos de precipitación en el área. En contraste, muy poca humedad llega al territorio boliviano proveniente del Pacífico, ya que la cordillera de los Andes actúa como una barrera debido a su altura y al gran gradiente altitudinal en ese lado del continente sudamericano.

³ La precipitación se produce cuando las masas de aire ascienden para sobrepasar una montaña y en el ascenso se alcanza el nivel de condensación (Raghunath, 2006).

Mapa I.1
Elevación de la superficie en el territorio boliviano



Fuente: Centro Digital de los Recursos Naturales de Bolivia.

B. Evidencia de cambio climático en el pasado

Históricamente, el clima del Estado Plurinacional de Bolivia ha variado por causas naturales. Estas variaciones son evidentes en los estudios de hielo de glaciares, de sedimentos de lagos, de anillos de árboles y, para los últimos 50 a 100 años, de registros directos de precipitación y temperatura⁴. A la variabilidad natural se suman las actividades humanas, que afectan el clima a nivel mundial de manera significativa a través de emisiones de gases de efecto invernadero. El impacto antropogénico empezó con el inicio de la revolución industrial hace 150 años, lo que ha hecho subir la concentración de CO₂ en la atmósfera de aproximadamente 280 ppm en la era preindustrial a 400 ppm en 2013. Dependiendo de la magnitud y el tipo de crecimiento económico mundial en el resto del siglo XXI, se espera que la concentración de CO₂ alcance entre 600 ppm y 850 ppm en 2100. En el presente estudio se analizan los efectos de este impacto antropogénico adicional durante el siglo XXI.

Con el aumento en los niveles de concentración de CO₂ en la atmósfera, se espera que se registre un calentamiento del planeta. Con la duplicación de la concentración de CO₂ se prevé un efecto directo de un incremento en la temperatura media global de 1 °C a 2 °C. Además de este efecto directo, también pueden registrarse impactos indirectos importantes como la liberación de CO₂ adicional debido al

⁴ Véanse ejemplos del Estado Plurinacional de Bolivia en Aceituno y Montecinos (1992), Garraud y Aceituno (2001), Hoffmann y otros (2003), Francou y otros (2005), Thompson y otros (2003), y Vuille y otros (2008).

calentamiento de los océanos, la mayor evapotranspiración debido al aumento de la temperatura (a su vez, el aumento de la evapotranspiración incrementa la cantidad de vapor de agua en la atmósfera), o la posibilidad de que grandes extensiones de permafrost puedan llegar a descongelarse y liberar metano⁵. Todos estos eventos contribuirían a un mayor efecto invernadero. Dependiendo de la magnitud de estos y otros efectos indirectos, la temperatura media mundial podría aumentar hasta 10 °C a finales del siglo debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (Stern, 2007).

Mientras que el efecto del CO₂ generaría mayores temperaturas en todas las regiones del mundo, los efectos sobre la precipitación son mucho más inciertos, ya que varían de un lugar a otro y según el modelo. Todos los modelos climáticos usados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático sugieren un aumento de la precipitación a nivel mundial como consecuencia del aumento de CO₂, pero no están de acuerdo respecto de dónde va a caer la precipitación adicional.

Para analizar los efectos del cambio climático en un país tan heterogéneo como el Estado Plurinacional de Bolivia se necesitan proyecciones con mejor resolución que las que brindan los modelos globales. En el presente estudio se usan proyecciones generadas por el modelo regional PRECIS del Centro Hadley en Inglaterra, que tiene una resolución de 50 x 50 km (Jones y otros, 2004; Alves, 2007), y se analizan los efectos de cambios causados por un aumento de la temperatura de entre 2,5 °C y 5 °C, tal como se presenta a continuación.

C. Escenarios para el futuro de acuerdo con el modelo PRECIS

Los dos escenarios climáticos usados en este documento fueron preparados por el Informe especial sobre situaciones hipotéticas relativas a las emisiones (IPCC, 2001). El escenario A2 contempla una población creciente y un desarrollo económico regionalizado, mientras que el escenario B2 representa un menor crecimiento poblacional y un desarrollo económico moderado. La concentración de CO₂ en la atmósfera para 2100 se espera que sea de 850 ppm bajo el escenario A2 y de 600 ppm bajo el escenario B2. La elección de estos escenarios permitió brindar un mayor abanico de posibles efectos, ya que el escenario A2 era considerado más extremo y el B2 más conservador. La elección de estos supuestos se basó en la mejor información disponible a la fecha de inicio del estudio, buscando una similitud internacional entre países y la mayor precisión que los modelos podían entregar⁶.

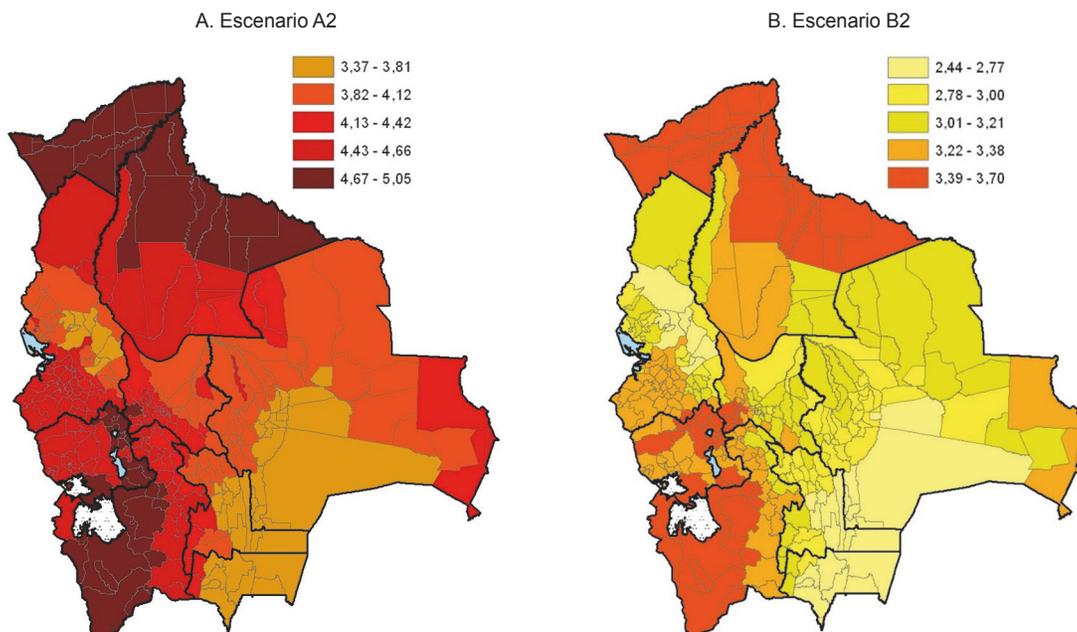
Las variables temperatura media, temperatura mínima media, temperatura máxima media y precipitación media a nivel mensual fueron analizadas para el período 2071-2100 para los escenarios climáticos A2 y B2, y comparadas con el período base 1961-1990. También se calcularon la desviación estándar de temperatura y precipitación para ver cambios en la variabilidad del clima. Los resultados obtenidos con el modelo PRECIS muestran un incremento de temperatura, tanto media como mínima y máxima, y en su variabilidad en todas las regiones del Estado Plurinacional de Bolivia en ambos escenarios. El incremento de las temperaturas medias, mínimas y máximas se situaría entre 2,4 °C y 3,7 °C para el escenario B2 y entre 3,4 °C y 5,1 °C para el escenario A2. Los mayores incrementos de la temperatura media corresponden al sur del Altiplano y el norte del Estado Plurinacional de Bolivia para ambos escenarios. Hay un aumento menor en la zona de los valles, donde existe un fuerte gradiente altitudinal. Por otra parte, en la zona del Chaco boliviano, en la frontera del Paraguay, las proyecciones muestran de manera sistemática un menor incremento de la temperatura que la media nacional (véase el mapa I.2).

⁵ El permafrost corresponde a tierras que están permanentemente congeladas, siempre que la temperatura permanezca por debajo de 0 °C durante varios años (IPCC, 2001).

⁶ Este estudio se enmarca dentro del ejercicio regional La Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe, que desde el comienzo estableció diversos supuestos y parámetros de diseño acordados con los representantes de los países de la región y el panel de expertos internacionales. Uno de los principales supuestos se relaciona con la utilización del modelo PRECIS como base para las simulaciones de cambio climático, a partir del cual se han obtenido los escenarios climáticos A2 y B2.

Los datos originales del modelo PRECIS se presentaban en grillas de 50 km por 50 km y para poder introducirlos en el análisis económico fue necesario transformarlos a nivel municipal por medio de la interpolación de datos climáticos a capitales de municipios (el nivel más detallado para el que existen datos sobre la población y la economía).

Mapa I.2
Cambios en la temperatura media anual entre 1961-1990 y 2071-2100,
de acuerdo con el modelo PRECIS (escenarios A2 y B2)
(En °C)

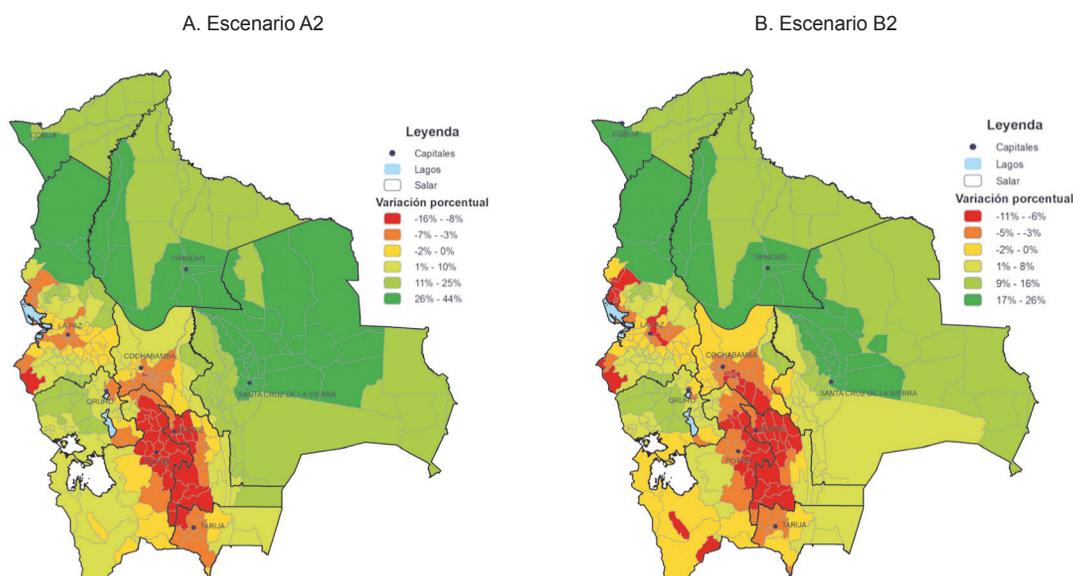


Fuente: M. Andrade, “La economía del cambio climático en Bolivia: Validación de modelos climáticos”, Monografía N° IDB-MG-184, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2014, sobre la base de corridas realizadas por el Instituto Nacional de Investigación Espacial del Brasil (INPE) con el modelo PRECIS.

La precipitación muestra un comportamiento más variable que la temperatura y en los dos escenarios estudiados se prevén aumentos en la variabilidad en todo el territorio. A su vez, la precipitación media presenta una moderada disminución en la zona altiplánica y se incrementa en las zonas bajas. En el escenario A2, por ejemplo, estas variaciones van del -16% al 44%. El máximo incremento en la precipitación se observa en la zona de mayor pendiente de terreno, principalmente en la zona este de los Andes. Esta región presenta la precipitación máxima del país y es donde el modelo sugiere un incremento considerable. La superficie afectada es mucho más grande bajo el escenario A2 que bajo el escenario B2 (véase el mapa I.3).

Es importante notar, especialmente para el caso de la precipitación, que el modelo muestra una gran variabilidad espacial en los cambios reportados. Dada la baja resolución espacial (~50 km²), regiones con diferencias de altura considerables pueden estar representadas solo por un punto en el modelo. Por esto hay que realizar una interpretación cuidadosa de los cambios a nivel municipal.

Mapa I.3
Cambios en la precipitación media anual entre 1961-1990 y 2071-2100,
de acuerdo con el modelo PRECIS (escenarios A2 y B2)
(En porcentajes)



Fuente: M. Andrade, “La economía del cambio climático en Bolivia: Validación de modelos climáticos”, Monografía N° IDB-MG-184, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2014, sobre la base de corridas realizadas por el Instituto Nacional de Investigación Espacial del Brasil (INPE) con el modelo PRECIS.

El proceso de validación del modelo reproduce razonablemente bien el clima de las regiones bajas (< 500 m), pero sobreestima, en algunos casos mucho, la precipitación en zonas más altas, y subestima temperaturas, especialmente la máxima, en la zona de los valles y los Andes. Sin embargo, el modelo es capaz de reproducir el comportamiento estacional en las variables analizadas y en muchos casos solo existe una diferencia (estadística) entre valores observados y calculados. Hay que destacar que el modelo reproduce climatológicamente las principales características de temperatura y precipitación del Estado Plurinacional de Bolivia, aunque los valores numéricos por él producidos no siempre correspondan a los observados (Andrade, 2014). Por ello, los resultados obtenidos del modelo climático pueden usarse como una base consistente para el modelo económico.

Por otra parte, muchos de los cambios esperados con el calentamiento global se relacionan con eventos extremos tales como sequías y heladas. Estos eventos no son fácilmente discernibles en valores mensuales como los usados en el presente estudio. En otros estudios se indica, por ejemplo, que el número de heladas en el altiplano boliviano tenderá a reducirse y a pesar de que el cambio en las precipitaciones medias puede ser bajo, su distribución podría cambiar en el futuro, con un alargamiento de la época seca y un acortamiento e intensificación de la época de lluvias. Es necesario analizar los cambios de intensidad y dinámicas que controlan el clima en el Estado Plurinacional de Bolivia para revisar la consistencia de los resultados obtenidos en este trabajo. Además, deben considerarse los estudios que proyectan condiciones climáticas futuras con un incremento en la frecuencia de condiciones de El Niño (Timmermann y otros, 1999).

En la sección D del capítulo VII se discuten algunas limitaciones y consideraciones en cuanto a los resultados de los modelos en general, con especial énfasis en áreas con una topografía tan complicada como la boliviana.

II. Escenarios macroeconómicos y demográficos

Para poder evaluar los efectos del cambio climático durante todo este siglo, es necesario realizar proyecciones y pronosticar tanto los cambios futuros como quiénes recibirán el impacto. Para ello se debe proyectar cuántas personas habrá en el país, su distribución geográfica y actividades hasta 2100.

Proyectar el camino de desarrollo del país hasta fin de siglo no es tarea fácil, ya que no basta con hacer extrapolaciones del pasado. Por ello, se usó un modelo multisectorial de equilibrio general para generar un escenario base para la economía boliviana durante todo el siglo XXI que sea plausible, factible y consistente. La metodología de este modelo se discute más adelante.

En este estudio se utiliza la información del censo nacional de población y vivienda de 2001 (Instituto Nacional de Estadística, 2001) como base para las proyecciones de largo plazo de la evolución de la población boliviana⁷. Aunque actualmente se cuenta con la información del censo nacional de 2012, se decidió mantener la base del análisis en 2001 debido a que era la información disponible al comienzo del estudio. Al comparar las proyecciones del censo de 2001 con lo observado durante los últimos 11 años, no se aprecian discrepancias significativas a nivel departamental ni nacional.

A. La situación al principio del siglo XXI

Las cifras del censo nacional de 2001 mostraban un país predominantemente agropecuario, con más personas trabajando en este sector que en la industria, el comercio y la minería en su conjunto. Los productores agropecuarios eran eminentemente pobres, por lo que podrían verse muy afectados por las variaciones del clima. Por este motivo, el Estado Plurinacional de Bolivia podría ser uno de los países del continente más vulnerables al cambio climático.

Las emisiones de gases de efecto invernadero del país eran muy bajas a principios de siglo. De acuerdo con el censo nacional de 2001, solamente el 64% de los hogares tenían electricidad y la mayoría solo la usaban de manera limitada (televisor y alumbrado, 54%). Solo el 28% de los hogares tenían un refrigerador y muy pocos tenían calefacción o aire acondicionado. La mitad de la energía eléctrica del país provenía de empresas hidroeléctricas, por lo que las emisiones de esta fuente eran muy limitadas (~2 millones tCO₂-eq en 2004).

⁷ Además, se utilizaron como información de base las proyecciones de población elaboradas por el Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE) - División de Población de la CEPAL (2012).

Solamente uno de cada ocho hogares tenían un vehículo automotor, lo que implica emisiones muy bajas en el sector de transporte (~4 millones tCO₂-eq en 2004). Sin embargo, esta base relativamente baja de consumo de energía daría espacio a la expansión y el crecimiento de las emisiones a medida que se extienda el uso de electrodomésticos y automóviles, como consecuencia del crecimiento económico esperado hacia 2100.

A principios de siglo, la única fuente importante de emisiones en el país era la deforestación, que en la primera década del siglo XXI alcanzó cerca de 300.000 hectáreas por año (FAO, 2010). Dado que en promedio se liberan 500 toneladas de CO₂ al convertir 1 hectárea de bosque a agricultura (Andersen y Calvo, 2009), esto se traduce en emisiones de CO₂ del orden de 150 millones toneladas por año o 15 tCO₂/habitante.

B. Cambios estructurales previstos

Aunque es difícil prever el desarrollo de la economía boliviana en el futuro, hay cuatro cambios estructurales que es necesario tomar en cuenta en el escenario base:

- i) **La transición demográfica y la migración rural-urbana** implican que las tasas de crecimiento poblacional cambian sustancialmente en el tiempo (de un 3,4% por año en 2000 a un -0,4% en 2100) y que las tasas de crecimiento de la población en edad de trabajar varían aún más por los cambios en la estructura etaria de la población (del 4% por año en 2000 al -0,6% por año en 2080). Por la migración rural-urbana, la tasa de crecimiento de la población urbana en edad de trabajar parte del 5,3% por año en 2000 (lo que exige un fuerte proceso de generación de empleo), pero va disminuyendo hasta 2100 (lo que pone un freno al futuro crecimiento del PIB, por la escasez de trabajadores). Estos cambios tienen implicaciones muy importantes para el funcionamiento de los mercados laborales y el crecimiento del PIB.
- ii) **La expansión de la frontera agrícola.** Se estima que en el escenario base, durante este siglo se deforestarán 33 millones de hectáreas de bosque boliviano para expandir la frontera agropecuaria (Andersen, 2014). Esto tendría dos consecuencias principales: a) generación de emisiones de CO₂ por deforestación y b) aumento del tamaño medio de los establecimientos agropecuarios, lo que ayudará a mejorar los ingresos rurales.
- iii) **La educación y capacitación de la población** ayuda a mejorar la productividad y, por ende, los ingresos de todos los grupos poblacionales. En promedio, el escenario base supone que cada trabajador sería nueve veces más productivo al final del siglo XXI por aumentos en educación y dotación de capital, que repercutirían directamente en el crecimiento del PIB.
- iv) **Aumentos en inversión.** El país siempre ha tenido tasas de inversión muy bajas (un promedio del 14% del PIB de los últimos 30 años), pero el escenario base supone que esta tasa aumentará paulatinamente del 19% observado en 2000 al 27% en 2100⁸. Este aumento será factible por el incremento sostenido de las tasas de inversión y de innovación tecnológica, lo que permitirá alcanzar los incrementos en la productividad. Este supuesto es necesario para poder generar un nivel de crecimiento económico comparable con el resto de la región.

Con estos cambios estructurales, el tamaño de la economía boliviana podría multiplicarse por 20 durante el siglo XXI, lo que corresponde a tasas de crecimiento real del PIB per cápita del 2,3% por año, en promedio, durante el siglo, y a tasas de crecimiento real del PIB del 3% por año⁹.

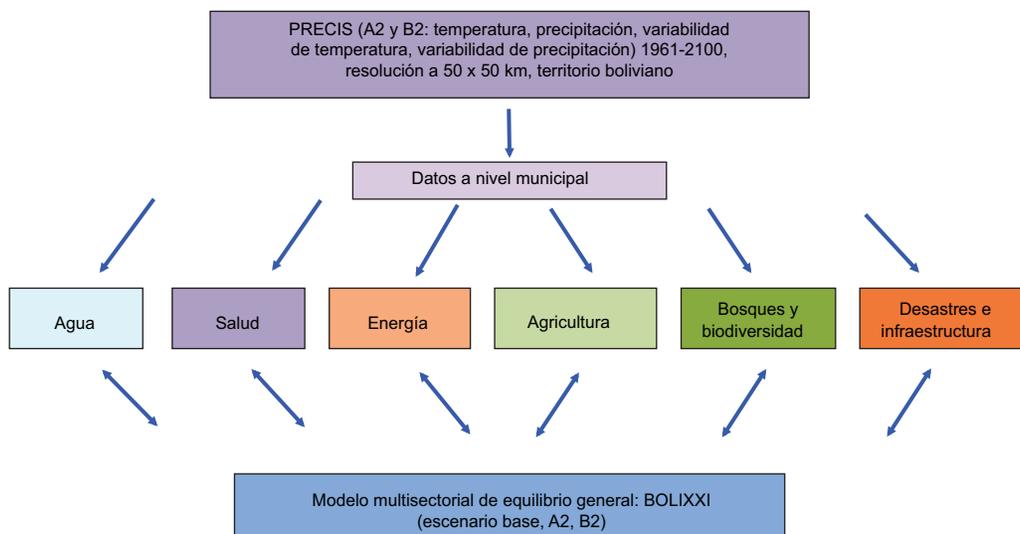
⁸ De acuerdo con el Ministerio de Economía y Finanzas Públicas (2014), la inversión total pasó de un 14% en 2005 a un 19% entre 2013 y 2014.

⁹ Véanse más detalles sobre la construcción del escenario base en Jemio y Andersen (2014).

III. La metodología del análisis de los impactos económicos del cambio climático

El país es muy heterogéneo, tanto en los aspectos climáticos y geográficos, como en materia cultural y económica. Esto se refleja en que los efectos del cambio climático también son muy diversos y mientras benefician a unos, perjudican a otros. Para captar esta heterogeneidad, en el presente estudio se incluye información a nivel provincial y municipal, ya que en estos niveles se presentan condiciones más homogéneas. Es así que en los estudios sectoriales elaborados (recursos hídricos, energía, sector agropecuario, salud, biodiversidad, infraestructura y desastres naturales) se utilizan las salidas climáticas (temperatura y precipitación) del modelo PRECIS a nivel municipal como insumo en el análisis de los impactos económicos de cada sector (véase el diagrama III.1).

Diagrama III.1
Metodología general del estudio



Fuente: Elaboración propia.

Para asegurar que el análisis sea consistente a nivel interno, se usa el modelo multisectorial de equilibrio general BOLIXXI, que garantiza que los resultados entre los distintos sectores se ajusten y que los antecedentes generados a nivel municipal sean agregables a nivel nacional. Con el modelo BOLIXXI se ha construido un escenario base que representa un desarrollo plausible y consistente de la economía boliviana desde 2000 hasta 2100. Sobre este escenario base se miden los efectos del cambio climático previstos por el modelo PRECIS en los escenarios A2 y B2.

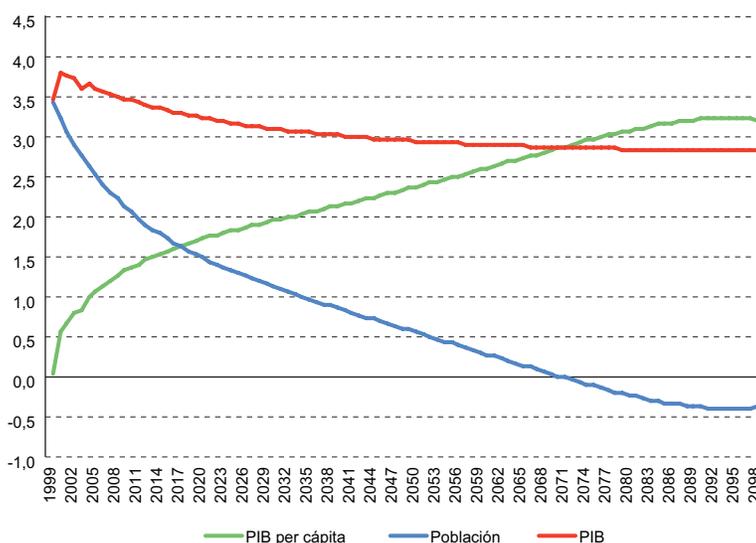
A. Construcción del escenario base

Para la construcción del escenario base se usó el modelo BOLIXXI, un modelo dinámico-recursivo, que permite evaluar los efectos de corto, mediano y largo plazo de políticas, estrategias y choques externos¹⁰. El modelo presenta la solución para un período de tiempo, tomando como base los resultados encontrados para el período anterior. De esta forma, BOLIXXI permite la acumulación de diversas formas de capital y activos en la economía, como es el caso de capital físico (público y privado), activos financieros (depósitos, cartera, reservas externas, deuda interna y externa), capital humano y demás. También se pueden realizar proyecciones para períodos muy extensos (hasta 100 años), ya que se han incorporado los principales cambios estructurales previstos para el siglo XXI (véase la sección II.B)¹¹.

En el gráfico III.1 se muestran las tasas de crecimiento del PIB real, del PIB real per cápita y de la población entre 2000 y 2100. El escenario base representa una evolución conservadora y factible, con tecnologías existentes, con una tasa de crecimiento del PIB real estable de aproximadamente un 3% por año. En promedio, esta tasa es realista, e incluso conservadora, ya que la tasa media de crecimiento del PIB real durante los últimos 20 años fue del 4% por año.

Gráfico III.1

Crecimiento del PIB real, del PIB real per cápita y de la población, bajo el escenario base, 2000-2100
(En porcentajes)



Fuente: Resultados del modelo BOLIXXI en el escenario base.

¹⁰ Véase Jemio y Andersen (2014).

¹¹ Para este escenario se asegura un equilibrio fiscal en el largo plazo y un equilibrio externo. Las otras variables exógenas se mantienen estables en el tiempo a nivel del año base (1999), excepto el precio mundial del petróleo que aumenta un 60% en comparación con el año base.

B. Metodología para el análisis de los efectos del cambio climático por sector

El estudio se ha enfocado en el análisis de seis sectores donde se espera que se registren los principales efectos del cambio climático: 1) recursos hídricos, 2) sector agropecuario, 3) biodiversidad, 4) energía, 5) salud y 6) desastres naturales e infraestructura pública. La metodología varía de un sector a otro, tratando de llegar a un nivel de análisis municipal para tomar en cuenta la heterogeneidad en las variables climáticas, sociales y económicas existentes en el país, y después agregarlas a nivel nacional¹².

En los estudios sectoriales se consideran las características geográficas para estimar las relaciones empíricas entre el clima y el desempeño productivo o económico del sector. Posteriormente, se aplican los cambios climáticos ilustrados en los mapas I.2 y I.3 para simular el comportamiento futuro del sector, tomando en cuenta el tamaño relativo de cada uno al final del siglo dado por el modelo multisectorial de equilibrio general. Por último, se introducen los choques directos encontrados para cada sector en el modelo a fin de estimar los efectos indirectos y dinámicos que las variaciones climáticas pueden tener en la economía boliviana.

1. Recursos hídricos

La metodología para estimar los impactos económicos del cambio climático en este sector siguió los siguientes pasos¹³:

- a) Estimación del uso de agua potable y para riego a nivel de provincias en el escenario base climático¹⁴. El uso de agua potable a nivel nacional se distribuye entre las provincias de acuerdo con el tamaño de la población en cada una de ellas. La información del uso de agua para riego, en cambio, proviene del Inventario Nacional de Sistemas de Riego (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de Bolivia, 2000). Sin embargo, este inventario no tiene datos para todas las provincias del país, por lo que el uso de agua para riego para el resto de las provincias se estimó mediante el uso de una metodología empleada en el informe “El Cambio Climático en Bolivia: análisis, síntesis de impactos y adaptación” (MPD/PNCC, 2007b). Esta metodología consiste en tomar como base el consumo de agua potable en las provincias y multiplicarlo por 10 para estimar el uso de agua para riego (es decir que se contempló a razón de 1 a 10 el consumo de agua potable frente al uso de agua para riego).
- b) Estimación de los cambios en la demanda de agua potable y para riego a nivel de provincias que se esperarían en el escenario base previsto por el modelo multisectorial de equilibrio general BOLIXXI.
- c) Estimación de los cambios en la oferta hídrica a nivel de provincias que se esperarían debido a los cambios en precipitación y temperatura, y considerando también los aumentos de la evapotranspiración causados por el incremento de las temperaturas¹⁵. Se utilizó la ecuación de Turc (1954) para estimar la evapotranspiración, que fue deducida de la precipitación en cada punto. A este valor se reduce un 20% adicional para cubrir la absorción natural de los suelos, con lo que se obtiene la oferta neta de agua superficial en cada punto. Esta oferta neta por punto (expresada en mm/año) se puede agregar dentro de una región dada y expresar en volumen de agua disponible por año (m³/año). En este caso, como la demanda de agua se encuentra expresada a nivel de provincias, se calcula la oferta de agua para estas unidades territoriales.

¹² En este documento se presentan los resultados en forma agregada.

¹³ Véanse más detalles en Calvo (2014).

¹⁴ No fue posible hacer el análisis a nivel municipal en este sector, ya que la demanda para riego solamente estaba disponible a nivel de provincias.

¹⁵ Véase Calvo (2014).

- d) Cálculo del índice de escasez de agua (Naciones Unidas, 1997) a nivel provincial en el escenario de referencia y en el escenario futuro con cambio climático. Este índice es la relación porcentual entre la demanda de agua (agua potable + agua para riego) y la oferta (precipitación —evapotranspiración— 20% para absorción natural). En virtud de lo indicado por Rivera y otros (2004), el índice de escasez de agua se agrupa en las categorías presentadas en el cuadro III.1.
- e) Cálculo del impacto económico de los cambios en la disponibilidad de agua para todas las provincias que tendrían un índice de escasez de agua medio o mayor en el escenario con cambio climático. Se usaron los costos máximos observados actualmente para riego y agua potable¹⁶.

Cuadro III.1
Clasificación del índice de escasez de agua

Índice de escasez (en porcentajes)	Categoría de escasez	Características
<1	No significativo	Demanda no significativa con respecto a la oferta.
1-10	Mínimo	Demanda muy baja con respecto a la oferta.
11-20	Medio	Demanda baja con respecto a la oferta.
21-50	Medio alto	Demanda apreciable.
51-100	Alto	Demanda alta con respecto a la oferta.
>100	Muy alto	La demanda no se puede cubrir con la oferta local de agua.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de H. Rivera, R. M. Ramírez y R. Vanegas, “Metodología de cálculo del Índice de Escasez”, Bogotá, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2004.

2. Daños causados por eventos extremos a la infraestructura pública

Para estimar el impacto de eventos extremos sobre la infraestructura pública, se construyó una base de datos a nivel municipal con los daños económicos por eventos extremos en 2006-2007 (El Niño) y 2007-2008 (La Niña)¹⁷. Los datos provienen de las demandas de proyectos de rehabilitación y reconstrucción para las obras afectadas por eventos climáticos extremos en los bienios 2006-2007 y 2007-2008 a cargo del Viceministerio de Inversión Pública y Financiamiento Externo¹⁸.

La información de los daños se vinculó con las anomalías de precipitación en los mismos dos períodos. Los datos sugieren que los daños graves a la infraestructura pública (camino, puentes, escuelas y otros) están relacionados con los niveles medios de precipitación diaria por encima de ciertos umbrales. Estas relaciones se usaron para simular los efectos que se pueden esperar en cada municipio para el período 2071-2100, de acuerdo con las anomalías de precipitación previstas por el modelo PRECIS. Para calcular el impacto atribuible al cambio climático, se deducen los daños estimados en 2071-2100 bajo el supuesto de que el clima se comportaría como en el período base 1961-1990.

Se usó el escenario base de BOLIXXI para conocer la cantidad de infraestructura pública expuesta a eventos extremos cada año desde 2000 hasta 2100 y estimar las pérdidas de infraestructura pública atribuibles al cambio climático cada año durante el siglo XXI.

¹⁶ Se supone que los cambios en el grado de escasez no tienen costos si la escasez es mínima; la excepción se produce cuando se trata de desastres por inundaciones, que se abordan en otro sector de este análisis (véanse la sección III.B.6 y la sección IV.B).

¹⁷ Véanse más detalles en Arenas (2014).

¹⁸ Esto se enmarca en el Plan Nacional de Rehabilitación y Reconstrucción aprobado mediante Decreto Supremo 29627 del 2 de julio de 2008.

3. Sector agropecuario

La metodología para estimar los costos del cambio climático en el sector agropecuario siguió los siguientes pasos¹⁹:

- a) Estimación del escenario base para el sector agropecuario a nivel nacional y para cada municipio. Es importante aclarar que este sector presenta varios subsectores, como agricultura tradicional, agricultura industrial, ganadería, silvicultura, caza y pesca, que son modelados de manera individual en el presente estudio. El escenario base del modelo BOLIXXI incluye información detallada para cada año entre 2000 y 2100 sobre el número de personas que trabaja en cada sector, las superficies cultivadas, la producción, el valor agregado por hectárea, el valor agregado por trabajador y los ingresos (Jemio y Andersen, 2014).
- b) Estimación de las relaciones empíricas actuales entre clima, productividad agropecuaria e ingresos rurales, usando datos de la Encuesta Continua de Hogares 2003-2004 y datos a nivel municipal de Andersen y Nina (2007)²⁰.
- c) Simulación de los efectos brutos de los cambios de temperatura y precipitación previstos por el modelo PRECIS sobre los ingresos rurales en cada municipio, usando un modelo econométrico. Este modelo explica la variación de los ingresos per cápita en municipios rurales en función de variables climáticas (temperatura media, temperatura media al cuadrado, precipitación media, precipitación media al cuadrado, variabilidad de temperatura, variabilidad de precipitación), controlando por topografía (porcentaje del municipio con pendientes mayores del 25%), aptitud de los suelos, probabilidad de inundaciones, riqueza de especies, densidad de caminos primarios y secundarios, y nivel de educación. La simulación del efecto bruto no toma en cuenta la posibilidad de cambiar cultivos, el efecto de fertilización de CO₂, ni la desertificación causada por el cambio climático en el Altiplano. Tampoco considera los desastres causados por inundaciones.
- d) Estimación de las posibles ganancias en cada municipio a través de la sustitución de cultivos por otros más apropiados para el nuevo clima. Se estimó el efecto neto de cambios en temperatura y precipitación sobre los ingresos rurales en cada municipio, tomando en cuenta la posibilidad de sustitución de cultivos. Se asume que los cultivos tienen diferentes tolerancias y necesidades de temperatura y precipitación, para lo cual el análisis considera un modelo de elección de cultivos basado en los modelos ricardianos, donde se emplean las regresiones multinomial logit para estimar el efecto de los factores climáticos y las demás variables, sobre la elección de los productores agropecuarios en cuanto a qué cultivo producir. Con esto se estiman las probabilidades de siembra para cada cultivo en todos los municipios, lo que permite observar algunas tendencias acerca de la elección de cultivos en las diferentes variedades climáticas.
- e) Estimación del impacto de la fertilización de CO₂ sobre el rendimiento de cultivos típicos del sector agrícola tradicional y moderno, así como el cálculo del impacto neto del cambio climático sobre los ingresos rurales en cada municipio, tomando en cuenta la sustitución de cultivos y el efecto de fertilización de CO₂. Las estimaciones se basan en curvas que reflejan cambios en el rendimiento por variaciones en la concentración de CO₂ (fertilización de CO₂) elaborados por Parry y otros (2004).

¹⁹ Véase más información en Andersen, Jemio y Valencia (2014).

²⁰ La Encuesta Continua de Hogares 2003-2004 es la mejor encuesta para el análisis del sector agropecuario, ya que representa adecuadamente todo el ciclo anual, mientras que las otras encuestas capturan la información entre noviembre y diciembre, lo cual no representa las actividades e ingresos agropecuarios.

- f) Estimación del impacto del aumento en eventos extremos (inundaciones) previsto por el modelo PRECIS sobre el sector agropecuario, y cálculo del impacto neto del cambio climático sobre los ingresos rurales en cada municipio, tomando en cuenta la sustitución de cultivos, el efecto de fertilización de CO₂ y el aumento en eventos extremos. Esto se hace mediante la identificación de episodios de lluvias hasta 2100 que sean de una magnitud similar o superior a las que se dieron en el fenómeno de El Niño en los últimos 30 años.
- g) Estimación del impacto económico por la pérdida de biodiversidad causado por el cambio climático sobre el sector agropecuario, y cálculo del impacto neto del cambio climático sobre los ingresos rurales en cada municipio, tomando en cuenta la sustitución de cultivos, el efecto de fertilización de CO₂, el aumento en eventos extremos y la pérdida de biodiversidad. Para esto se utiliza el cambio porcentual en la riqueza de especies causado por el cambio climático, junto con la elasticidad estimada entre riqueza de especies y consumo de los hogares. Esta estimación permite analizar cómo los cambios en la riqueza de especies podrían traducirse en variaciones de los niveles de consumo de los hogares por municipio.
- h) Estimación del impacto económico por la pérdida de disponibilidad de agua para riego en el sector agropecuario a partir del estudio de Calvo (2014) y cálculo del impacto directo total del cambio climático sobre el sector agropecuario. Se estimó la demanda hídrica futura del riego tomando datos a nivel provincial del Inventario Nacional de Sistemas de Riego y del crecimiento esperado de áreas cultivadas.

4. Biodiversidad

La metodología para estimar los costos del cambio climático sobre la biodiversidad siguió los siguientes pasos²¹:

- a) Definición del concepto de biodiversidad (riqueza absoluta de especies) y estimación de un modelo econométrico a nivel de municipios que muestra cómo la biodiversidad depende de aspectos climáticos y otros factores. La distribución de la riqueza absoluta de especies en el Estado Plurinacional de Bolivia fue un trabajo desarrollado por Nowicki y otros (2004), que ha sido usado por la Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN, 2005) y el Servicio Nacional de Áreas Protegidas del Ministerio de Medio Ambiente y Agua del Estado Plurinacional de Bolivia.
- b) Simulación del impacto bruto del cambio climático sobre la biodiversidad en cada municipio, usando los cambios en temperatura media, precipitación media, variabilidad de temperaturas y variabilidad de precipitaciones previstos por el modelo PRECIS.
- c) Estimación del impacto de la deforestación sobre la biodiversidad y del impacto neto de los cambios en precipitaciones y temperaturas sobre la biodiversidad en cada municipio, considerando el impacto previo de la deforestación.
- d) Estimación del impacto de la fertilización de CO₂ sobre la biodiversidad y estimación del impacto total sobre la biodiversidad en cada municipio, tomando en cuenta la deforestación y la fertilización de CO₂.
- e) Análisis de la relación entre biodiversidad e ingresos a nivel municipal, y simulación del impacto económico de los cambios en la biodiversidad causados por el cambio climático.

²¹ Véanse más detalles en Andersen (2014).

5. Salud humana

En el sector de salud se estiman modelos a nivel municipal para cuatro enfermedades en las que el cambio climático podría incidir: malaria, dengue, infecciones respiratorias agudas y enfermedades diarreicas agudas²².

Se usaron datos oficiales del Sistema Nacional de Información en Salud (SNIS) sobre la prevalencia de estas enfermedades. Además, en el estudio se incluyeron variables municipales analizadas en Andersen y Nina (2007) sobre el clima y otros factores que podrían afectar la prevalencia de las enfermedades (por ejemplo, el nivel de urbanización, educación e ingresos).

A partir de la información disponible sobre la prevalencia actual de las enfermedades, se categorizó a cada municipio de acuerdo con su nivel de vulnerabilidad:

- Infecciones respiratorias agudas y enfermedades diarreicas agudas: altamente vulnerable (5), muy vulnerable (4), medio vulnerable (3), poco vulnerable (2) y no vulnerable (1).
- Dengue: si hay presencia de la enfermedad en el municipio (1) y si no la hay (0).
- Malaria: altamente vulnerable (3), medio vulnerable (2), no vulnerable (1).

Sobre la base de la categorización de cada variable de salud, se estimaron modelos logit y multinomial logit para datos ordenados. La modelización incluyó a las variables climáticas como independientes: temperatura y precipitación media del municipio (y su respectiva desviación estándar), además de la temperatura y precipitación al cuadrado, las cuales pueden capturar los cambios marginales decrecientes o crecientes que puedan darse. Asimismo, se introdujeron variables de control demográficas y socioeconómicas. A partir de los modelos estimados, se calculó la distribución de probabilidades para 2100 de tres escenarios: escenario base, cambio climático escenario A2 y cambio climático escenario B2.

Los impactos económicos de los cambios en infecciones respiratorias agudas y enfermedades diarreicas agudas fueron evaluados por su incidencia en el gasto público, mientras que los impactos de los cambios en el dengue y la malaria fueron, además, evaluados por cambios en la productividad de las personas afectadas. Para calcular los impactos de la pérdida de días trabajados se tomaron en cuenta los mayores ingresos laborales previstos para los trabajadores a final del siglo, de acuerdo con el modelo BOLIXI.

6. Sector hidroeléctrico

El impacto del cambio climático en la generación de energía hidroeléctrica se mide a través del efecto esperado sobre el caudal de los ríos que suministran agua a todas las centrales hidroeléctricas del Estado Plurinacional de Bolivia²³. Cuanto menor es el volumen de precipitación y mayor es la evapotranspiración, se observa un menor caudal, lo que a su vez implicaría un descenso en la producción de energía hidroeléctrica. La metodología para proyectar la oferta varía entre centrales hidroeléctricas de pasada y de embalse.

Para las centrales de pasada se toma en cuenta la relación entre caudal y potencia a través de una fórmula estándar utilizada en el sector eléctrico, que considera factores adicionales como rendimiento, altura, densidad del agua y gravedad. Para las centrales de embalse primero se estima la relación entre caudal y volumen, y después se calcula la potencia a través de coeficientes determinados por el Comité Nacional de Despacho de Carga. En ambos casos se utiliza una relación lineal entre precipitación y caudal, y se emplean las proyecciones del modelo PRECIS para el período 2071-2100 en los escenarios A2 y B2.

El impacto económico de la reducción del agua disponible para generación de energía hidroeléctrica se estimó como el costo de generar energía a partir del uso de plantas termoeléctricas para cubrir la demanda.

²² Véanse más detalles en Molina (2014).

²³ Véanse más detalles en Machicado (2014).

7. Simulación de los impactos agregados y totales del cambio climático sobre la economía boliviana

Una vez calculados los impactos para cada sector, se introducen a través de choques en el modelo multisectorial de equilibrio general BOLIXXI para estimar los efectos indirectos y dinámicos sobre la economía boliviana. Este tipo de efectos indirectos no se pueden ver en los estudios sectoriales, ya que en ellos se analiza cada sector de manera aislada del resto de la economía y del resto del mundo. Este paso es importante porque una economía afectada año tras año por los efectos del cambio climático seguirá un camino de desarrollo muy diferente a una economía que solo experimenta un choque de manera aislada en un año.

Para la modelación de los impactos se separaron los choques de producción de los choques de infraestructura, ya que, en esencia, ambos son diferentes y afectan la economía a través de distintos mecanismos. Los choques de producción representan pérdidas del flujo de producción, como la pérdida de una cosecha debido a los efectos de las sequías o inundaciones, mientras que los choques de infraestructura son pérdidas del acervo de capital público, como carreteras, puentes y vías férreas, debido a derrumbes, inundaciones y otros desastres naturales causados por el cambio climático. Además de estos choques, en los escenarios A2 y B2 se incluyó una intervención de política de reconstrucción, consistente en un aumento de la inversión pública que compense las pérdidas de infraestructura.

Para analizar y comparar las respectivas valorizaciones monetarias de los impactos futuros del cambio climático, en esta publicación se utiliza el método del valor presente neto. En este estudio se emplearon tres tasas de descuento (del 0,5%, el 2% y el 4%) para comparar los flujos futuros. Estas tasas fueron acordadas en conjunto con los representantes de los países de la región y los miembros del panel asesor internacional que participaron en el “Estudio de la Economía del Cambio Climático en América Latina” (CEPAL 2009, 2010a y 2010b). Este procedimiento se llevó a cabo para integrar los impactos esperados del cambio climático en los sistemas, los sectores o las regiones escogidas para el estudio.

IV. Impactos económicos y vulnerabilidades al cambio climático en sectores seleccionados

Se espera que durante este siglo la economía boliviana crezca aproximadamente 20 veces, lo que estaría asociado a cambios profundos en las formas de producción y consumo. Esto significa que no se pueden evaluar posibles efectos futuros del cambio climático sobre la economía y estructura actual. Para ello es necesario primero considerar cómo se desarrollaría el país durante el resto del siglo en ausencia del cambio climático, para después evaluar cómo afectarían este desarrollo las posibles manifestaciones del cambio climático.

Estos dos pasos implican importantes niveles de incertidumbre en el análisis, principalmente porque es difícil saber cómo será la composición y el funcionamiento de la economía boliviana en los próximos 100 años, y además porque existe incertidumbre sobre cómo se comportará el clima local en el futuro. Esto significa que todo lo que se puede hacer ahora son estimaciones del orden de magnitud de los diferentes efectos, que ayudarían a identificar las principales vulnerabilidades y prioridades de atención e investigación.

En este capítulo se presentan los resultados para los seis sectores analizados, que posteriormente se sintetizan y comparan con el fin de obtener una mejor perspectiva. También se evalúan los efectos indirectos y acumulados del cambio climático a través del uso de un modelo de equilibrio general.

A. Recursos hídricos: índice de escasez

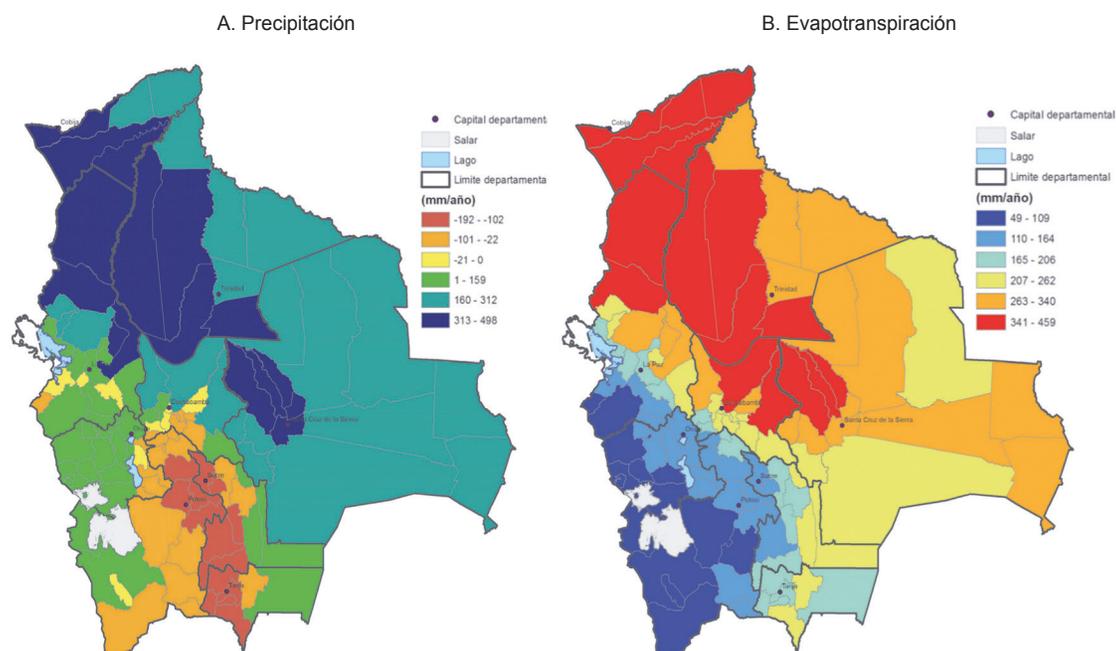
En esta sección se describen los resultados encontrados sobre la oferta hídrica y el índice de escasez a nivel de provincias²⁴. El problema de las inundaciones se aborda en la sección B de este capítulo, y el problema de la reducción de caudales y sus efectos sobre la generación de energía hidroeléctrica se discute en la sección F.

²⁴ Véanse Calvo (2014) y Ontiveros (2014).

1. Disponibilidad de recursos hídricos a nivel provincial

Se analizó la oferta hídrica bajo dos escenarios climáticos diferentes: a) escenario base para el período 1961-1990 y b) escenario con cambio climático, como fue previsto por el modelo PRECIS en el escenario A2. En el mapa IV.1.a se muestra la diferencia en precipitación media anual entre ambos escenarios y en el mapa IV.1.b se registran las diferencias que se esperarían en evapotranspiración debido a las mayores temperaturas y los diferentes niveles de precipitación.

Mapa IV.1
Diferencias de precipitación y evapotranspiración entre el escenario A2
y el escenario base, por provincia
(En mm/año)

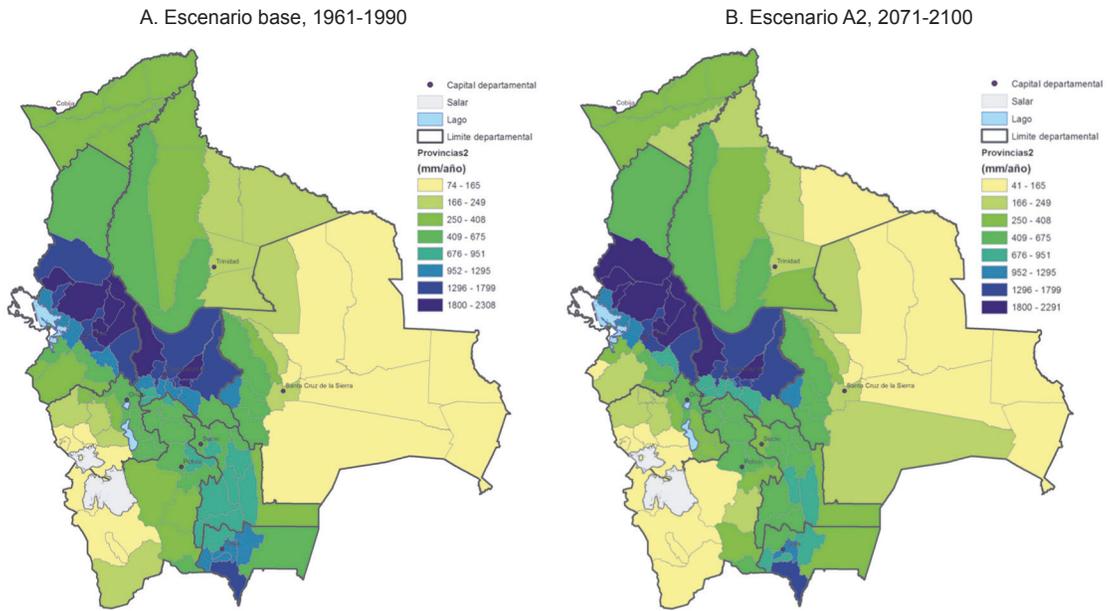


Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con las simulaciones de PRECIS, el cambio climático causaría un descenso de la precipitación en la mayor parte de las tierras altas y un aumento en las tierras bajas, mientras que la evapotranspiración aumentaría en todo el territorio (debido a las temperaturas más altas). Cuando se combina esta información, se encuentra que la oferta neta de agua se reduciría sustancialmente en las tierras altas y de manera moderada en ciertas partes de las tierras bajas (véase el mapa IV.2).

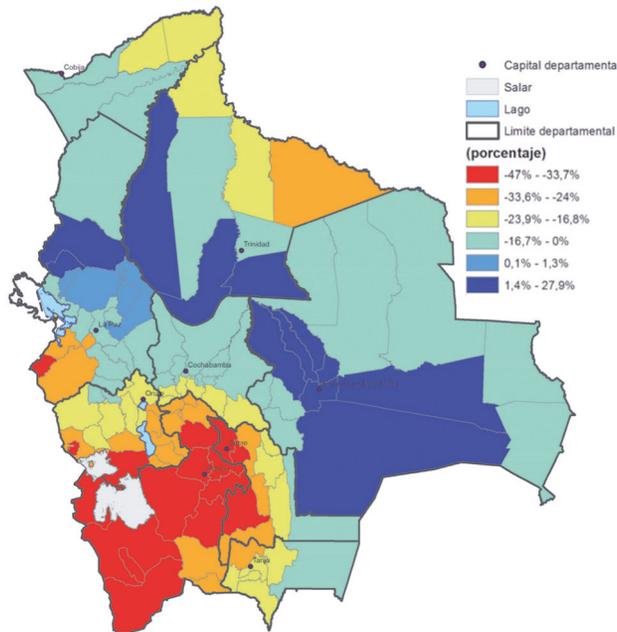
Para resaltar el impacto del cambio climático sobre la oferta hídrica neta, en el mapa IV.3 se presenta el cambio porcentual en oferta hídrica entre el escenario A2 y el escenario base. Se nota que todo el Altiplano experimentaría reducciones en la oferta hídrica debido al cambio climático y que muchas provincias registrarán drásticas reducciones (superiores al 30%). Casi todo el bosque amazónico también experimentaría reducciones, aunque menos severas. Solamente habría una franja entre el Altiplano y las tierras bajas, donde se esperarían aumentos en la disponibilidad de agua. El Chaco, que en la actualidad es relativamente seco y ya presenta sequías, es uno de los pocos lugares del territorio boliviano que podría beneficiarse del cambio climático por tener mayor disponibilidad de agua, según el modelo PRECIS.

Mapa IV.2
Oferta hídrica neta en el escenario base y en el escenario A2
(En mm/año)



Fuente: Elaboración propia.

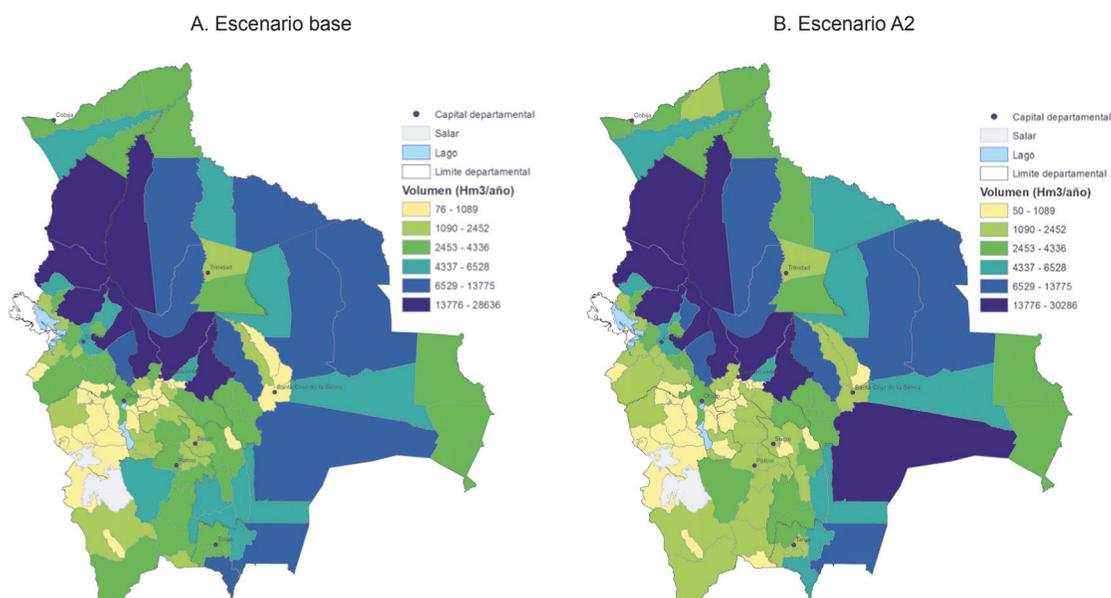
Mapa IV.3
Cambio en la oferta hídrica neta atribuible al cambio climático (escenario A2, 2071-2100, comparado con el escenario base)
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

La oferta hídrica neta expresada en mm/año se puede convertir a volúmenes de agua multiplicando por el área de cada provincia. Por ejemplo, en una provincia donde la disponibilidad neta media es de 1.000 mm/año y el tamaño de la provincia es de 1.000 km², la oferta hídrica sería de 1.000 millones de m³ = 1.000 Hm³. Estos volúmenes aparecen representados en el mapa IV.4 en los escenarios base y A2, para su posterior comparación con la demanda de agua en cada provincia.

Mapa IV.4
Volumen de agua disponible en el escenario base y en el escenario A2 (2071-2100), por provincia
(En Hm³/año)



Fuente: Elaboración propia.

2. Demanda de recursos hídricos a nivel de provincias

La demanda de recursos hídricos representa el volumen de agua utilizado por las actividades socioeconómicas en un espacio y tiempo determinado, y corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales. Para el estudio de la demanda hídrica se tomaron en cuenta dos fuentes de información: el consumo de agua potable (doméstico e industrial) y la demanda de agua para riego²⁵. Se usa la demanda actual como punto de partida y los cambios proyectados en el escenario de referencia para estimar la demanda al final del siglo.

La demanda de agua potable al final del siglo será aproximadamente 13 veces mayor que al inicio del siglo. Entre los factores que explicarían este incremento se encuentran el crecimiento de la población, el aumento en la cobertura de agua potable y el incremento de la demanda de los hogares. En áreas de crecimiento poblacional más alto, la demanda crecerá más rápidamente que este promedio²⁶. De acuerdo con estas proyecciones, el consumo de agua potable se incrementaría de 137 millones de m³ en 2008 a 1.802 millones de m³ en 2100. Esto significa un consumo medio per cápita de 14 m³ para 2008 y de 110 m³ para 2100.

²⁵ Véanse más detalles sobre demanda de riego en el Inventario Nacional de Sistemas de Riego (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural del Estado Plurinacional de Bolivia, 2000).

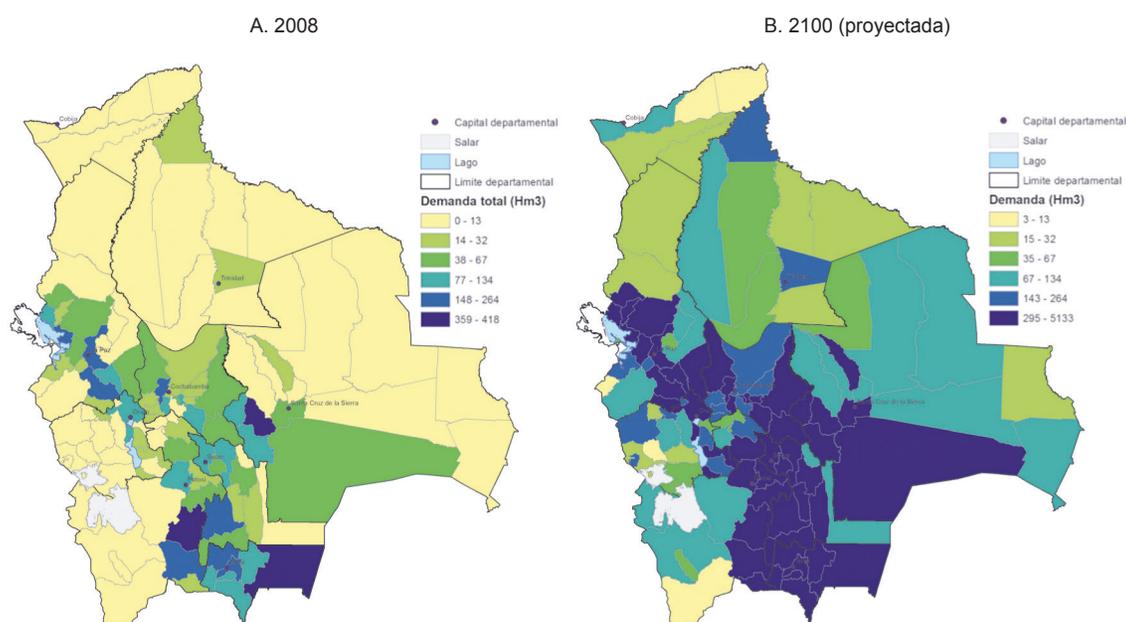
²⁶ Véase Jemio y Andersen (2014).

De acuerdo con Falkenmark y Widstrand (1992), la necesidad mínima para uso doméstico sería de 100 litros por día, lo que equivale a 36 m³ al año por persona. Es decir que en el país actualmente solo se usa un tercio del mínimo recomendado, pero al final del siglo se estima que se usará tres veces más del mínimo. La cifra de consumo de 110 m³ por persona al final del siglo es plausible, ya que si se compara con otros países resulta menor. En la actualidad, por ejemplo, en el Ecuador se usan 153 m³ y en los Estados Unidos se utilizan 193 m³ (Pacific Institute, 2010).

Actualmente, el uso de agua para riego es alrededor de 40 veces mayor que el uso de agua potable. Se espera que la demanda hídrica para la producción agrícola aumente 12 veces y pase de 5,4 Hm³ a 66 Hm³ en 2100, lo que correspondería a la expansión del área cultivada prevista en el escenario base²⁷.

Por tanto, a nivel nacional, la demanda total se incrementaría de 5.500 Hm³ a 68.000 Hm³ en 2100. En el mapa IV.5 se muestra la demanda a nivel provincial en 2008 y 2100, suponiendo que la demanda de agua para riego aumenta de la misma manera en todas provincias.

Mapa IV.5
Demanda hídrica por provincia, 2008 y 2100
(En Hm³)



Fuente: Elaboración propia.

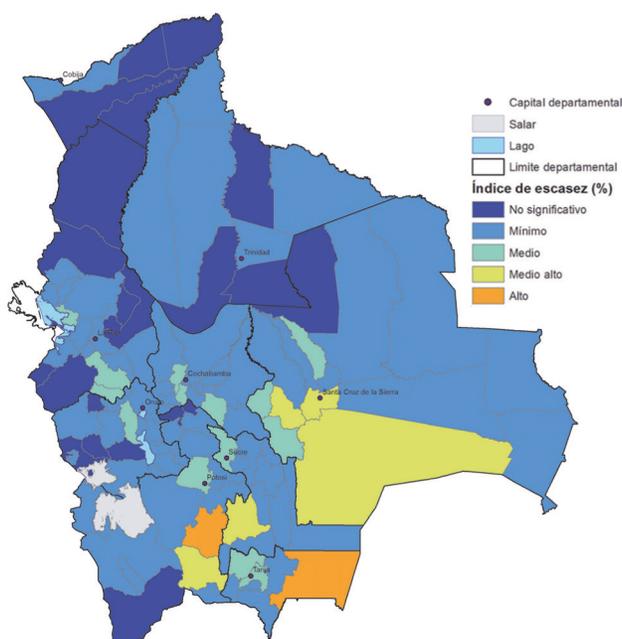
3. Índice de escasez de agua

Una vez estimadas la demanda y la oferta de agua, se puede calcular un índice de escasez que compara la demanda con la oferta disponible en cada provincia. En el mapa IV.6 se muestra el índice de escasez a principios del siglo XX y se puede apreciar que, en general, en casi todo el país hay abundante agua superficial disponible en comparación con la demanda. A nivel del país, la oferta neta anual asciende a 84.000 Hm³, mientras que la demanda de agua potable y para riego es de solo 5.500 Hm³, es decir casi un 7% de la oferta neta. En las provincias de color azul, el uso de agua superficial disponible es inferior

²⁷ Ibid.

al 1%, mientras que en las provincias de color celeste se usa entre un 1% y un 10%, lo que significa que la escasez es mínima. Las provincias de color celeste claro tienen una escasez media, con un uso de entre el 10% y el 20% del agua disponible. Hay cinco provincias con un índice de escasez medio alto, donde se usa hasta un 50% del agua disponible, y dos provincias con escasez alta, ya que se usa más del 50% de la oferta neta.

Mapa IV.6
Índice de escasez de agua, 2008

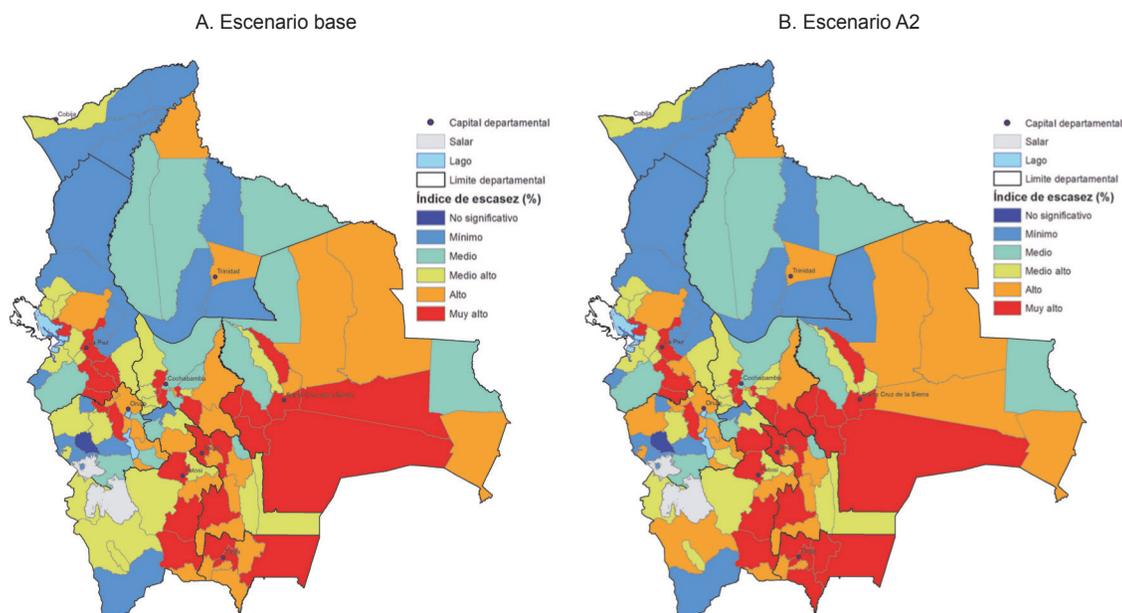


Fuente: Elaboración propia.

La situación cambiará sustancialmente en el transcurso de este siglo, ya que, como se ha mencionado, se prevé que la demanda se multiplique aproximadamente por 12. La demanda a nivel nacional a final del siglo ascendería a 68.000 Hm³ (un 97% para riego), mientras que, en el caso de cambio climático escenario A2, la oferta neta se reduciría de 84.000 Hm³ a 77.000 Hm³. Es decir que, a nivel nacional, el grado de escasez sería alto. Sin embargo, debido a que la oferta y la demanda no se distribuyen homogéneamente en el país, algunas provincias tendrían niveles de escasez muy altos (por encima del 100%), lo que haría necesario usar reservas subterráneas o restringir el uso de agua.

En el mapa IV.7 se muestra el índice de escasez de agua a nivel provincial a finales del siglo para los escenarios base y A2. Se nota un gran cambio entre la situación al inicio del siglo (mapa IV.6) y la situación al final del siglo (mapa IV.7).

Existen cuatro provincias en donde el índice de escasez de agua podría aumentar al final del siglo y pasar de alto a muy alto debido al cambio climático (Arce y O'Connor en Tarija, Chayanta en Potosí, y Campero en Cochabamba). Además, hay tres provincias donde el índice de escasez podría aumentar de medio alto a alto (Mejillones y Sahama en Oruro y Nor Lípez en Potosí) y otras tres donde cambiaría de medio a medio alto (Arze y Tiraque en Cochabamba y Pagador en Oruro). También existen provincias donde el análisis sugiere que el cambio climático podría reducir el índice de escasez de manera importante: en Warnes de Santa Cruz y Barro de Oruro pasaría de alto a medio alto, y en Loayza de La Paz y Chiquitos de Santa Cruz cambiaría de muy alto a alto.

Mapa IV.7**Índice de escasez de recursos hídricos en los escenarios base y A2 por provincia, 2100**

Fuente: Elaboración propia.

4. El costo de la reducción de la disponibilidad de agua

El Estado Plurinacional de Bolivia es uno de los países con mayor disponibilidad de agua dulce por persona y sus habitantes consideran que el agua es un derecho universal y comunal, que debe distribuirse equitativamente, de acuerdo con las necesidades, tradiciones y prácticas comunitarias donde se respeta el ciclo del agua²⁸. En general, los regantes no pagan por el agua, aunque en ciertos lugares hacen contribuciones mensuales o anuales para mantener los sistemas de riego y asegurar la oferta de este recurso (Asquith y Vargas, 2007).

Para acomodar la creciente demanda de agua, sin embargo, es necesario invertir en represas, canales de riego, bombas y otros instrumentos, lo que implica un costo.

De acuerdo con el estudio “Tratos justos para servicios hidrológicos en Bolivia” de Asquith y Vargas (2007), el agua superficial de irrigación tiene un costo real de entre 0,005 dólares/m³ y 0,03 dólares/m³, mientras que el agua subterránea para irrigación cuesta entre 0,01 dólares/m³ y 0,05 dólares/m³. Considerando la gran escasez registrada hacia finales del siglo, sería razonable asumir el costo más alto dentro de estos rangos, es decir un costo de 0,05 dólares/m³.

El agua potable tiene un costo mayor porque está tratada y su transporte requiere una infraestructura más cara. Las tarifas que actualmente se pagan en el país oscilan entre 0,27 dólares/m³ y 2,13 dólares/m³, dependiendo del lugar y el tipo de consumidor (Ledezma, s.f.). Los pequeños consumidores domésticos (entre 20 m³ y 60 m³ por año) normalmente disfrutan de precios subsidiados. El precio referencial utilizado al final del siglo es de 2,13 dólares/m³, lo que corresponde al precio que actualmente pagan los consumidores comerciales en La Paz.

²⁸ Según Nation Master, en lo que respecta a disponibilidad de agua dulce, el Estado Plurinacional de Bolivia se ubica en el número 9 entre 141 países. Véase [en línea] http://www.nationmaster.com/graph/env_wat_ava-environment-water-availability.

A nivel nacional, el cambio climático de acuerdo con el escenario A2 reduciría la oferta de agua en 7.165 Hm³. Sin embargo, no se deben contabilizar las reducciones en provincias con abundante agua, ya que esto no representaría un problema. Tampoco se deben contabilizar los aumentos en provincias con abundante agua, porque no implicaría un beneficio.

Si solamente contabilizamos las reducciones y los aumentos en provincias con un nivel de escasez medio o mayor, llegaríamos a una reducción relevante de 6.089 Hm³. Aproximadamente el 2,7% de esta cifra correspondería a la reducción en agua potable, mientras que el 97,3% sería una reducción en agua de riego. Entonces, el costo total de la reducción de agua disponible en 2100 sería igual a $0,027 \times 6.089 \text{Hm}^3 \times \$2,13/\text{m}^3 + 0,973 \times 6.089 \text{Hm}^3 \times \$0,05/\text{m}^3 = 646$ millones de dólares de 2007, lo que equivaldría al 0,31% del PBI de 2100.

Como se puede ver en el cuadro IV.1, los departamentos de Chuquisaca, Cochabamba, Potosí y Tarija sufrirían por los cambios en la disponibilidad de agua debido al cambio climático (escenario A2), mientras que Santa Cruz podría beneficiarse debido a la mayor disponibilidad de agua.

Cuadro IV.1
Impactos del cambio climático (escenario A2) sobre la oferta neta de agua al final del siglo XXI

Departamento	Cambio en oferta neta (en Hm ³)	Costo del cambio en oferta hídrica (en millones de dólares de 2007)	Costo del cambio en oferta hídrica (en porcentajes del PIB nacional de 2100)
Beni	-15	2	0,00
Chuquisaca	-1 640	174	0,08
Cochabamba	-1 588	169	0,08
La Paz	-5	0	0,00
Oruro	-448	48	0,02
Pando	-27	3	0,00
Potosí	-1 661	176	0,08
Santa Cruz	425	-45	-0,02
Tarija	-1 129	120	0,06
Total nacional	-6 089	646	0,31

Fuente: Elaboración propia.

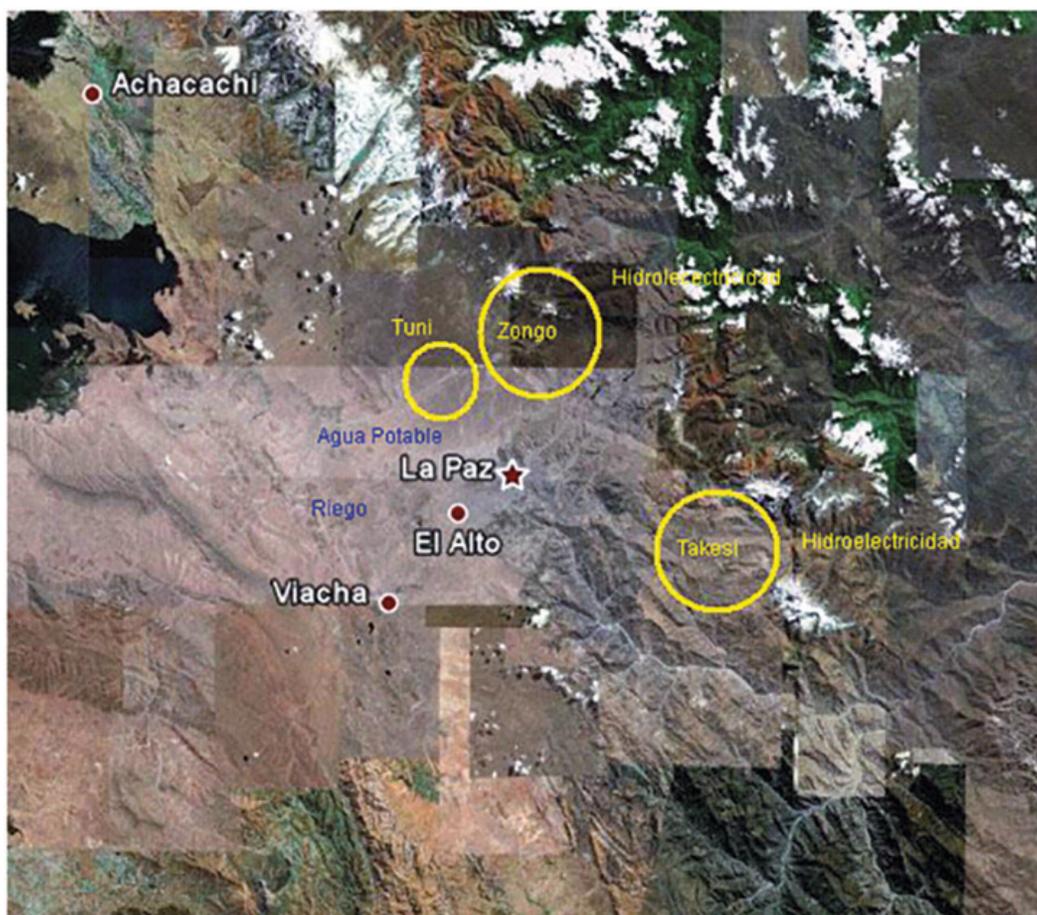
Nota: Solamente se contabilizan las provincias con un índice de escasez superior al 20%.

5. El papel de la retracción de los glaciares andinos

De los tres principales centros urbanos del país (La Paz-El Alto, Cochabamba y Santa Cruz), las poblaciones de La Paz y El Alto son las de mayor vulnerabilidad respecto de la provisión de agua potable relacionada con las cuencas de glaciares tropicales. La provisión de agua potable para el área metropolitana depende del derretimiento de los glaciares de la cordillera de los Andes en la época seca (junio-julio-agosto) y de las precipitaciones en la época de lluvias (diciembre-enero-febrero). La cuenca del Tuní Condoriri, por ejemplo, tiene embalses para la colección de agua y su provisión para la ciudad de El Alto y las laderas de La Paz. La influencia de las cuencas de glaciares también es importante para la producción de hidroenergía, como en el caso de las cuencas de los ríos Zongo y Takesi (véase el mapa IV.8).

Mapa IV.8

Cuencas con cobertura glaciar que están relacionadas con actividades de uso del agua para consumo humano y generación de hidroenergía en las zonas de La Paz y el Alto



Fuente: Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés (IHH-UMSA).

En la actualidad, el derretimiento de los glaciares en los Andes tropicales podría aliviar temporalmente la posible escasez de agua en ciertos lugares, sobre todo en El Alto y La Paz. Sin embargo, esto no es una fuente sostenible de agua, ya que en algún momento se terminará. En estudios realizados sobre algunos de los glaciares cerca de La Paz, por ejemplo, se indica que los glaciares de las cuencas del Tuni y el Condoriri desaparecerían en 2025 y 2045, respectivamente (MPD/PNCC, 2008).

Se han hecho estimaciones del aporte de los glaciares y las precipitaciones estacionales a la provisión de agua para el área metropolitana de La Paz y El Alto. Durante la época seca o de invierno (junio-julio-agosto) y en los años con condiciones El Niño, es cuando se presenta el mayor aporte. Según las estimaciones de los modelos hidrológicos, los glaciares contribuyen con hasta un 30% en la cuenca Tuni Condoriri (Ramírez, 2008), aunque no se generaliza este dato a otras cuencas. Por lo tanto, se puede presumir que las precipitaciones estacionales contribuyen en mayor medida a la provisión de agua a la urbe La Paz–El Alto.

Para 2100, en el escenario A2 (modelo RCM-A2 PRECIS) no se espera un aumento ni una reducción estadísticamente significativa de las precipitaciones en el lado este de la cordillera de los Andes tropicales para alturas superiores a los 2.500 metros sobre el nivel del mar (Urrutia y Vuille, 2009). Esto implicaría que, sin el aporte de los glaciares, se tendería a una eventual reducción en la provisión de agua.

Según las proyecciones del modelo PRECIS para el presente estudio, en 2100 (escenario A2) podría darse una reducción de la precipitación en las zonas altas del Estado Plurinacional de Bolivia, junto con un aumento en la precipitación en la parte este de la cordillera de los Andes. De alguna manera, estos cambios están enmascarados por la variabilidad “natural” de la precipitación, la resolución del modelo (50x50km) y la gran diferencia en topografía en un área pequeña donde se encuentran los glaciares.

Se recomienda realizar estudios con modelos regionales climáticos de mayor resolución espacial, sobre todo para poder estimar mejor los microclimas existentes en las zonas altas. También es necesario un control extensivo de las variables climáticas para contar con información más confiable para la planificación de futuros proyectos hidrológicos e hidroeléctricos.

Aún queda mucho por hacer en términos de estudios científicos y mediciones, de tal manera que se pueda tener una mayor certidumbre del aporte de los glaciares en la provisión de agua en comparación con las precipitaciones estacionales. Sin embargo, según el análisis de cambios en la oferta y demanda de agua realizado en las anteriores secciones, resulta evidente la necesidad de conocer con mayor detalle las fuentes de agua subterránea, ya que la disponibilidad de agua superficial y de agua de los glaciares va a disminuir, mientras que la demanda va a aumentar.

El análisis detallado de los cambios en la oferta y demanda indica que en muchas provincias simplemente no habrá agua suficiente para expandir el área cultivada y regada a la tasa media esperada para el país. Será necesario adoptar ciertas medidas de adaptación en respuesta a estos cambios, como la migración hacia las tierras bajas, sin escasez de agua, para lograr el aumento en producción agropecuaria que el escenario base sugiere. Desafortunadamente, como se verá en la sección B, muchas de las provincias sin escasez de agua tendrían el problema opuesto de inundaciones cada vez más frecuentes.

B. Eventos extremos e infraestructura pública

La destrucción de infraestructura pública (carreteras, instalaciones de abastecimiento de agua, centros educativos, servicios de salud y demás) causada por eventos climáticos extremos (sobre todo inundaciones) implica la pérdida de inversiones, con impactos permanentes y acumulativos sobre la economía del país. En esta sección se utiliza información climática y económica sobre los eventos extremos de 2006-2007 (El Niño) y 2007-2008 (La Niña) para proyectar los posibles daños a la infraestructura pública hacia finales del siglo bajo los escenarios climáticos A2 y B2²⁹.

1. Cambio en la frecuencia de eventos extremos

Los departamentos de Santa Cruz y Beni concentraron más de dos tercios de los daños económicos sufridos durante los eventos de El Niño y La Niña en el período 2006-2008. Por este motivo, se analizó en detalle el clima y el impacto en estos dos departamentos, mientras que los daños en los otros siete departamentos se estimaron como un simple *mark-up*³⁰.

En el cuadro IV.2 se muestran los daños en infraestructura asociados con Santa Cruz y Beni. En Santa Cruz, la precipitación media entre 1961 y 1990 durante la época lluviosa fue de 4,5 mm/día, mientras que durante el episodio de El Niño subió a 4,8 mm/día y durante el episodio de La Niña se elevó a 6,2 mm/día. Los daños fueron más importantes durante La Niña, por las mayores cantidades de agua. En el caso de Beni, la precipitación media corresponde a 7,4 mm/día, y esta aumentó a 8,4 mm/día y 8,9 mm/día en promedio con El Niño y La Niña, respectivamente.

²⁹ Véase Arenas (2014).

³⁰ Mientras que se estimaron en detalle los grandes efectos en Beni y Santa Cruz, se extrapolaron los daños de esos efectos para el resto de los departamentos. Específicamente, se asumió que esos daños aumentaron en la misma proporción que los daños en Beni y Santa Cruz.

Cuadro IV.2
Santa Cruz y Beni: precipitación por día y daño en infraestructura por km²
durante El Niño (2006-2007) y La Niña (2007-2008)

Evento	Santa Cruz			Beni		
	Precipitación (en mm/día)	Daños (en millones de dólares)	Daños (en dólares por km ²)	Precipitación (en mm/día)	Daños (en millones de dólares)	Daños (en dólares por km ²)
El Niño	4,8	45,4	123	8,4	150,9	707
La Niña	6,2	96,7	261	8,9	110,8	519
Normal	4,5			7,4		

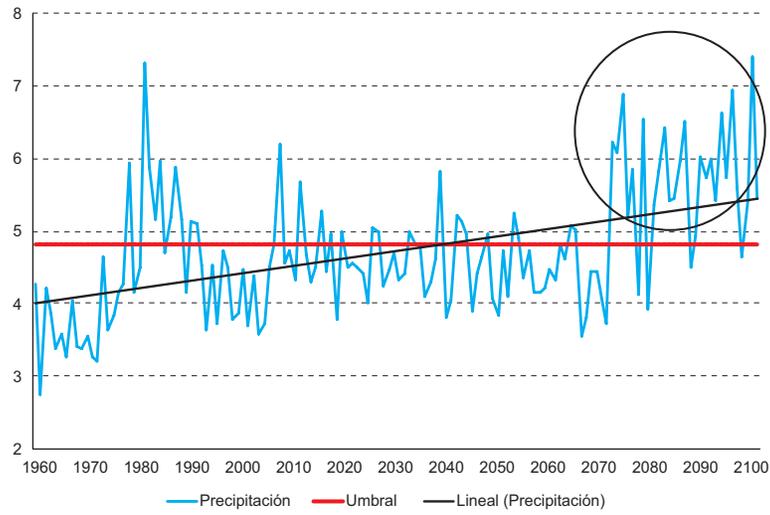
Fuente: Elaboración propia.

En el caso de Santa Cruz, se estableció un umbral de precipitaciones de 4,8 mm/día para definir eventos extremos (correspondiente a la precipitación media diaria durante el evento El Niño de 2006-2007). Al analizar los datos históricos de precipitación, y el escenario futuro de acuerdo con el modelo PRECIS (A2), se estima un aumento considerable en la frecuencia de eventos extremos (véase el gráfico IV.1). Durante el período de referencia (1961-1990), solamente se observaron 6 años con precipitación por encima del umbral, mientras que en el período futuro (2071-2100), los escenarios de PRECIS sugieren que en 25 de los 30 años se superaría el valor umbral³¹. Para el escenario más moderado, B2 (véase el gráfico IV.2), la frecuencia de precipitaciones extremas en Santa Cruz se presentaría en 15 de los 30 años.

Para el departamento de Beni se hizo un análisis similar y se estableció el umbral de 8,4 mm/día correspondiente al nivel de precipitación media en Beni durante el evento El Niño de 2006-2007 (véase el cuadro IV.2). En este departamento también se espera un aumento en la frecuencia de precipitaciones extremas de 6 a 25 cada 30 años para el escenario A2, y hasta 17 cada 30 años para el escenario B2 (véanse los gráficos IV.3 y IV.4).

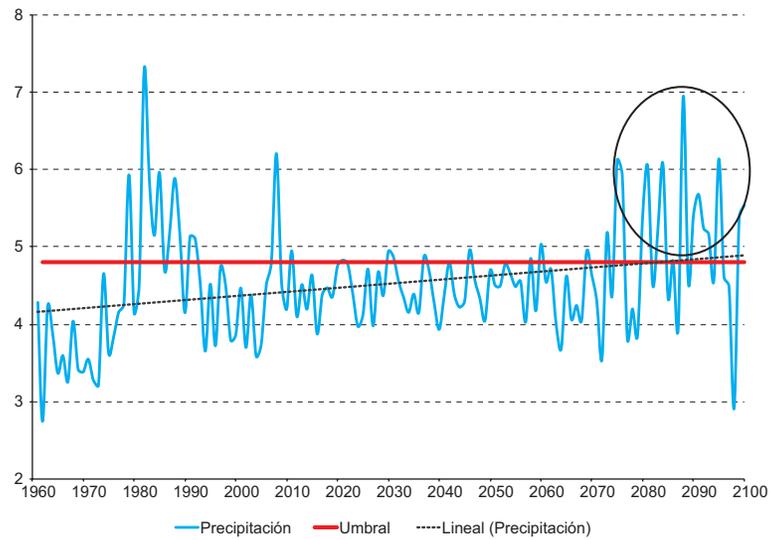
³¹ Es importante señalar que los resultados sobre eventos extremos dependen mucho de los escenarios climáticos de PRECIS y que el uso de otros modelos podría dar resultados diferentes. Sin embargo, la mayoría de los modelos climáticos prevén un aumento en la frecuencia de precipitaciones extremas como consecuencia del calentamiento global. También es importante aclarar que los datos de PRECIS para el período intermedio (1991-2070) son interpolados y, por ese motivo, no se pueden usar para el análisis de eventos extremos.

Gráfico IV.1
Santa Cruz: precipitación bajo el escenario A2, 1961-2100
(En mm/día)



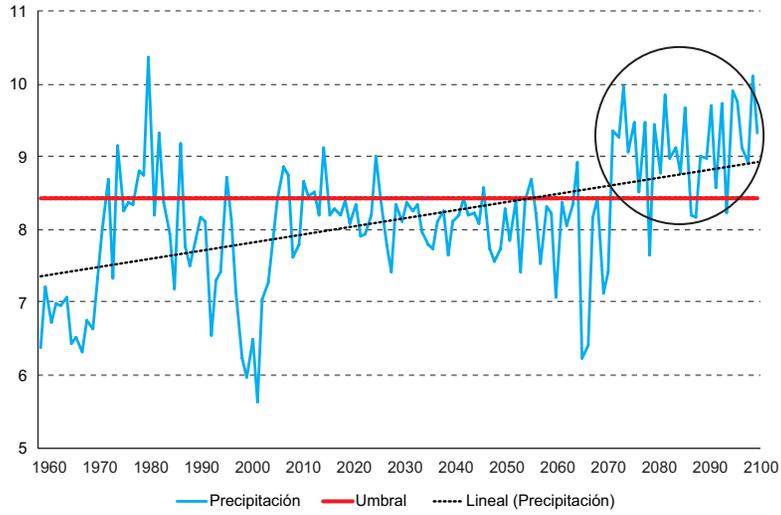
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV.2
Santa Cruz: precipitación bajo el escenario B2, 1961-2100
(En mm/día)



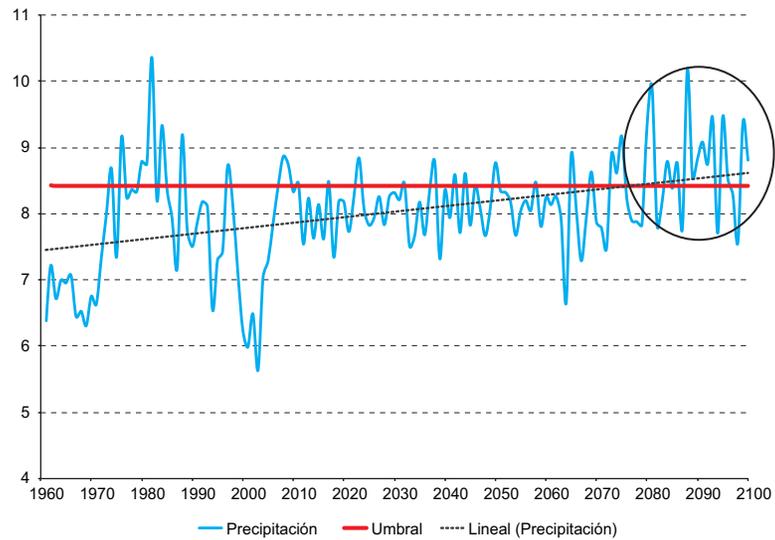
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV.3
Beni: precipitación bajo el escenario A2, 1961-2100
(En mm/día)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV.4
Beni: precipitación bajo el escenario B2, 1961-2100
(En mm/día)

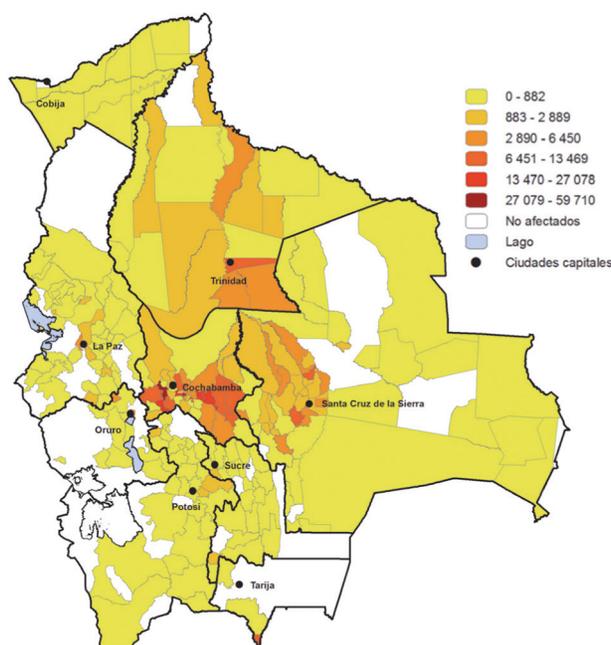


Fuente: Elaboración propia.

2. Estimación de daños económicos causados por precipitaciones extremas

En el mapa IV.9 se muestra la distribución de daños experimentados en el período 2006-2008 con un evento El Niño seguido de un evento La Niña. El 80% de estos daños, causados por exceso de precipitaciones, corresponden a la infraestructura de caminos. En las proyecciones se supone que esta distribución espacial de los daños se mantiene en el futuro, pero que los efectos aumentarían junto con las ampliaciones de la infraestructura física previstas en la senda base a través del modelo multisectorial de equilibrio general BOLIXXI.

Mapa IV.9
Daños económicos por municipio originados por eventos climáticos extremos durante El Niño y La Niña, 2006-2008
(En dólares de 2007 por km²)



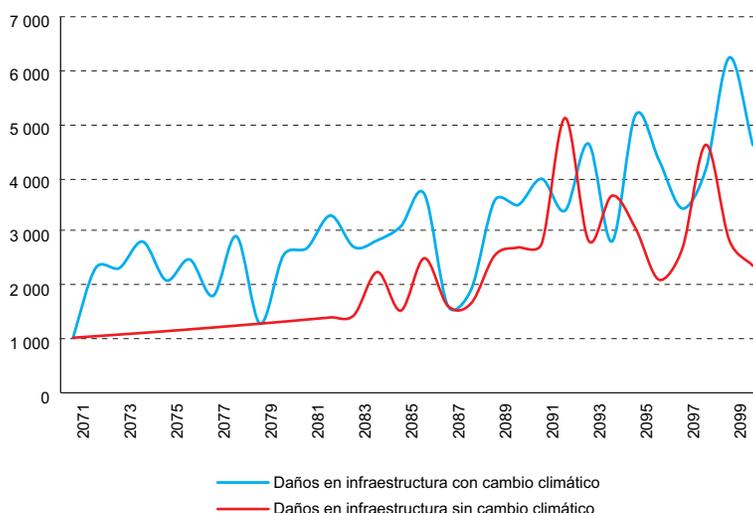
Fuente: Elaboración propia.

El Estado Plurinacional de Bolivia se ve con frecuencia afectado por desastres naturales, principalmente por inundaciones. No obstante, a excepción de los años en que El Niño causó fuertes pérdidas económicas, no se cuenta con evaluaciones de costos relacionados con desastres naturales. En virtud de estas limitaciones, se asume que las pérdidas en años “normales” corresponden a la mitad de las registradas en el período 2006-2008, como porcentaje del PIB de cada año. Este es un supuesto simple, pero el objetivo es no sobrevalorar ni subvalorar el impacto de los desastres en el país, por lo que los porcentajes estimados del PIB afectado por pérdidas en la infraestructura se aplican a la serie de datos estimados del PIB nacional entre 2071 y 2100.

Por ejemplo, durante los eventos de El Niño y La Niña entre 2006 y 2008, los daños económicos en la infraestructura de Santa Cruz representaron, en promedio, el 0,52% del PIB nacional. Por este motivo, se consideró el supuesto de que en una situación “habitual” de desastres naturales (inundaciones), el PIB se verá afectado en la mitad del valor observado, es decir un 0,26% cada año. De modo similar, durante los eventos de El Niño y La Niña registrados entre 2006 y 2008, los daños económicos a la infraestructura en Beni representaron el 0,98% del PIB nacional, por lo que se supone que en años en que la precipitación no sobrepase el umbral, las pérdidas serían del 0,49% del PIB nacional.

En el gráfico IV.5 se muestran las proyecciones del costo que ocasionarían las precipitaciones en la infraestructura pública. Se presenta la evolución del costo con cambio climático del período 2071-2100 en el escenario A2 junto con la evolución del costo que se registraría si el clima mantuviera el patrón del período base (1961-1990) hasta finales del siglo XXI.

Gráfico IV.5
Proyecciones del costo en infraestructura pública para el escenario A2 y el escenario base
(En millones de dólares de 2007)



Fuente: Elaboración propia.

La estimación del daño, por efectos del cambio climático en el escenario A2, indica que los daños en la infraestructura pública tendrían un costo económico de 93.000 millones de dólares desde 2071 hasta 2100, lo que representa un promedio anual de 3.113 millones de dólares. La diferencia anual media entre los valores de la situación con cambio climático y la estimación base es de 1.019 millones de dólares. Esto significa que, en promedio, entre 2071 y 2100, el costo incremental por efecto del cambio climático cada año en el sector de infraestructura pública será de 1.019 millones de dólares, lo que correspondería al 13,1% del PIB de 2100.

En el escenario B2 los eventos extremos son menos frecuentes, por lo que los daños estimados llegarían a un promedio de 404 millones de dólares por año, lo que correspondería al 5,2% del PIB de 2100.

Cabe aclarar que los costos de pérdida de infraestructura pública estimados no incluyen costos indirectos relacionados con los efectos productivos de la menor infraestructura pública disponible. Esta cuantificación queda como una tarea pendiente para los futuros estudios en esta área.

C. Sector agropecuario

En los últimos años, el Estado Plurinacional de Bolivia ha iniciado un cambio de los patrones productivos relacionados con el desarrollo agropecuario y los recursos ambientales. Este cambio incluye el avance de la economía rural a través de la transformación de la estructura de tenencia y acceso a la tierra y los bosques, la eliminación del latifundio, la reversión de tierras ociosas y la distribución de la tierra a campesinos, indígenas u otros pueblos originarios mediante asentamientos comunitarios (Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y Medio Ambiente del Estado Plurinacional de Bolivia, 2008). Con

estas políticas, se espera que la frontera agropecuaria siga expandiéndose y que la producción y el empleo agropecuario continúen siendo importantes para el país durante el resto del siglo.

Desde el punto de vista del cambio climático, este afectaría al sector agropecuario por seis vías principales, que varían de un municipio a otro, de acuerdo con las condiciones geofísicas de cada uno: i) por cambios en temperatura, ii) por cambios en precipitación, iii) por cambios en la concentración de CO₂ en el aire, iv) por eventos extremos, v) por procesos de desertificación y vi) por cambios en disponibilidad de agua para riego.

Como se describió anteriormente, el modelo climático PRECIS prevé aumentos en las temperaturas de entre 3,4 °C y 5,1 °C en el escenario A2 y de entre 2,4 °C y 3,7 °C en el escenario B2, con mayores aumentos en el norte del país y en el Altiplano. El impacto de estos aumentos dependerá del punto de partida, ya que los lugares actualmente fríos (el Altiplano) se beneficiarían de las mayores temperaturas, mientras que las áreas actualmente calientes (las tierras bajas) se verían perjudicadas por temperaturas aún más altas.

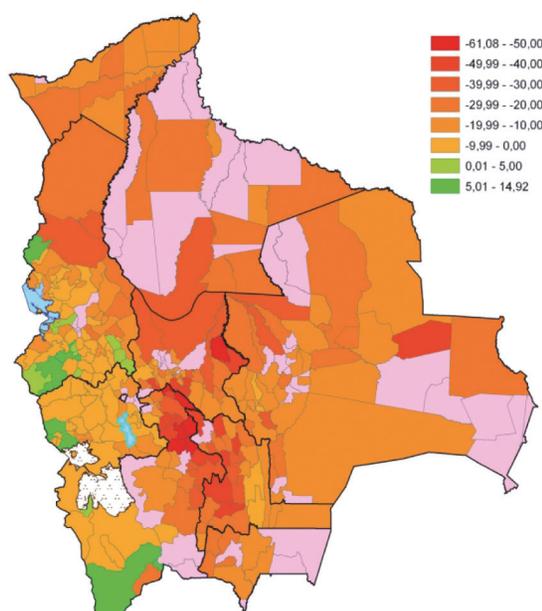
En este sector, los efectos de los cambios en precipitación suelen ser mayores que los asociados a variaciones en la temperatura. En parte, esto se debe a que los rendimientos agropecuarios son más sensibles a variaciones en precipitación, y también a que los cambios en precipitación previstos por el modelo PRECIS son mucho mayores que los cambios en temperatura. Para el escenario A2, el modelo prevé un leve aumento en precipitación a nivel nacional (6%), pero con grandes diferencias entre un municipio y otro (variaciones de entre el -16% y el 44%). Para el escenario B2 se prevé un leve aumento a nivel nacional (3%), con variaciones de entre el -11% y el 26%, dependiendo del municipio. En general, de acuerdo con el modelo PRECIS, las áreas más secas se volverán aún más secas y las áreas más húmedas recibirán aún más precipitación, aunque con excepciones importantes. En Oruro y Santa Cruz, por ejemplo, se prevén aumentos en precipitación en áreas que hoy son relativamente secas. Dado que los niveles de precipitación serían más extremos, esto causaría daños a las actividades agropecuarias en la mayoría de los municipios (excepto en Oruro y Santa Cruz).

A nivel nacional, el impacto bruto de los cambios en temperatura y precipitación previstos por el modelo PRECIS causaría una reducción media del 20% de los ingresos rurales. De acuerdo con estas estimaciones, el departamento de Potosí (el más pobre del país) sería el más afectado, con una disminución del 34% de los ingresos rurales. En el mapa IV.10 se pueden observar los efectos brutos del cambio climático estimados en el escenario A2 para 2100. Casi todas las regiones registrarían efectos negativos, con excepción de algunos municipios al noreste de Oruro que se beneficiarían por mayores temperaturas y precipitaciones.

Sin embargo, este impacto bruto solamente representa el primer paso en la estimación total del impacto del cambio climático sobre el sector agropecuario. Existen otros efectos, positivos y negativos, que se deben tomar en cuenta. Primero, el cálculo bruto supone que los agricultores siguen sembrando los mismos cultivos durante todo el siglo, aunque el clima cambie. En realidad habrá oportunidades de mejorar los ingresos en ciertos lugares si se cambia gradualmente a cultivos más apropiados para las nuevas condiciones del clima. Esto es especialmente evidente en el caso del Altiplano, donde el aumento de la temperatura permitirá la introducción de cultivos más rentables que en la actualidad solo crecen en áreas más cálidas. Por otra parte, en las áreas que hoy son muy calurosas, como Pando, no habrá posibilidades de sustitución, ya que simplemente no existen cultivos apropiados para climas aún más calientes³².

³² Es posible que se desarrollen nuevas especies de cultivos adaptadas a las nuevas condiciones de clima más cálido, pero en este estudio solo se calcula el efecto de sustitución entre los cultivos que actualmente se usan en el Estado Plurinacional de Bolivia. El desarrollo de nuevas especies requeriría de inversiones sustanciales, que deberían ser consideradas como parte del costo de adaptación (no incluido en esta fase del estudio).

Mapa IV.10
Impactos brutos del cambio climático en el escenario A2 sobre ingresos rurales, por municipio
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Por tratarse de un análisis sobre ingresos rurales, no se incluyen los municipios que tienen la mayor parte de la población en áreas urbanas (identificados por el color rosado en el mapa).

Al tomar en cuenta la posibilidad de sustitución de cultivos, el impacto de los cambios en el clima en los ingresos rurales se reduce al -5% en promedio a nivel nacional, y los departamentos más afectados son Beni y Pando, con un efecto neto del -20% y del -18%, respectivamente (véase el cuadro IV.3).

Otro efecto a tomar en cuenta es la fertilización de CO₂, que tiende a acelerar el crecimiento de las plantas y a hacerlas más resistentes al estrés hídrico. Para 2100 se esperan aumentos en el rendimiento por fertilización de CO₂ de entre el 20% y el 27% en el escenario A2 y de entre el 12% y el 18% en el escenario B2³³. Estos aumentos son suficientes para convertir las pérdidas por cambios en temperatura y precipitación en efectos netos positivos totales en un número importante de municipios. Las excepciones son los municipios de Beni y Pando, donde el efecto negativo de los grandes aumentos en temperatura predomina, y Chuquisaca, donde predominan las grandes reducciones en precipitación (véase el cuadro IV.3).

El sector agropecuario se ve afectado no solo por el clima medio, sino también por los eventos extremos. Por este motivo, para calcular las pérdidas en este sector causadas por eventos extremos a nivel municipal, se aplicó la misma metodología usada en el estudio de desastres e infraestructura pública. Se identificó un aumento sustancial en la frecuencia de eventos extremos, lo que afectaría especialmente los departamentos de Beni y Santa Cruz, propensos a grandes pérdidas por inundaciones. Como se presenta en el cuadro IV.3, a nivel nacional, estas pérdidas reducirían los ingresos rurales en un 11%, llegando al -57% en Beni y al -23% en Santa Cruz.

³³ Véase una revisión más exhaustiva del efecto de fertilización de CO₂ sobre los rendimientos de los diferentes cultivos en Andersen, Jemio y Valencia (2014).

En el análisis sectorial del efecto del cambio climático sobre la biodiversidad en el Estado Plurinacional de Bolivia (véase la sección IV.D), se observa un notorio proceso de desertificación en el Altiplano causado por este fenómeno climático³⁴. Esto tendría un importante impacto en el sector ganadero del Altiplano, ya que el pastoreo de camélidos y ovejas depende totalmente de la disponibilidad de pastos naturales. Además, en el análisis de los efectos sobre la biodiversidad se estima una reducción en la riqueza de especies del 41% en el departamento de Potosí y del 16% en Oruro, lo que afecta negativamente al sector al existir una relación entre los cambios en riqueza de especies y los cambios en los niveles de consumo de los hogares. Por tanto, se estima que el costo de la pérdida en biodiversidad por cambio climático sería del 0,9% del PIB en 2100, lo que equivale al 8,2% de los ingresos rurales a nivel nacional, pero llegaría al -44% en el departamento de Potosí y al -26% en el departamento de Chuquisaca.

Finalmente, se calculó también el costo para el sector agropecuario por la pérdida en disponibilidad de agua para riego causada por el cambio climático. Este efecto es particularmente relevante en Potosí y Chuquisaca, dos departamentos que verían reducidos sus ingresos rurales entre un 13% y un 15% adicionales.

Si se suman todos los efectos del cambio climático sobre el sector agropecuario, se obtiene un impacto directo total bajo el escenario A2 en 2100 que implica una reducción en ingresos rurales del 16% como promedio nacional, pero con grandes diferencias entre una región y otra. Potosí y Chuquisaca, los dos departamentos actualmente más pobres del país, registrarían reducciones del 56% y del 51%, respectivamente, mientras que el departamento de La Paz podría alcanzar aumentos del 2% en los ingresos rurales debido al conjunto de efectos positivos y negativos del cambio climático (véase el cuadro IV.3).

Cuadro IV.3
Impactos del cambio climático del escenario A2 sobre el nivel de ingresos rurales,
por departamento, 2100
(En porcentajes)

Departamento	Efecto bruto de cambios en temperatura y precipitación	Efecto neto considerando la posibilidad de sustitución de cultivos	Efecto neto considerando la fertilización de CO ₂	Efecto neto considerando el impacto de desastres naturales	Efecto neto considerando los cambios en la biodiversidad	Efecto final considerando los efectos de pérdida de riego
Beni	-26	-20	-7	-64	-61	-61
Chuquisaca	-28	-13	-3	-13	-39	-51
Cochabamba	-26	-10	+1	-5	-16	-20
La Paz	-8	+2	+12	+10	+2	+2
Oruro	-7	+10	+19	+19	+2	-2
Pando	-20	-18	-5	-5	-4	-5
Potosí	-34	-7	+3	+3	-41	-56
Santa Cruz	-18	-7	+5	-18	-8	-7
Tarija	-20	-8	+2	+2	-7	-17
Promedio nacional	-20	-5	+6	-5	-13	-16

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Promedios ponderados por la población municipal de 2001. Solo se incluyen municipios hasta un 50% rurales.

³⁴ Véase Andersen (2014).

D. Biodiversidad

Pocos países tienen más diversidad de ecosistemas que el Estado Plurinacional de Bolivia, cuyas características geográficas varían en altura (entre 200 y 6.000 metros sobre el nivel del mar), precipitación (entre 200 y 5.000 mm/año), temperatura (glacial hasta tropical) y topografía. Esta diversidad de ecosistemas hace que este sea considerado uno de los países megadiversos. Los principales tipos de ecosistemas son representados en 22 áreas protegidas nacionales, a las que se suman numerosas áreas protegidas departamentales o locales. Juntas, las áreas protegidas cubren alrededor del 16% del territorio nacional. Sin embargo, esta diversidad se encuentra amenazada, dentro y fuera de las áreas protegidas, por el cambio climático y por la deforestación causada por la expansión de la frontera agropecuaria.

1. Estimación de pérdidas de biodiversidad causada por el cambio climático

En este estudio se ha aprovechado la gran variación espacial en clima y biodiversidad del territorio boliviano para estimar la relación entre los factores climáticos (temperatura media, precipitación media, variabilidad de temperaturas, variabilidad de precipitación) y el grado de biodiversidad. La modelación se ha hecho a nivel municipal para poder tomar en cuenta la gran heterogeneidad geográfica del país³⁵.

Se demostró empíricamente que existe un efecto positivo de la fertilización de CO₂ sobre el nivel de biodiversidad, por lo que dicho efecto se ha incluido en la estimación del efecto total del cambio climático sobre la biodiversidad. En el estudio también se toma en cuenta que en ciertas partes del país se espera un gran proceso de deforestación, cuyos efectos sobre la biodiversidad son más inmediatos que los provocados por los procesos a más largo plazo del cambio climático.

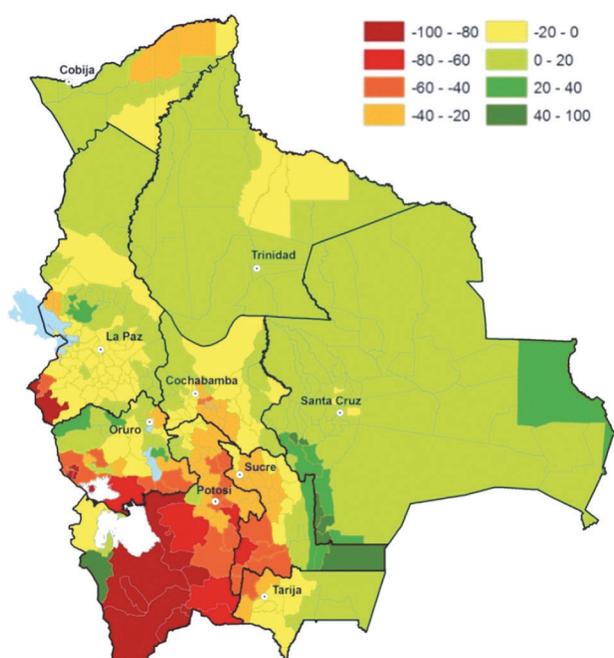
Los resultados muestran que el cambio climático previsto por el modelo PRECIS hasta 2100 podría tener importantes efectos en la biodiversidad en grandes partes del territorio boliviano, en especial en el Altiplano, donde se prevé un acelerado proceso de desertificación debido, principalmente, al aumento en la variabilidad de temperaturas (véase el mapa IV.11).

Más que el cambio climático, la mayor amenaza para la biodiversidad en las tierras bajas es el avance de la frontera agrícola. En el escenario base se puede prever la deforestación de 33 millones hectáreas de bosque durante el siglo XXI, lo que solo dejaría una cuarta parte del bosque original. En las áreas secas del Chaco y de la Chiquitanía, en el departamento de Santa Cruz, habría un aumento en la precipitación, lo que podría tener un efecto positivo sobre la biodiversidad solamente si no se convierten las áreas a campos agropecuarios.

De acuerdo con las estimaciones realizadas entre los procesos de deforestación y de cambio climático, el nivel medio nacional de biodiversidad, medido como cambio porcentual en el número de especies por pixel, se reduciría al 46% del nivel original. Esto no significa que el 54% de las especies se extingan, ya que es probable que muchas de ellas sobrevivan en áreas protegidas, sino que, en promedio, habrá sustancialmente menos diversidad de especies en un área determinada. En las tierras bajas, la deforestación sería la responsable de la mayor parte de la pérdida de biodiversidad, mientras que en las tierras altas, donde no hay una deforestación significativa, el cambio climático ocasionaría el total de las reducciones previstas (véase el cuadro IV.4).

³⁵ Véase Andersen (2014).

Mapa IV.11
Impacto total del cambio climático sobre la riqueza absoluta de especies bajo el escenario A2
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

Nota: En las estimaciones se toman en cuenta la deforestación y la fertilización de CO₂.

Cuadro IV.4
Impactos del cambio climático sobre la riqueza absoluta de especies,
por departamento, bajo el escenario A2, 1990-2100,

Departamento	Riqueza inicial de especies (2000)	Impacto de la deforestación	Impacto del cambio climático (con deforestación previa y fertilización de CO ₂)	Cambio total en la riqueza de especies
	<i>(número de especies por píxel)</i>	<i>(cambio porcentual en el número de especies por píxel)</i>		
Beni	1 252	-65	+2	-63
Chuquisaca	460	-11	-7	-18
Cochabamba	943	-38	-1	-39
La Paz	1 110	-42	+1	-41
Oruro	113	0	-16	-16
Pando	1 290	-43	-6	-49
Potosí	93	0	-41	-41
Santa Cruz	751	-72	+9	-62
Tarija	473	-42	+2	-40
Promedio nacional	814	-57	+2	-54

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Promedios ponderados por el área de cada municipio.

2. Estimación de daños económicos causados por la pérdida de biodiversidad

Mientras que la gran biodiversidad y los ecosistemas únicos del país tienen un valor de existencia incuantificable, también brindan beneficios tangibles a las comunidades locales, que se pueden cuantificar en forma preliminar. En muchas áreas rurales, la caza y la pesca realizan una importante contribución al consumo de alimentos, y la población usa la vegetación local como material de construcción, así como para elaborar medicinas y alimentos, realizar ceremonias y demás (Boom, 1987). Al analizar los datos de la Encuesta de Hogares 2003-2004, se calculó la contribución de la biodiversidad al consumo de los hogares y se encontró que el acceso a carne de monte, pesca, leña, madera y frutas aumenta, en promedio, el consumo total de las familias que recolectan estos productos en un 19,8%, un porcentaje que es aún mayor en el área rural, con un incremento del 21,5%, y que llega al 36,7% en el caso de las familias ubicadas en la región de los Llanos (Machicado y otros, 2010). Por este motivo, una reducción de la biodiversidad podría tener un efecto adverso directo en el consumo de los habitantes.

La biodiversidad también juega un papel importante en la agricultura a través de los servicios de polinización, el control natural de plagas y la contribución a la variación genética de los cultivos. En oposición, puede tener efectos negativos sobre los cultivos, como en el caso de plagas y enfermedades. Además, puede ser importante para las actividades económicas, como pastoreo, ecoturismo, recolección de castañas y otras. Finalmente, la biodiversidad brinda servicios ambientales importantes, como la regulación del suministro de agua, el control de erosión, la revitalización de suelos y otros, que pueden tener un efecto indirecto sobre el nivel de ingresos y consumo de los habitantes.

En virtud de la relación positiva entre el nivel de biodiversidad y el nivel de ingresos per cápita a nivel municipal, se estimaron las pérdidas económicas que las poblaciones locales sufrirían por los cambios en biodiversidad atribuible al cambio climático. Los cálculos indican pérdidas en el orden del 0,9% del PIB en 2100 a nivel nacional, pero de hasta un 4,8% en el departamento de Potosí y un 2,8% en el departamento de Chuquisaca, los dos departamentos más pobres del país.

Aunque los costos del impacto del cambio climático sobre la biodiversidad son sustanciales, son de segundo orden en comparación con el impacto directo de la deforestación. Por eso, si el objetivo es conservar la biodiversidad —y los beneficios que esta brinda al Estado Plurinacional de Bolivia y el mundo—, sería esencial implementar políticas e incentivos para frenar la deforestación excesiva. La reducción de la deforestación también es la principal vía para que el país contribuya a la mitigación del cambio climático, ya que más del 70% de sus emisiones de CO₂ provienen del proceso de deforestación.

E. Salud

Como se describió en la sección III.B.5, los impactos en la salud se evaluaron a través de cuatro tipos de enfermedades, cuya prevalencia está relacionada con variables climáticas: la malaria, el dengue, las infecciones respiratorias agudas y las enfermedades diarreicas agudas. En la metodología se considera el cálculo de los costos relacionados con la pérdida de días laborales por el aumento de malaria y dengue, y los costos relacionados con el gasto público en el tratamiento de los enfermos adicionales³⁶.

Los mayores efectos estimados se encuentran asociados a las pérdidas de productividad humana por cambios en la probabilidad de contraer dengue o malaria. Los cálculos indican que las pérdidas atribuibles a la productividad en el caso de la malaria y del dengue estarían en el orden del 0,007% del PIB y del 0,015% del PIB, respectivamente, para 2100 a nivel nacional. Los costos totales fueron relativamente moderados por cuatro razones: i) el cambio climático tiende a desplazar las enfermedades en vez de expandir su rango (el desplazamiento hacia regiones más altas es particularmente evidente en

³⁶ Véanse más detalles sobre el estudio de cambio climático y salud en Molina (2014).

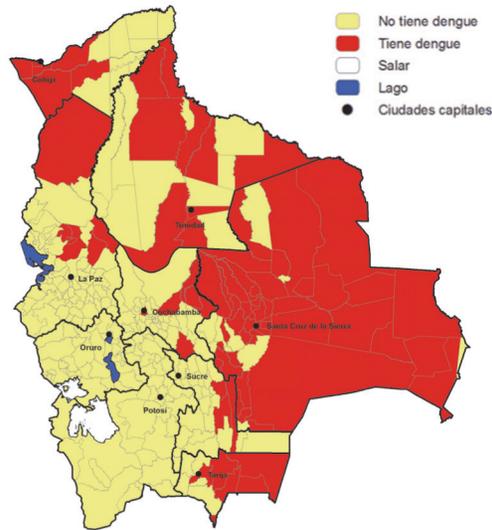
el caso del dengue) (véase el mapa IV.12), ii) hay rangos óptimos de temperatura para las enfermedades y las mayores temperaturas tienden a reducir la prevalencia de enfermedades (esto también resulta evidente en el caso del dengue) (véanse los mapas IV.12.a y IV.12.b), iii) con el aumento de la riqueza, la educación y la urbanización se prevé una limitada presencia de estas enfermedades en 2100 para el escenario base (esto se observa en el caso de la malaria) (véase el mapa IV.13), y iv) el tratamiento de estas enfermedades suele ser muy barato (por ejemplo, para el 98% de los casos de dengue se prescribe paracetamol y beber bastante líquido, a un costo de 5 bolivianos por caso, lo que equivale a unos 0,70 dólares).

El modelo de malaria estimado sobre la base de datos a nivel municipal sugiere que esta enfermedad casi se eliminaría del territorio boliviano durante el siglo XXI por el aumento general de la educación y el nivel de vida (véase el mapa IV.13). Esto puede ser demasiado optimista, pero la evolución histórica de la malaria en países desarrollados demuestra que su erradicación es posible y que tiende a ocurrir con el desarrollo general, y particularmente con el del sistema de salud pública. A principios del siglo pasado, por ejemplo, la malaria era una de las enfermedades más prevalentes en los Estados Unidos, donde casi todos los otoños surgían epidemias en las áreas bajas y húmedas (Thompson, 1969). Sin embargo, debido a la fumigación masiva y la mejora en la calidad de las viviendas, al aumento de los ingresos y a las mejoras en el sistema de salud pública, en la actualidad la malaria casi no existe en los Estados Unidos, a pesar de que las temperaturas han subido casi 1 °C durante el último siglo.

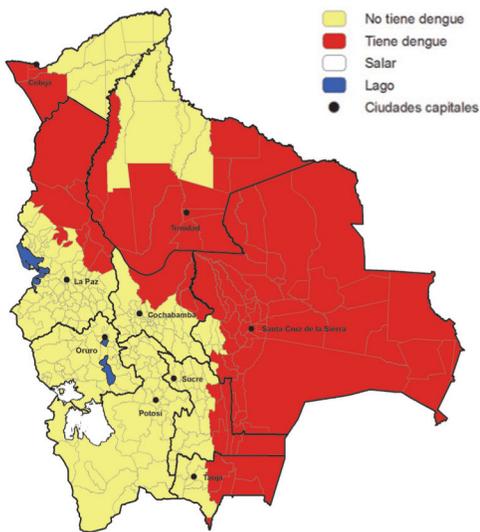
Los costos asociados al gasto público en tratamientos de los enfermos adicionales (1,5 millones de dólares en 2100 en el escenario A2 o un 0,01% del PIB de 2010) fueron de un orden de magnitud menor que las pérdidas por días no trabajados. El hecho de que los costos estimados del efecto del cambio climático en la salud sean relativamente moderados no significa que el sector de salud no deba ser una prioridad. La prevención de enfermedades siempre es deseable, con o sin cambio climático, y no hay que descuidar los programas de prevención del dengue y la malaria, ya que se trata de enfermedades que rápidamente podrían causar epidemias, con consecuencias trágicas y costosas. Además, la mejora de las condiciones básicas para la población es esencial, ya que ayuda a reducir las principales causas de la mortalidad infantil —enfermedades diarreicas e infecciones respiratorias—, entre muchos otros beneficios.

Mapa IV.12 Vulnerabilidad al dengue en 2000 y en los escenarios base y A2 a 2100, por municipio

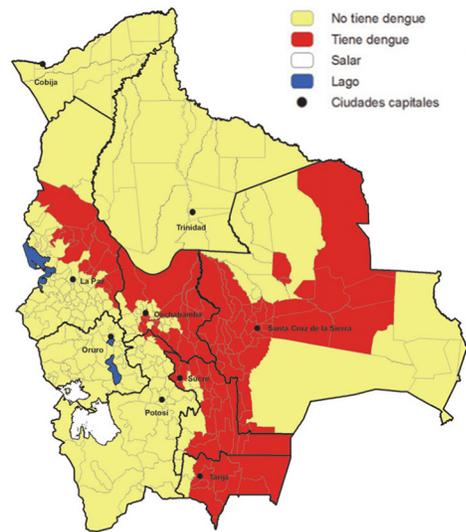
A. Año base, 2000



B. Año 2100, escenario base



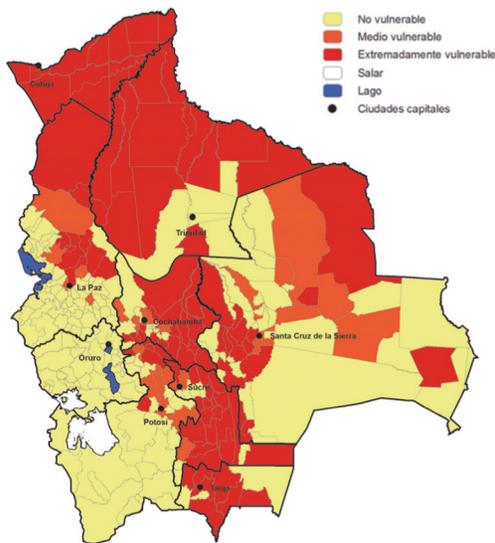
C. Año 2100, escenario A2



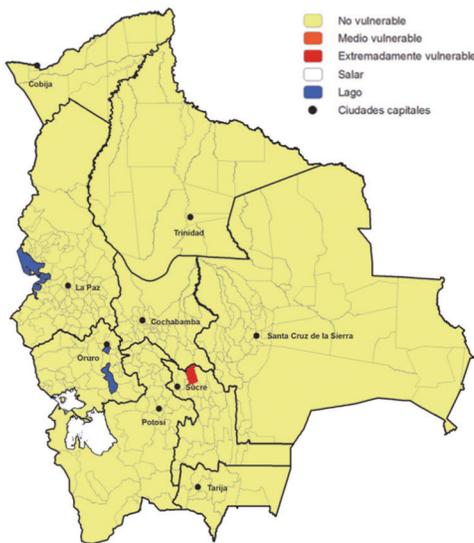
Fuente: Elaboración propia.

Mapa IV.13
Vulnerabilidad a la malaria en 2000 y en los escenarios base y A2 a 2100, por municipio

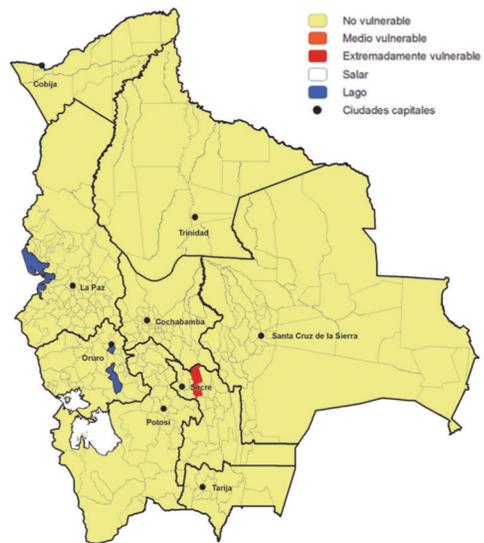
A. Año base, 2000



B. Año 2100, escenario base



C. Año 2100, con cambio climático A2



Fuente: Elaboración propia.

F. Sector energético

La generación eléctrica en el Estado Plurinacional de Bolivia depende mucho de la precipitación en las cuencas hidroeléctricas. En 2000 (año base del análisis), aproximadamente un 50% de la energía era provista por plantas hidroeléctricas. Para el escenario base, desde 2000 hasta 2100, se prevé un aumento de la producción y el uso nacional de energía eléctrica de aproximadamente 17 veces, y se asume que la proporción en la generación de energía hidroeléctrica del 50% y térmica del otro 50% se mantiene durante todo el período. Esta suposición es razonable, ya que el país tiene bastante potencial en ambas fuentes de generación.

Para estimar el impacto del cambio climático sobre la generación de energía se necesita conocer cómo los cambios esperados en precipitación afectarían los caudales de los ríos relevantes para la producción de energía hidroeléctrica. Esto requiere un modelo completo de precipitación-evapotranspiración-escurrimiento a nivel nacional que no existe en el país. Para resolver este problema, se considera que los cambios en los caudales son proporcionales a los de precipitación en los municipios donde se encuentran las instalaciones hidroeléctricas (esto es tomado del análisis de recursos hídricos). También se asume que los efectos sobre las centrales hidroeléctricas todavía no construidas serán los mismos que sobre las que ya existen³⁷.

El análisis de los cambios en precipitación previstos por el modelo PRECIS en los municipios que actualmente tienen plantas hidroeléctricas muestra una disminución de precipitación en todos ellos en el escenario A2 y en casi todos, excepto en uno, para el escenario B2. En promedio (ponderado por la capacidad efectiva de las centrales hidroeléctricas existentes), la reducción de precipitación y caudal en el período 2070-2100 en comparación con el período 1961-1990 sería del 20% en el escenario B2 y del 18% en el escenario A2³⁸. En este estudio se asume que estas reducciones se traducen directamente en pérdidas de generación de energía en la misma magnitud y que el caudal sufre una reducción lineal durante el siglo.

Bajo estos supuestos, se calculan las pérdidas en generación de energía hidroeléctrica producto de los cambios esperados en precipitación, que llegarían a 6.081 GWh y a 6.629 GWh en 2100 en los escenarios A2 y B2, respectivamente. El costo de producir esta energía mediante plantas termoeléctricas ronda los 18 dólares/MWh, por lo que el costo de las pérdidas en 2100 se ubicaría en torno a los 120 millones de dólares de 2007 en ambos escenarios³⁹. Esto correspondería a cerca del 0,8% del PIB de 2100, de manera que el impacto que se esperaría sobre la generación hidroeléctrica por el cambio climático no sería uno de los más significativos.

Aun así, el sector requiere muchas inversiones para poder cumplir con el aumento en la demanda de energía en los próximos años, y sería deseable poder tomar en cuenta cómo los cambios en las variables climáticas afectarían los retornos de estas inversiones. Sin embargo, todavía existe demasiada incertidumbre sobre los cambios futuros en los patrones de precipitación, que debería considerarse para análisis posteriores.

³⁷ Véanse más detalles en Machicado (2014).

³⁸ Esta situación depende de la resolución (50 x 50 km) del modelo PRECIS y podría variar con la utilización de una mejor resolución. Es incierto por qué el modelo predice disminuciones mayores en el escenario B2 que en el escenario A2. Las diferencias entre los dos escenarios, sin embargo, no son estadísticamente significativas.

³⁹ De acuerdo con datos del Comité Nacional de Despacho de Carga, con un precio referencial de petróleo de alrededor de 70 dólares/barril. Véase [en línea] www.cndc.bo.

G. Resumen de los impactos sectoriales

Los efectos más fuertes del cambio climático previstos por el modelo PRECIS se producen a través de modificaciones en los patrones de precipitación, ya que el modelo indica que las áreas secas se volverán aún más secas y las áreas húmedas tendrán aún más precipitación al final de este siglo. El análisis indica que estos cambios causarían aumentos en la frecuencia y los costos de inundaciones en las tierras bajas del territorio boliviano, graves problemas de desertificación en el Altiplano e importantes reducciones en la disponibilidad de agua.

En el cuadro IV.5 se presenta un resumen de los impactos sectoriales directos estimados para 2100 por el cambio climático previsto por el modelo PRECIS durante el siglo XXI. En el escenario A2, los efectos totales del cambio climático de 2100 se ubicarían cerca del 2,1% del PIB de ese año y en el escenario B2 llegarían a alcanzar el 0,96% del PIB de 2100. Sin embargo, estos costos son parciales, ya que se refieren solamente al impacto de un año y no toman en cuenta el efecto acumulativo de los efectos adversos en años anteriores. En la sección IV.H se calculan los efectos indirectos y dinámicos, lo que permite estimar los costos totales del cambio climático durante el siglo XXI.

Cuadro IV.5
Impactos parciales del cambio climático bajo los escenarios A2 y B2, 2100

Impacto	A2 (en millones de dólares de 2007)	B2 (en millones de dólares de 2007)	A2 (en porcentajes del PIB de 2100)	B2 (en porcentajes del PIB de 2100)
Pérdida de infraestructura pública por precipitaciones extremas	1 941	769	0,95	0,37
Pérdidas agropecuarias por cambios en productividad, eventos extremos y desertificación	2 116	1 094	1,07	0,56
Pérdidas de productividad laboral y gasto público por cambios en prevalencia de malaria, dengue, enfermedades diarreicas agudas e infecciones respiratorias agudas	46	-56	0,02	-0,03
Pérdidas en la generación hidroeléctrica	109	119	0,05	0,06
Pérdidas en la disponibilidad de agua	646	259	0,31	0,12
Otras pérdidas/ganancias	X	X	X	X
Pérdidas totales	~4 858+X	~2 185+X	~2,40+X	~1,08+X

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Promedios ponderados por el área de cada municipio.

H. Efectos totales

Los efectos anuales calculados en las secciones anteriores representan los efectos directos del cambio climático en los sectores seleccionados. Estos impactos se calcularon sobre una senda base construida a partir del modelo multisectorial de equilibrio general BOLIXXI. Sin embargo, no se consideran los efectos indirectos y dinámicos. Tal como se presenta en Jemio y Andersen (2014), para calcular los impactos totales se han introducido choques sectoriales de producción e infraestructura en el modelo BOLIXXI, lo que ha permitido simular los efectos indirectos del cambio climático en los sectores analizados para los próximos 100 años.

1. Introducción de los choques

Bajo el supuesto de que los costos directos cambian al mismo ritmo que la economía en general, de cero en 2000 a las cifras presentadas en el cuadro IV.5 hasta 2100, en el cuadro IV.6 se muestran los impactos directos acumulados desde 2010 hasta 2100.

Cuadro IV.6
Impactos directos del cambio climático, 2010-2100

Impacto	Valor presente (en millones de dólares de 2007)		Valor presente del PIB del escenario base (en porcentajes)	
	A2	B2	A2	B2
Pérdida de infraestructura pública por precipitaciones extremas	32 309	12 801	0,65	0,26
Pérdida de productividad agropecuaria por cambio climático, eventos extremos y desertificación causada por el cambio climático	35 107	17 944	0,71	0,36
Pérdidas de productividad laboral y gasto público por cambios en prevalencia de malaria, dengue, enfermedades diarreicas agudas e infecciones respiratorias agudas	1 262	-202	0,03	-0,00
Pérdidas en la generación de energía hidroeléctrica	1 817	1 981	0,04	0,04
Pérdidas en la disponibilidad de agua	10 724	4 300	0,22	0,09
Otras pérdidas/ganancias	X	X	X	X
Pérdidas totales	81 219	36 824	1,65	0,74

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El valor presente está calculado usando una tasa de descuento del 0,5%.

El valor presente neto, usando una tasa de descuento del 0,5%, de las pérdidas directas que produce el cambio climático en el escenario A2, sería de 81.219 millones de dólares (en dólares constantes de 2007). Esto representaría el 1,63% del valor presente neto del PIB para el escenario base (período 2010-2100). En el escenario B2, el valor presente neto de las pérdidas sería de 36.822 millones de dólares, equivalente al 0,74% del valor presente neto del PIB del escenario base 2010-2100.

Los mayores efectos corresponden a la pérdida de productividad agropecuaria por cambio climático, eventos extremos y desertificación causada por el cambio climático, cuyos efectos en el valor presente neto representan un 0,71% y un 0,36% del valor presente neto del PIB del escenario base para los escenarios A2 y B2, respectivamente.

También son importantes los efectos resultantes de las pérdidas de infraestructura, cuyo monto en valor presente neto equivale respectivamente al 0,65% y al 0,26% del valor presente neto del PIB del escenario base. Estas pérdidas comprenden los daños en la infraestructura del país (carreteras, puentes, escuelas y otros), debido a las fuertes precipitaciones pluviales.

Otro tipo de pérdidas de menor magnitud corresponde a la caída en la productividad laboral y el gasto público por cambios en la prevalencia de la malaria, el dengue, las enfermedades diarreicas agudas y las infecciones respiratorias agudas, los daños en la generación de energía hidroeléctrica y las pérdidas en la disponibilidad de agua. De acuerdo con los estudios sectoriales, la magnitud de estas pérdidas, medidas en términos de valor presente neto como porcentaje del valor presente neto del escenario base para el período 2010-2100, sería del 0,29% en el escenario A2 y del 0,13% en el escenario B2.

Tal como se describe en la sección III.7, para la modelación de estos efectos se separaron los choques de producción de los choques de infraestructura. Mientras que los primeros representan pérdidas del flujo de producción, los segundos son pérdidas del acervo de capital público, como se detalla a continuación.

a) Choques de producción

Las pérdidas de producción estimadas en los estudios sectoriales, resumidas en el cuadro IV.6, fueron asignadas a los sectores productivos de la economía boliviana expuestos a los efectos del cambio climático: agricultura tradicional, agricultura industrial, ganadería, silvicultura, caza y pesca, energía hidroeléctrica y agua.

- El efecto del cambio en la productividad agrícola, considerando sustitución de cultivos y fertilización de CO₂, fue distribuido con dos tercios al sector de agricultura tradicional y un tercio al sector de agricultura industrial, lo que refleja su participación actual en el PIB agrícola.
- El efecto de inundaciones más frecuentes fue asignado también a los sectores de agricultura tradicional y agricultura moderna, mientras que el efecto de reducción de agua para riego fue asignado exclusivamente al sector de agricultura tradicional.
- El efecto de reducción de la biodiversidad fue distribuido entre los sectores de agricultura tradicional, ganadería y silvicultura, caza y pesca, de acuerdo con sus contribuciones al PIB en 2010.
- El efecto de reducción en la disponibilidad de agua fue distribuido de modo de asignar un 90% al sector de agricultura tradicional (por reducciones en riego) y un 10% al sector de agua potable.

Finalmente, el efecto de reducción en la producción de energía eléctrica fue asignado en su totalidad al sector de energía hidroeléctrica. Las pérdidas en el sector de salud no se incluyeron en el modelo multisectorial de equilibrio general por ser relativamente pequeñas.

En el cuadro IV.7 se presenta el resumen de los efectos directos sobre la producción a causa del cambio climático para cada uno de los sectores afectados. Los sectores que asumen las mayores pérdidas, en los escenarios A2 y B2, son los de agricultura moderna y agricultura tradicional⁴⁰. Estas pérdidas de producción se asocian a descensos temporales en la productividad de los factores y no a choques de capital, como es el caso de los choques de infraestructura. Estos efectos fueron calculados en los estudios sectoriales. En los gráficos IV.6 y IV.7 se presentan los cambios en productividad para cada uno de los sectores en los escenarios A2 y B2, respectivamente.

⁴⁰ La forma en que estos choques fueron introducidos en el modelo multisectorial de equilibrio general se basa en la propiedad de homogeneidad de las funciones de elasticidad de sustitución constante, utilizadas como funciones de producción sectoriales en dicho modelo. Es decir, que si cada uno de los diferentes factores de producción de la función de elasticidad de sustitución constante es multiplicado por un factor, la producción total Q también se multiplicará por el mismo factor.

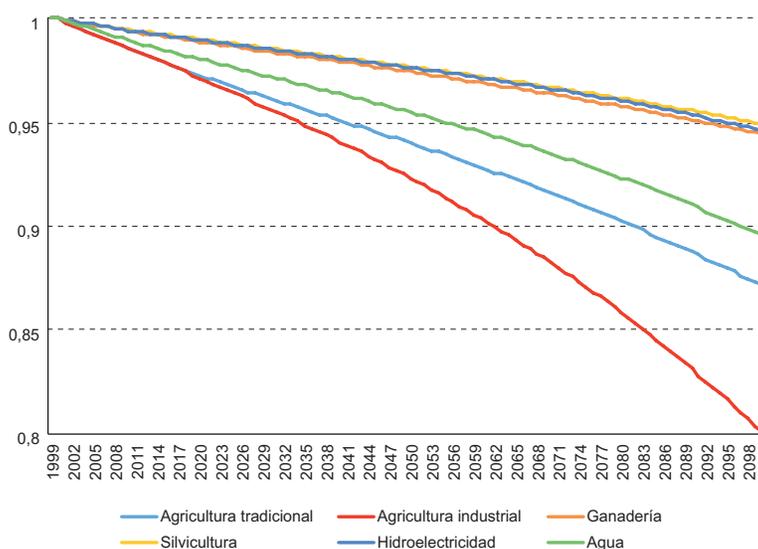
Cuadro IV.7
Valor presente neto de impactos sectoriales directos de pérdidas de producción
por el cambio climático, 2010-2100

Sectores	En millones de dólares de 2007		En porcentajes del PIB sectorial (escenario base)		En porcentajes del valor presente neto del PIB total (escenario base)	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Agricultura tradicional	26 431	11 501	8,76	3,81	0,53	0,23
Agricultura industrial	12 633	8 730	12,51	8,65	0,25	0,18
Ganadería	4 429	1 231	3,72	1,03	0,09	0,02
Silvicultura, caza y pesca	1 265	352	3,38	0,94	0,03	0,01
Energía hidroeléctrica	1 817	1 981	3,47	3,78	0,04	0,04
Agua	1 072	430	6,69	2,68	0,02	0,01
Total	47 648	24 224	0,96	0,49	0,96	0,49

Fuente: Elaboración propia.

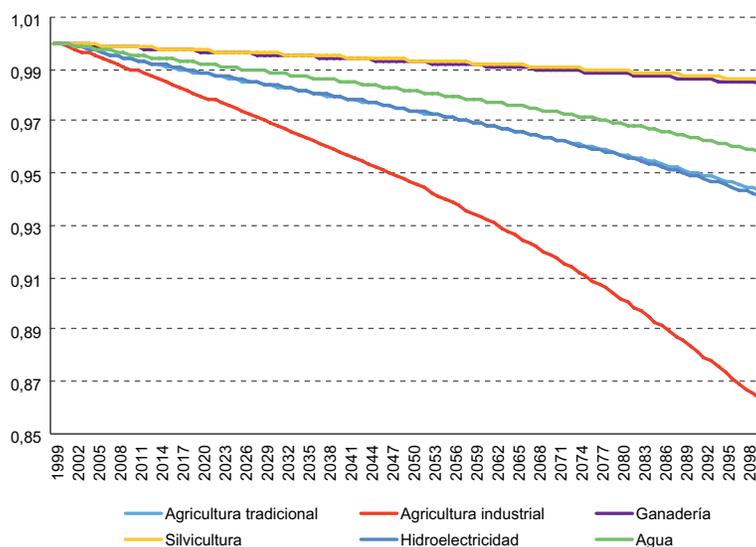
Nota: El valor presente está calculado usando una tasa de descuento del 0,5%.

Gráfico IV.6
Escenario A2: cambios en productividad para los sectores directamente afectados
por el cambio climático
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV.7
Escenario B2: cambios en productividad para los sectores directamente afectados
por el cambio climático
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse, el sector de agricultura industrial es el que recibe los mayores efectos directos de producción en ambos escenarios. Para 2100, el nivel de producción del sector cae al 80,1% en el escenario A2, en comparación con el escenario base, y al 86,3% en el escenario B2.

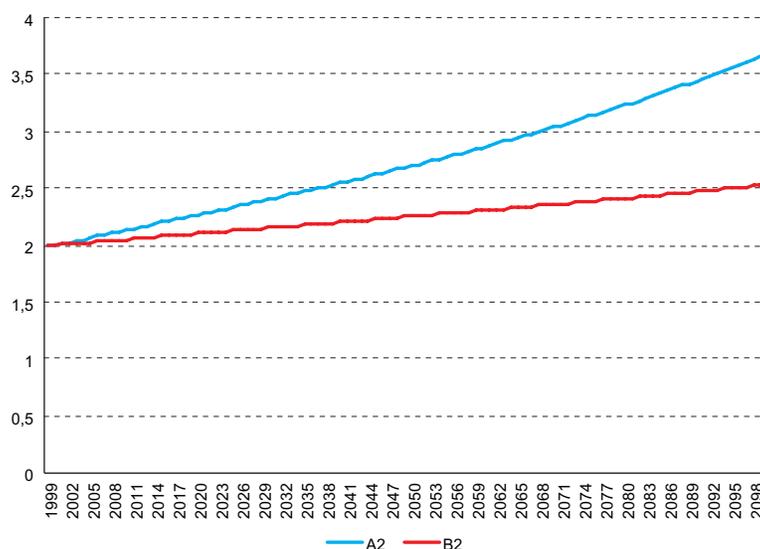
b) Choques de infraestructura

Las pérdidas de infraestructura pública son acumulativas y operan a través del acervo de capital del gobierno, que comprende, entre otros, carreteras, puentes, escuelas y hospitales. Un deterioro de la infraestructura pública afectará no solo a los sectores más expuestos a los efectos del cambio climático, sino también a todos los sectores de la economía, ya que impediría el libre tránsito a través del territorio nacional y la llegada de los bienes y servicios a los mercados.

Este tipo de choque fue introducido al modelo multisectorial de equilibrio general a través de las funciones de producción sectoriales, mediante el incremento de la tasa de depreciación del acervo capital del sector público. Al aumentar la tasa de depreciación del acervo de capital, cae tanto la inversión neta como la producción en el largo plazo. Los valores absolutos de estos choques corresponden a las pérdidas de infraestructura pública por precipitaciones extremas reportadas en el cuadro IV.6. Estos valores fueron expresados en términos de tasas de depreciación incrementales para ser introducidos en el modelo multisectorial de equilibrio general.

La tasa de depreciación en el escenario base es del 2% anual. Las tasas de depreciación tienden a crecer en el tiempo en ambos escenarios, lo que indica que los efectos negativos del cambio climático sobre la infraestructura pública son mayores a medida que pasan los años. Para 2100, la tasa de depreciación aumenta un 1,7% en el escenario A2 y un 0,5% en el escenario B2 (véase el gráfico IV.8).

Gráfico IV.8
Tasas de depreciación del acervo de capital público en los escenarios A2 y B2
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

2. Impactos totales: análisis de resultados

Los resultados obtenidos a través del modelo multisectorial de equilibrio general para los escenarios A2 y B2 permiten evaluar en detalle los efectos del cambio climático sobre diversas variables macroeconómicas y sectoriales. A continuación se analizan estos efectos sobre el PIB, el PIB sectorial, el balance fiscal, la deuda pública y la evolución de estas variables en el tiempo.

a) Impactos sobre el PIB

Las pérdidas resultantes de los efectos del cambio climático para el período 2010-2100, estimadas a través del modelo multisectorial de equilibrio general, aparecen resumidas en los cuadros IV.8 y IV.9 a distintas tasas de descuento.

Cuadro IV.8
Valor presente neto de pérdidas del PIB debido al cambio climático, 2010-2100
(En millones de dólares de 2007)

Fuente de pérdidas	0,5%		2%		4%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Directas de producción	47 648	24 224	17 668	8 956	5 620	2 834
Totales de producción	183 321	89 975	66 162	32 343	20 010	9 707
Totales (producción e infraestructura)	236 012	108 477	84 465	38 849	25 174	11 579

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro IV.9**Valor presente neto de pérdidas del cambio climático con respecto al valor presente neto del PIB, 2010-2100**

Fuente de pérdidas	0,5%		2%		4%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Directas de producción	0,96	0,49	0,83	0,42	0,64	0,32
Totales de producción	3,69	1,81	3,10	1,51	2,28	1,10
Totales (producción e infraestructura)	4,75	2,18	3,95	1,82	2,87	1,32

Fuente: Elaboración propia.

En el escenario A2, las pérdidas directas de producción, determinadas en los estudios sectoriales y medidas como porcentaje de variación del valor presente neto con respecto al escenario base (<VPN/VPNBASE), estarían entre el 0,96% y el 0,64%. Si se suman los efectos indirectos de producción, que se transmiten a los demás sectores a través del consumo intermedio y del ingreso, las pérdidas se situarían entre el 3,69% y el 2,28%.

En el escenario B2, las pérdidas de producción directas varían entre el 0,49% y el 0,32%. A su vez, las pérdidas totales de producción (directas e indirectas) alcanzarían un 1,81% con una tasa de descuento del 0,5% y un 1,10% con una tasa del 4%.

Finalmente, los efectos totales, considerando efectos en producción y depreciación de infraestructura del cambio climático, equivaldrían al 4,75% y al 2,18% del PIB para los escenarios A2 y B2, respectivamente, con una tasa de descuento del 0,5%. Estos valores serían del 2,87% y del 1,32% con una tasa de descuento del 4%.

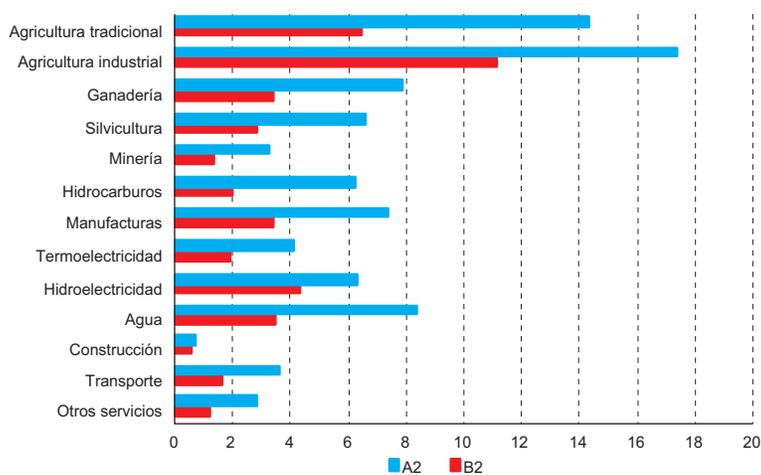
Además, de los resultados se desprende que los efectos del cambio climático son mayores al final del período de análisis, dado que la magnitud de los efectos tiende a incrementarse con el paso del tiempo.

b) Impactos sectoriales

Las pérdidas sectoriales resultantes de los efectos del cambio climático, incluidas las de producción e infraestructura, afectan sobre todo a los sectores directamente expuestos, que también son los que presentan los mayores efectos indirectos.

Los principales efectos negativos se aprecian en agricultura, donde la agricultura industrial experimentaría pérdidas descontadas para todo el período del 17% y del 11% del PIB sectorial en los escenarios A2 y B2, respectivamente, para una tasa de descuento del 0,5%. La agricultura tradicional también experimenta pérdidas significativas, del 14% y del 6% del PIB sectorial para ambos escenarios. A su vez, la ganadería tendría pérdidas del 8% y del 3% del PIB del sector para los escenarios A2 y B2, respectivamente, y la silvicultura registraría pérdidas del 6% y del 3% (véase el gráfico IV.9).

Gráfico IV.9
Pérdidas sectoriales en valor presente con respecto al valor presente del PIB sectorial
del escenario base, escenarios A2 y B2
(En porcentajes del valor presente neto del PIB sectorial)



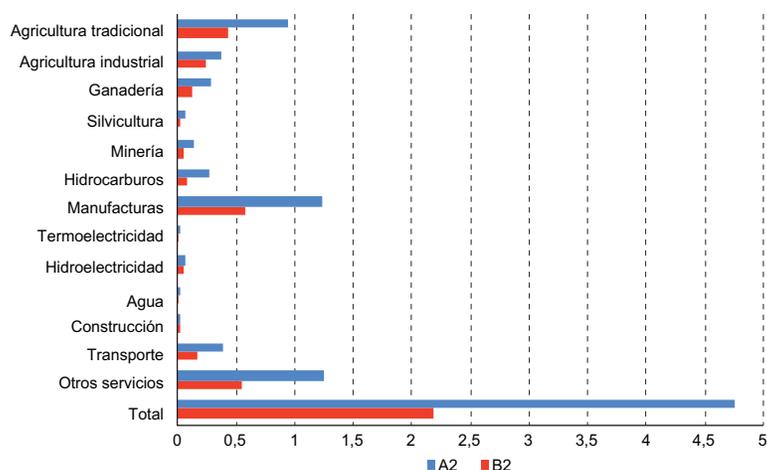
Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los resultados se calculan con una tasa de descuento del 0,5%.

Si bien la industria manufacturera no está directamente expuesta a los efectos del cambio climático, experimentaría las mayores pérdidas de PIB sectorial como consecuencia de los efectos indirectos, que se transmiten al sector a través de la caída en la provisión de insumos, la menor demanda debido a la disminución de ingresos y los daños en la infraestructura que afecta las actividades de este sector. Las pérdidas del sector alcanzarían al 7% y el 3% del PIB sectorial para los escenarios A2 y B2.

Al evaluar los efectos sectoriales con respecto al PIB total (véase el gráfico IV. 10), se observa que el sector que experimentaría las mayores pérdidas, asociadas a los efectos indirectos, es el de la industria manufacturera. Las pérdidas de este sector alcanzarían al 1,2% y el 0,6% del valor presente neto del PIB total del escenario base, para los escenarios A2 y B2, respectivamente. Otros sectores que también mostrarían pérdidas importantes debido a los efectos indirectos del cambio climático son los de transporte y servicios.

Gráfico IV.10
Pérdidas sectoriales en valor presente con respecto al valor presente del PIB nacional,
escenarios A2 y B2
(En porcentajes del valor presente neto del PIB total)



Fuente: Elaboración propia.

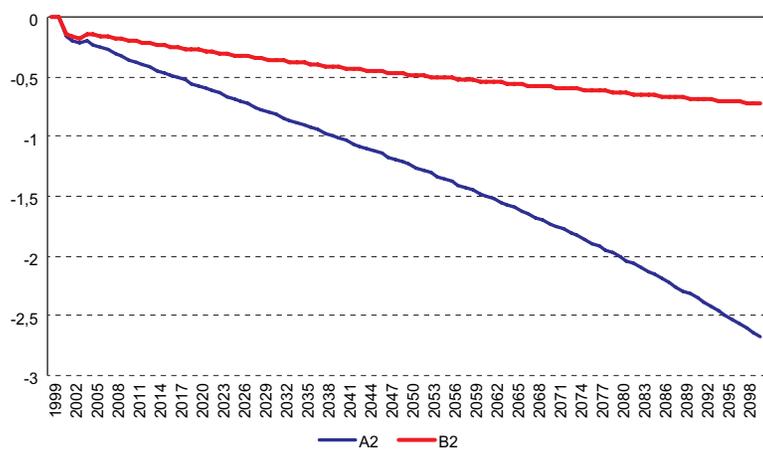
Nota: El valor presente se calcula usando una tasa de descuento del 0,5%.

c) Balance fiscal

Con respecto a la senda base, y como consecuencia del cambio climático, el balance fiscal experimentaría un aumento en el déficit debido a la caída de los ingresos, la disminución de las recaudaciones y el aumento del gasto público en reconstrucción.

En el gráfico IV.11 se muestra cómo el déficit fiscal aumenta en forma constante en ambos escenarios. En el escenario A2, el deterioro del balance fiscal alcanzaría en promedio el 1,4% del PIB para el período 2010-2100 y al final del siglo llegaría al 2,7% del PIB. En el escenario B2, el déficit promediaría el 0,5% del PIB para el mismo período, llegando al 0,7% del PIB en 2100.

Gráfico IV.11
Variación del déficit fiscal con respecto al escenario base, escenarios A2 y B2
(En porcentajes del PIB)



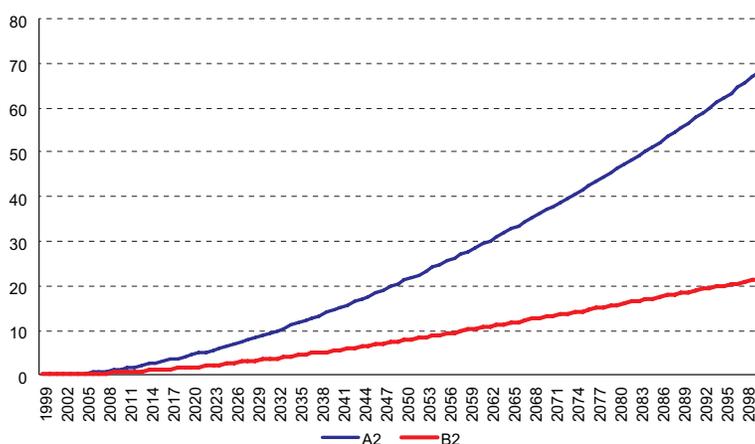
Fuente: Elaboración propia.

d) Deuda pública

El incremento continuo del déficit fiscal también produciría un aumento de la deuda pública. En el gráfico IV.12 se muestra que en el período 2010-2100 la deuda pública aumentaría, en promedio, un 28% y un 10% para los escenarios A2 y B2, respectivamente. Al final del siglo, la deuda pública llegaría al 68% del PIB en el escenario A2 y al 21% en el escenario B2.

El gasto requerido para reconstruir, a través de inversiones públicas adicionales, disminuiría los efectos en la economía, pero generaría un mayor endeudamiento. Por ello son relevantes los mecanismos de financiamiento que se han establecido y que están en proceso de negociación en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, ya que permitirían apoyar a los países más vulnerables.

Gráfico IV.12
Variación de la deuda pública con respecto al escenario base, escenarios A2 y B2
(En porcentajes del PIB)



Fuente: Elaboración propia.

V. Adaptación

Para reducir la vulnerabilidad de la población y la economía del Estado Plurinacional de Bolivia al cambio climático se pueden realizar acciones a corto, mediano y largo plazo que ayudarían a reducir los posibles efectos negativos del cambio climático. Además, los costos de la inacción podrían ser mucho mayores que los costos de las acciones adoptadas. Esto se vuelve imperativo ante la falta de acuerdos y compromisos internacionales sobre la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que es esencial mejorar las capacidades de adaptación al cambio climático. En esta sección se presenta evidencia sobre procesos de adaptación en el país y se analizan las prioridades de adaptación de acuerdo con los resultados de la presente investigación.

A. Evidencia sobre procesos de adaptación

El Plan Nacional de Desarrollo de Bolivia incluye los siguientes programas de adaptación al cambio climático: i) programa de prevención de desastres en sectores vulnerables, ii) programa de adaptación de sistemas de subsistencia vulnerables: recursos hídricos, recursos energéticos, soberanía alimentaria, y iii) programas de educación. A la vez, se ha elaborado un Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático, con programas sectoriales en recursos hídricos, seguridad alimentaria, asentamientos humanos y gestión de riesgos, salud y ecosistemas (MPD/PNCC, 2007a, y MMA/PNCC, 2009).

El gobierno, a través del Programa Nacional de Cambio Climático, ha elaborado planes piloto para la implementación de proyectos de adaptación en poblaciones posiblemente afectadas por el retroceso de los glaciares (MPD/PNCC, 2007b). Los proyectos incluyen:

- Manejo integrado de la cuenca Tuni Condoriri. El propósito es contar con un plan estratégico ante la retracción de los glaciares. Se pretende implementar acciones para compensar la reducción de oferta de recursos hídricos y para bajar la demanda de agua en los sistemas de dotación de la ciudad de El Alto y las laderas de La Paz. En los estudios realizados por el proyecto “Deshielo de la cuenca del Tuni Condoriri y sus impactos sobre los recursos hídricos de la ciudades de La Paz y El Alto” se concluye que la ciudad de El Alto se encontraría mayormente afectada por la retracción glaciar. El aporte de los glaciares llegaría al 35% del suministro de agua en períodos de presencia de eventos El Niño. Además, se estima que la población de El Alto aumenta a una tasa del 4% anual, lo que incidiría en el aumento de la demanda.

- Manejo piloto integrado de las microcuencas afectadas por la retracción de glaciares. El objetivo es plantear e implementar modelos piloto de manejo integrado de cuencas en las microcuencas de Khullu Cachi, Tacapaya y Amachuma Grande. Esto permitiría adaptar la producción agrícola a la reducción de recursos hídricos en el mediano y largo plazo. Se espera aumentar la resiliencia de las actividades agropecuarias a la retracción de glaciares.
- Adaptación participativa para la construcción de defensivos en el río La Paz, el sector de Huayhuasi y El Palomar. El objetivo es desarrollar un modelo social que incluya la implementación de medidas para la prevención de desastres y la reducción de la vulnerabilidad a eventos extremos, como inundaciones, en la comunidad de Huayhuasi y El Palomar, en la cuenca del río La Paz. El producto es la construcción de defensivos en el río La Paz que sirvan de protección ante las inundaciones.

Otras acciones incluyen la recuperación de tecnologías precolombinas para hacer frente a la falta de agua y las sequías prolongadas. Esta es una forma de adaptación autónoma que ya se está implementando en diferentes comunidades indígenas en el Altiplano como, por ejemplo, el almacenamiento de agua en Qhuthañas (Mc Gray y otros, 2007). Asimismo, el Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia se encuentra considerando la implementación de un seguro agrícola para proteger a los agricultores ante sequías y desastres.

B. Propuestas de adaptación

Aunque existe mucha incertidumbre acerca de los escenarios climáticos futuros, hay problemas que se pueden anticipar con más seguridad para resolverlos a tiempo. En general, el cambio climático tiende a incrementar la severidad o frecuencia de los problemas ya existentes. Todo tipo de estrategia de adaptación debe ser coordinada a nivel local, regional y nacional, y es necesario considerar los proyectos de adaptación de manera integral.

En esta sección se presentan las prioridades de adaptación que surgen de esta investigación. Se trata de inversiones y actividades que serían beneficiosas bajo las condiciones climáticas actuales, pero resultarían aún más beneficiosas si el clima cambia como se prevé en el modelo PRECIS.

1. Provisión de agua potable y agua para riego

Con seguridad, la provisión de agua potable será un desafío en el futuro, especialmente en las grandes ciudades bolivianas. La demanda de agua potable aumentará más de 12 veces durante este siglo, y en La Paz, El Alto, Cochabamba, Sucre, Potosí y Tarija, el modelo PRECIS estima una reducción en las precipitaciones y un aumento de la evapotranspiración, lo que limitaría en hasta un 50% la oferta de agua disponible. Sin embargo, aunque no hubiese reducciones en la oferta, es claro que se necesitan inversiones para cubrir la creciente demanda de agua. En este sentido, las inversiones en agua potable son medidas de adaptación “útiles en todo caso” o “sin arrepentimiento”⁴¹.

Las medidas de adaptación se deben plantear desde una perspectiva global de gestión de recursos hídricos, es decir, desde el punto de vista del abastecimiento (oferta) y uso (demanda). Ciudades como Sucre y Cochabamba son áreas críticas en términos de disponibilidad de agua potable en el país. De acuerdo con las proyecciones de crecimiento poblacional, la demanda de agua en Sucre en los próximos años sobrepasará la oferta. Esto requiere la concreción de proyectos inmediatos de obras hidráulicas, como la construcción de la represa Cachimayu.

⁴¹ Las medidas “sin arrepentimiento” o “útiles en todo caso” son aquellas que podrían generar ventajas sociales, más allá de que se produzca o no un cambio climático. Se definen como las opciones cuyos beneficios son iguales o superan los costos que tienen para la sociedad, además de los beneficios del cambio climático que se evita (IPCC, 2007).

Desde el punto de vista de la demanda, en las ciudades afectadas existe un uso ineficiente del agua. Las pérdidas en la red de distribución local de El Alto están entre el 40% y el 50%. Es decir que para que 1 litro de agua llegue a un consumidor, se requieren alrededor de 1,6 litros a 2 litros en la fuente (Ramírez, 2008). Por lo tanto, los proyectos de adaptación al cambio climático deben considerar un uso eficiente del agua y la correcta operación de los sistemas de distribución por parte de las cooperativas (administración, prestación de servicios y legislación). Por ello, se recomienda fortalecer los proyectos para la reparación y el mantenimiento de las redes de distribución de agua en ciudades como El Alto y La Paz. Además, el componente educativo es necesario para el uso adecuado del agua por parte de los consumidores.

El 20% del suministro de agua de la ciudad de El Alto es provisto por pozos de agua subterránea, por lo que se deben realizar estudios sobre su disponibilidad y sostenibilidad. Además, es necesaria una planificación territorial para regular el futuro crecimiento de las ciudades bolivianas, considerando las proyecciones de disponibilidad de agua y energía.

Actualmente, algunas de las represas para consumo de agua se ven afectadas por los efluentes contaminados de minas, como es el caso de la mina Milluni. Las plantas de tratamiento de agua en La Paz deben añadir un exceso de alcalinidad para tratar las concentraciones excesivas de hierro y manganeso. El agua tratada se podría utilizar para fines de riego y aumentar la oferta. También se deberían considerar proyectos de adaptación que incluyan el tratamiento de aguas servidas. La ciudad de La Paz no cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales. Todos los efluentes de la industria y los hogares fluyen hacia la cuenca del río Choqueyapu.

Si se considera que más del 97% del consumo de agua en el país es para riego, la escasez de agua para este fin será un problema aún mayor para muchas áreas del país. Como se prevé en el escenario base, hacia fines de siglo varias provincias presentarían una creciente escasez de agua superficial, lo que afectaría la producción agrícola, por lo que será necesario adaptarse. Este proceso se puede facilitar con una adecuada planificación de inversiones y la implementación de incentivos a reglamentos para el uso racional de este recurso vital.

2. Ordenamiento territorial y manejo de la migración interna

Se prevé que haya más migración del campo a la ciudad, lo que supone una presión sobre la infraestructura urbana. Los modelos climáticos proyectan un proceso acelerado de desertificación en el Altiplano, lo que incrementaría los flujos migratorios no solo hacia las ciudades, sino también hacia las áreas rurales de las tierras bajas. Esto aumentaría la deforestación y la pérdida de biodiversidad, al tiempo que acrecentaría los problemas causados por las inundaciones en las zonas de menor altura.

Frente al cambio climático, es importante tener un buen sistema de ordenamiento territorial, porque las decisiones que se tomen y las inversiones públicas que se realicen hoy afectarán a la población boliviana en el futuro. Por ejemplo, deben delimitarse las áreas de riesgo y evitar que las grandes inversiones públicas se localicen en zonas con eventos recurrentes de inundaciones o sequías, a menos que existan soluciones prácticas y económicas que permitan prevenir o minimizar estos problemas.

La población boliviana se duplicaría hacia fines de siglo, lo que implicaría un aumento en la demanda de recursos de casi 20 veces. Dado que el país cuenta con ecosistemas abundantes, se vuelve esencial la planificación territorial para ordenar el uso de los recursos y así satisfacer los aumentos en las demandas.

Para reducir los problemas que puede causar la migración, las ciudades deben estar preparadas para recibir a los migrantes de manera planificada, contar con la infraestructura urbana necesaria (calles, agua, saneamiento, electricidad y demás) y priorizar inversiones en servicios básicos hacia áreas con grandes flujos de migrantes.

3. Prevención de pérdidas debido a la variabilidad en las precipitaciones

Los modelos climáticos prevén mayores niveles de precipitación en las tierras bajas y menores en las tierras altas, así como una concentración temporal de las precipitaciones en todas las áreas. Esto aumentaría la frecuencia de inundaciones y sequías. No obstante, aunque las frecuencias no cambien como se prevé, los efectos aumentarían por la mayor extensión de cultivos e infraestructura expuestos, por lo que se hace necesario prevenir la recurrencia de los altos costos asociados a estos eventos.

Para reducir los costos de las inundaciones es necesaria una mejor planificación territorial. Además, debe considerarse reducir la deforestación y aumentar la forestación y reforestación. A su vez, los códigos de construcción tienen que tomar en cuenta el riesgo y debe aumentar la investigación aplicada a este tema.

Para reducir los costos de las sequías se necesita extender la cobertura de los sistemas de riego. Además, se debe analizar y considerar la disponibilidad futura de agua en áreas donde se planifique la construcción de nuevos sistemas de riego. También se recomienda hacer investigaciones agrícolas para identificar los cultivos más resistentes a las sequías y las especies que aprovechan mejor la fertilización de CO₂.

4. Reducción de la vulnerabilidad

En general, los grupos poblacionales con mayores ingresos y educación tienen una alta capacidad de resiliencia al cambio climático y los que presentan mayor vulnerabilidad son los grupos con menos ingresos y aquellos que se ubican en áreas rurales y en zonas de riesgo.

Para aumentar la resiliencia de estos segmentos de la población se requiere invertir en educación y en infraestructura urbana y productiva, y mantener una estabilidad macroeconómica. Además, es necesario contar con un entorno favorable para el desarrollo de pequeñas, medianas y grandes empresas. Este tipo de políticas también son “sin arrepentimiento”, ya que benefician a la población bajo cualquier régimen climático, y especialmente bajo un régimen de variabilidad climática e incertidumbre sobre el futuro.

Durante el proceso de priorización de las medidas de adaptación, no se debe despreciar el efecto que el desarrollo humano, en general, tiene sobre la vulnerabilidad a cambios climáticos y a otro tipo de variables. En el presente estudio se ha mostrado que los efectos indirectos del cambio climático son mucho más grandes que los efectos directos sobre los sectores más dependientes del clima. Esto sugiere que es necesario abordar el tema del cambio climático de manera integral a través de la planificación del desarrollo, y no tratarlo como un problema sectorial, y mucho menos como un problema netamente ambiental.

VI. Mitigación

Las emisiones totales de gases de efecto invernadero del Estado Plurinacional de Bolivia en 2004, sin incluir el cambio de uso del suelo, fueron de 43,6 millones de toneladas de CO₂e (si se incluye el cambio de uso del suelo, esta cifra alcanza los 91,7 millones de toneladas de CO₂e)⁴². Estos montos representan el 0,1% y el 0,3% de las emisiones mundiales para 2010, respectivamente⁴³. La gran mayoría de las emisiones de gases de efecto invernadero en el país proviene de los procesos de deforestación. A su vez, el consumo de energía, el sector de transporte y todas las otras fuentes en su conjunto representan solo el 12% de las emisiones actuales. Con el tiempo, se espera que esta composición cambie (véase el gráfico VI.1), por lo que habrían importantes oportunidades de mitigación en varios sectores. En este apartado se describe la cantidad y la composición de las emisiones que se esperan en el escenario base y se analizan las oportunidades de mitigación.

A. Emisiones en el escenario base

Las emisiones del sector de cambio de uso del suelo están directamente vinculadas con el área deforestada. Esta área ha ido aumentando mucho en las últimas décadas y, si no hay un cambio de políticas, se espera que la deforestación continúe hasta 2040. A partir de dicho punto, se apreciaría una escasez de tierras boscosas, por lo que la deforestación anual tendería a bajar.

Las emisiones de los otros sectores, en cambio, están vinculadas con el nivel de producción y consumo de la economía, por lo que aumentarán aproximadamente al ritmo del PIB real (asumiendo que la intensidad energética de la economía no cambia). Esto implica que el perfil de emisiones de CO₂e del país en el escenario base, sin actividades de adaptación y mitigación, sería similar al presentado en el gráfico VI.1. En un principio, se espera que las emisiones aumenten de aproximadamente 90 millones de toneladas anuales en 2010 a 170 millones de toneladas anuales en 2035. Posteriormente, las emisiones bajarían debido a la reducción de la tasa anual de deforestación y después volverían

⁴² Última cifra reportada ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Véase [en línea] <http://unfccc.int/di/DetailedByParty/Event.do?event=go>.

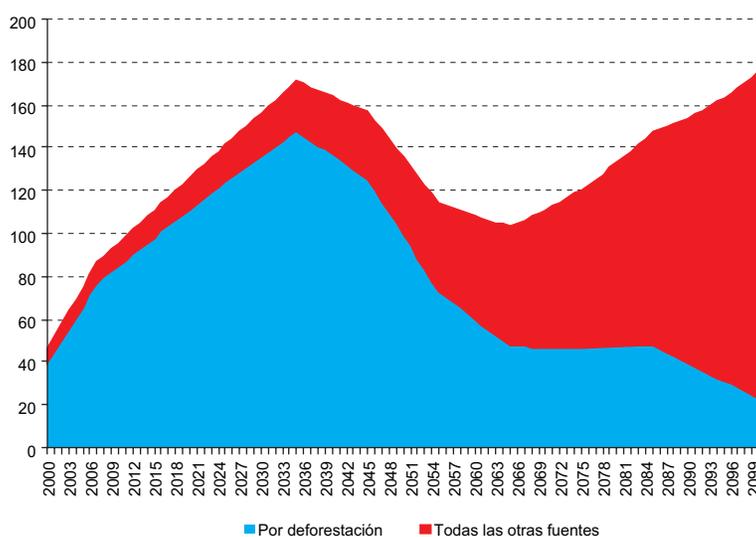
⁴³ De acuerdo con cifras mundiales del Centro Común de Investigación de la Unión Europea y la Herramienta de indicadores de *análisis* climático (CAIT) del Instituto de Recursos Mundiales.

a aumentar por los cambios en la producción hacia finales del siglo, y llegarían a 176 millones de toneladas anuales en 2100⁴⁴.

Las emisiones anuales per cápita cambiarían de 15 toneladas de CO₂e a 12 toneladas en 2035, para llegar a 11 toneladas en 2100, lo que corresponde al nivel actual de emisiones en países europeos.

Actualmente, el PIB generado por cada tonelada de CO₂e emitida es de 292 dólares y se espera que esta cifra aumente a 1.200 dólares en 2100 (medidos en dólares de 2007). Esto es mucho menor que los niveles que hoy se logran en países desarrollados, ya que los Estados Unidos producen casi 2.000 dólares por tonelada emitida y España produce más de 3.000 dólares por tonelada, lo que sugiere que con transferencia de tecnología actual y futura se podrían reducir sustancialmente las emisiones del Estado Plurinacional de Bolivia.

Gráfico VI.1
Emisiones anuales, 2000–2100
(En millones de toneladas de CO₂e)



Fuente: Resultados del modelo BOLIXXI en el escenario base.

B. Oportunidades para mitigación

En la presente sección se detallan las oportunidades de mitigación en los sectores con mayores emisiones de CO₂ en el país.

1. Mitigación para el control de la deforestación y cambio de uso del suelo

En el escenario base, durante el siglo XXI se prevé la deforestación de alrededor de 33 millones de hectáreas de bosque boliviano (Andersen, 2014), con un contenido de CO₂ medio de 550 toneladas por hectárea⁴⁵. Esto significa la emisión de 18.000 millones de toneladas de CO₂ del sector de cambio de uso del suelo, por lo que existe un enorme potencial de reducción de emisiones en este sector.

⁴⁴ Cifras tomadas a partir de proyecciones del modelo BOLIXXI.

⁴⁵ De acuerdo con valores de contenido de carbono “por defecto” del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

La deforestación está vinculada con la expansión de la frontera agropecuaria, que tiene efectos positivos en términos de producción de alimentos, generación de empleo, ingresos, exportaciones y reducción de pobreza. Estos aspectos deben contrarrestarse con los efectos negativos sobre la biodiversidad y los servicios ambientales locales y globales brindados por los bosques.

En general, si no se toman en cuenta los servicios ambientales locales y globales, ni las externalidades, los beneficios del bosque no pueden competir con los de las actividades agrícolas y pecuarias, por lo que los dueños de tierras boscosas preferirían convertirlas en tierras agropecuarias.

Sin embargo, la aprobación de la Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien (ley n° 300 del 15 de octubre de 2012), marca un posible cambio en las prioridades nacionales a favor de los bosques. Esta ley no solo prohíbe de manera absoluta la conversión de uso de suelos de bosque a otros usos en zonas de vida de aptitud forestal, excepto cuando se trata de proyectos de interés nacional y utilidad pública (título III, artículo 25, párrafo 4), sino que también crea el Mecanismo Conjunto de Mitigación y Adaptación para el Manejo Integral y Sustentable de los Bosques de la Madre Tierra. Este Mecanismo, que constituye una propuesta alternativa al mecanismo internacional REDD+, puesto que no está basado en la venta de certificados de reducción de emisiones de CO₂ al mercado de carbono, proporcionaría incentivos y apoyo para el manejo integral y sostenible de los bosques, e incentivos negativos a la deforestación ilegal.

El Estado Plurinacional de Bolivia ya ha conseguido más de 25 millones de dólares en apoyo internacional para diseñar e implementar el Mecanismo Conjunto (sobre todo de la Embajada Real de Dinamarca y de ONU-REDD), pero para cambiar el balance a favor de los bosques y lograr una reducción importante de la deforestación (más del 30%), se necesitarían unos 250 millones de dólares cada año en apoyo internacional (INESAD, 2012).

En promedio, cada hectárea deforestada aumenta unos 1.000 dólares el PIB del país (valor neto presente con una tasa de descuento del 12,67%), pero algunas áreas brindan más beneficios que otras⁴⁶. En general, más del 80% del área deforestada brinda beneficios mucho menores que el promedio, según una encuesta de establecimientos en la frontera agrícola del país. Esto significa que se podría lograr una importante reducción de la deforestación con un costo relativamente moderado y con efectos menores sobre la producción agropecuaria y los ingresos de los hogares rurales (Andersen y otros, 2009). Lo ideal sería convencer a los agricultores menos productivos de que cambien sus actividades y apoyarlos en esa tarea, además de permitir que los que tengan mejores rendimientos sigan cultivando sus productos, o incluso promover el aumento de sus actividades.

Para maximizar los beneficios de las actividades agropecuarias, y paralelamente los de conservación, sería recomendable diseñar, de manera consensuada, dos mapas: uno de prioridades de conservación, tomando en cuenta todos sus beneficios y no solo el secuestro de carbono, y otro de prioridades de desarrollo humano, que considere el potencial agropecuario de los suelos y el acceso a los mercados.

Una vez elaborados, ambos mapas se deben sobreponer para identificar tres tipos de áreas: 1) las que deberían protegerse, 2) las que merecen inversión pública para facilitar el desarrollo humano y 3) aquellas donde existe un conflicto entre los dos objetivos y que necesitan incentivos especiales para resolverlo. Un ejemplo de este tipo de análisis se encuentra en Andersen, Ledezma y Vargas (2006).

Los fondos que el país podría recaudar a través del Mecanismo Conjunto se deberían destinar a: 1) inversión pública en áreas prioritarias para el desarrollo humano, 2) protección legal y real de las áreas que brindan los mayores beneficios de conservación y 3) incentivos especiales en áreas de conflicto entre los dos objetivos. Estos incentivos especiales pueden incluir inversión en actividades que aprovechen el ecosistema intacto, pero que, al mismo tiempo, generen ingresos, como el ecoturismo.

⁴⁶ La tasa de descuento del 12,67% es la tasa de descuento oficial para proyectos públicos de inversión.

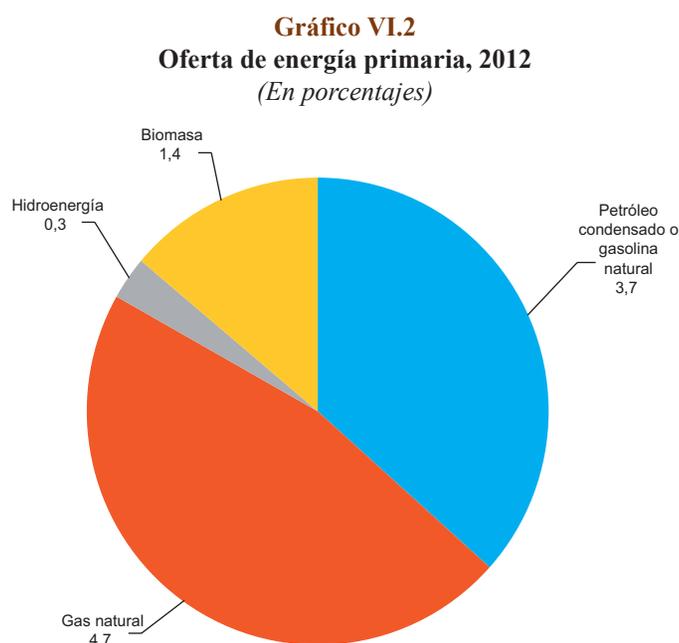
Con esta combinación de políticas se podría llegar a una situación que beneficie a todos, con inclusión de:

- los agricultores menos productivos, que recibirían ayuda para generar ingresos más allá de la agricultura;
- los agricultores más productivos, que recibirían inversión pública (por ejemplo, infraestructura de exportación) que les ayudaría a mejorar aún más su productividad;
- la biodiversidad, por la menor deforestación y la mayor protección;
- las poblaciones locales, por la menor frecuencia de inundaciones y deslizamientos causados por la deforestación, y un mayor acceso a productos y servicios de los bosques;
- el clima global, por las menores emisiones de CO₂, y
- las finanzas públicas, ya que el país recibiría contribuciones importantes por los servicios ambientales globales que ahora brinda de manera gratuita.

2. Mitigación en los sectores de energía y transporte

El sector energético ocupa el segundo lugar en emisiones de CO₂ después del sector de uso de la tierra y cambio de uso del suelo. Según un estudio realizado por el Programa Nacional de Cambio Climático, el potencial teórico de reducciones en el sector energético en el período 2001-2012 era de 21 millones de toneladas de CO₂ (un 2,33% de las emisiones totales). El gobierno ha empezado a implementar algunas medidas en el sector energético, especialmente las que tienen costos negativos (MMA/PNCC, 2009).

La actual matriz de oferta energética se puede dividir en cuatro tipos de energía: petróleo condensado, gas natural, hidroenergía y biomasa (véase el gráfico VI.2). Si bien el país comparte la tendencia latinoamericana de mayor uso de combustibles fósiles, lo que lo diferencia de otros países es que exporta hacia la Argentina y el Brasil debido a sus considerables reservas de gas natural.



Fuente: Balance Energético Nacional 2008-2012, Ministerio de Hidrocarburos y Energía de Bolivia.

En lo que respecta al consumo, el país importa diésel y gasolina. El diésel es subvencionado por el Estado al mercado interno, lo que representa un incentivo económico para diversificar la matriz energética y utilizar más gas natural. Las medidas de mitigación apuntan a esta estrategia. En el cuadro VI.1 se registra la tendencia de los últimos años hacia un mayor consumo de gas natural. En el período 2001-2012, el consumo de gas natural aumentó del 12% al 22%, mientras que el de biomasa se redujo del 23% al 16%.

Cuadro VI.1
Consumo de energía total, por recurso energético
(En porcentajes)

Recurso energético	2001	2008	2009	2010	2011	2012
Electricidad	10,8	11,1	11,1	11,0	10,5	10,4
Gas licuado de petróleo	10,0	9,1	8,8	8,5	8,0	7,7
Diésel	22,8	25,4	23,4	24,2	24,3	24,7
Gasolinas	16,1	15,4	16,1	16,5	16,7	16,9
Gas natural	12,3	18,5	20,6	20,4	21,6	22,3
Biomasa	23,0	17,3	17,0	16,4	15,9	15,7
Otros derivados	5,2	3,1	3,0	2,9	3,0	2,4
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: Ministerio de Hidrocarburos y Energía de Bolivia, Balance Energético Nacional 2012.

En el Plan Nacional de Desarrollo se prevén acciones de mitigación relacionadas principalmente con la eficiencia energética, el cambio de la matriz energética y el uso de los recursos naturales renovables. Los programas de este plan incluyen, entre otras, medidas para el fomento del uso del gas natural vehicular, la implementación de focos ahorradores y el aumento de la generación por hidroelectricidad (MMA/PNCC, 2009). A continuación se detallan acciones en los sectores de suministro de energía, industria, transporte, residencial y comercial.

a) Suministro de energía

El programa de hidroelectricidad impulsa el uso de este recurso renovable y se ha puesto en marcha mediante la implementación de 6 grandes centrales hidroeléctricas con la proyección de generar 3.290 MW en los próximos 10 años y con una inversión de 5.600 millones de dólares. Entre estos proyectos se encuentran los de Cachuela Esperanza (Beni), Miguillas (La Paz), San José (Cochabamba), Rositas (Santa Cruz) y El Bala (La Paz). A su vez, la generación geotérmica se ubica en Laguna Colorada (Potosí) y según el Plan de Desarrollo Energético, Análisis de escenarios: 2008-2027, este proyecto tiene un potencial de generación eléctrica de 120 MW.

Además, dadas sus características geográficas, el territorio boliviano cuenta con un gran potencial de generación eólica y solar. Según el Mapa Eólico de Bolivia (Ministerio de Hidrocarburos y Energía, 2009), el país posee extensas regiones donde la velocidad del viento es mayor de 12 km/h, que es la cantidad mínima para ser establecida como potencial. Por otra parte, el territorio recibe la mayor radiación solar del mundo, que en algunas partes de Potosí llega a 7,8 kWh/m² por día. Esta situación ha posibilitado el aprovechamiento de esta fuente de energía tanto para la producción de electricidad, como para el calentamiento de agua. El uso de esta energía en el país todavía no ha sido cuantificado (MMA/PNCC, 2009).

El Programa Nacional de Cambio Climático, a través de su Plan Quinquenal, ha impulsado la iniciativa de pequeñas comunidades para la construcción de microcentrales hidroeléctricas: San José, Challapampa, Samañapampa, Añilaya, Choro, Palmeras Nueva Unión, Quinuni y Yerbani.

b) Industria

Se aumentará la generación energética con fines industriales mediante plantas termoeléctricas que se alimentan con gas natural. En particular, se espera un incremento en el consumo de energía por el inicio de operaciones de la Empresa Siderúrgica del Mutún en Santa Cruz. Este es uno de los depósitos más grandes de hierro del mundo y se prevé que la siderúrgica consuma 450 MWh más de energía diarios para producir hierro y acero, lo que representaría un incremento del 50% respecto de la generación actual (de casi 900 MWh).

c) Transporte

Debido al subsidio al diésel y la gasolina, el gobierno prioriza las conversiones de vehículos a gas natural. Mediante el Decreto Supremo 0247 (agosto de 2009), se dispuso que la recalificación y conversión de autos a gas natural vehicular sea gratuita y para ello se crearon dos fondos de ayuda: uno de conversión de vehículos a gas y otro de recalificación y reposición de cilindros de gas natural. Para estos fondos se obtuvieron alrededor de 10 millones de dólares, lo que en 2008 permitió que 15.000 vehículos fueran transformados a gas natural y 18.000 fueran recalificados (MMA/PNCC, 2009).

La reconversión vehicular de gasolina a gas natural supondría un 30% menos de emisiones de CO₂ en la flota vehicular (Ingersoll, 1996). Asimismo, a partir de 2008 se ha prohibido la importación de vehículos con una antigüedad mayor a 2004. El uso de gas natural se puede considerar como una tecnología de transición a tecnologías de emisión cero.

d) Residencial y comercial

Parte de la estrategia del gobierno consiste en realizar conexiones de gas natural domiciliario a razón de 100.000 por año, para lo cual el Ministerio de Hidrocarburos y Energía instauró un plan quinquenal. Según el Plan Nacional de Desarrollo, el Estado prioriza la masificación del uso del gas natural en el mercado interno. Por ello, la empresa estatal busca más inversión en exploración de nuevos campos.

Otra medida de mitigación llevada a cabo con esfuerzos nacionales, para mejorar la eficiencia energética, corresponde a la implementación del programa de cambio de focos ahorradores en los hogares. En una primera fase, se distribuyeron gratuitamente 7,9 millones de focos ahorradores, lo que significa un 30% de ahorro en el consumo eléctrico (MMA/PNCC, 2009). El ahorro corresponde a una reducción de la demanda eléctrica de 72 MW, especialmente en horas pico. Como parte de una segunda fase, lanzada en 2011, se aspira a ahorrar 17,4 MW más.

En el Estado Plurinacional de Bolivia se presenta una gran oportunidad, ya que convergen la mitigación con la inversión económica en tecnologías más limpias. El país posee uno de los depósitos de litio más grandes del mundo en el área de Uyuni, en el departamento de Potosí (5,5 millones de toneladas, según la United States Geological Survey). Esto permitiría, por ejemplo producir baterías de litio para vehículos eléctricos.

El gobierno se encuentra negociando con países interesados (como Alemania, Francia y el Japón) en la explotación y manufactura de baterías, y ya estableció una planta piloto para el aprovechamiento de los depósitos de litio, con una inversión inicial de 5,7 millones de dólares⁴⁷. Según el Ministerio de Minería y Metalurgia, esta planta costaría entre 200 y 250 millones de dólares y la meta del gobierno no es solo exportar los recursos naturales, sino también retener parte de la manufactura en el país para la creación de empleos.

⁴⁷ Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos, Corporación Minera de Bolivia. Véase [en línea] <http://www.evaporiticobolivia.org/index.php?Modulo=Temas01&Opcion=Direccion>.

3. Antecedentes de los costos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector energético

En un estudio realizado por el Programa Nacional de Cambio Climático en 2000, se estimaron los costos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Se proyectaron emisiones para la producción, transformación y demanda de energía, y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a estas actividades, usando el Sistema de Planificación de Energías Alternativas de Largo Alcance (LEAP). En el estudio se describe el potencial de mitigación de gases de efecto invernadero mediante varias opciones en el sector, usando dos variantes de desarrollo socioeconómico del país (modesto y alto), tomando en cuenta el crecimiento del PIB y el crecimiento de la población. El análisis se realizó con proyecciones a 2030 (MPD/PNCC, 2000).

Los escenarios (modesto y alto) consideraron 13 opciones de mitigación, que asumen la introducción de tecnologías eficientes y de fuentes de energía con menor contenido de carbono en sustitución de otras, o bien el uso de fuentes de energías renovables, especialmente para la generación de energía eléctrica en el área rural del país y la disminución de la intensidad de uso energético de algunos combustibles.

Los escenarios de mitigación comparados con los respectivos escenarios base muestran que las emisiones totales de CO₂ se pueden reducir aproximadamente un 10,7% para 2020 y un 12,6% para 2030 en el escenario modesto. En el escenario alto estas reducciones podrían ser del 12,8% para 2020 y del 13,8% para 2030. Como resultado del análisis de costo-beneficio, medidas como la redistribución de opciones de expansión de generación de energía eléctrica y el incremento del uso de gas natural en el sector del transporte generan una mayor reducción de emisiones de CO₂ a un menor costo.

VII. Síntesis de la evaluación del cambio climático

En el presente estudio se ha mostrado que los efectos indirectos del cambio climático son mayores que los efectos directos en los sectores más dependientes del clima. Si bien puede haber efectos positivos en ciertos lugares y sectores, el análisis en general muestra que habría importantes pérdidas atribuibles al cambio climático. Esto sugiere una transversalidad de los efectos en el país, tanto a nivel sectorial como territorial.

A. Análisis de los impactos económicos

Si las proyecciones climáticas del modelo PRECIS se materializan, los principales costos económicos para el país estarían asociados a: 1) la destrucción de infraestructura pública, como caminos, puentes y servicios básicos, a causa de inundaciones, lo que afecta la productividad de todos los sectores de la economía; 2) la destrucción de cultivos y capital privado por fuertes precipitaciones y sequías, y 3) la reducción de la biodiversidad, lo que afectaría sobre todo a la silvicultura, la caza y la pesca, y la ganadería en el Altiplano.

Si se consideran los efectos directos e indirectos del cambio climático durante el período 2010-2100, el principal sector afectado sería el agropecuario. Valorada a una tasa de descuento del 0,5%, la agricultura industrial experimentaría pérdidas medias del 17% y el 11% del PIB sectorial en los escenarios A2 y B2, respectivamente. Por su parte, la agricultura tradicional también registraría pérdidas del 14% y el 6% del PIB sectorial en dichos escenarios. La ganadería, por su parte, se vería afectada con pérdidas del 8% y el 3% del PIB del sector para los escenarios A2 y B2.

El total de las pérdidas asociadas al cambio climático para el período 2010-2100 para el escenario A2 se encontraría entre el 4,75% y el 2,87% del PIB, con tasas de descuento de entre el 0,5% y el 4%, respectivamente. En el caso del escenario B2, para el mismo rango de tasas de descuento, las pérdidas estarían entre el 2,18% y el 1,32% del PIB. En esta estimación se incluyen los potenciales efectos sobre los sectores de agricultura (tradicional e industrial), ganadería, silvicultura, minería, hidrocarburos, manufacturas, generación eléctrica (termoelectricidad e hidroelectricidad), agua, construcción, transporte y otros servicios.

Si bien la industria manufacturera no sufre los efectos directos del cambio climático, registra las mayores pérdidas con respecto al PIB total debido a los efectos indirectos. Estas pérdidas equivaldrían

al 1,2% y el 0,6% del PIB total para los escenarios A2 y B2, respectivamente, con una tasa de descuento del 0,5%, y se encuentran asociadas a disminuciones en la provisión de insumos, menores ingresos y daños en infraestructura.

El modelo multisectorial de equilibrio general BOLIXXI, utilizado para estimar los impactos económicos del cambio climático, incluye la intervención del gobierno en la reconstrucción. El gasto público en reconstrucción reduce los efectos del cambio climático al incluir inversiones públicas adicionales para reconstruir la infraestructura perdida por eventos extremos. En contrapartida, significa un aumento en el déficit fiscal en promedio para el período 2010-2100 del 4% del PIB en el escenario A2 y del 0,5% en el escenario B2, con una tasa de descuento del 0,5%.

Dependiendo de la fuente de financiamiento, este incremento del gasto público podría traducirse en un aumento de la deuda pública. En promedio, con una tasa de descuento del 0,5%, esta aumentaría un 28% y un 10% para los escenarios A2 y B2, respectivamente.

B. Análisis de las medidas de adaptación

Como se mostró en este estudio, los cambios esperados en los patrones de precipitación son los que probablemente tendrán los mayores impactos económicos en el país. Se prevé escasez de precipitaciones en ciertas áreas y exceso de agua en otras. Los efectos adversos pueden reducirse mediante las acciones de adaptación:

- **Planificación territorial y manejo de la migración interna:** evitarían que los asentamientos humanos se localicen en zonas vulnerables.
- **Control de deforestación y reforestación:** permitiría reducir la severidad de las inundaciones, controlar los usos del suelo y mantener la biodiversidad.
- **Sistemas de riego:** reducirían los efectos sobre la agricultura en áreas sensibles a las variaciones de la precipitación.

Además, se deben considerar los efectos sinérgicos de las medidas anteriores, como la mejora en la eficiencia del uso de los recursos hídricos y la disminución en la desigualdad de acceso al agua para consumo humano. Es necesario tomar como prioridad proyectos para la reparación y el mantenimiento de las redes de distribución de agua en poblaciones vulnerables, como El Alto y La Paz.

Por otra parte, se deben fortalecer los mecanismos existentes para reducir la exposición al riesgo climático. El gobierno ya ha dado pasos en ese sentido, mediante la creación del Seguro Agrario Universal “Pachamama” (ley núm.144), una medida de adaptación que permite asegurar la producción agraria afectada por daños provocados por fenómenos climáticos y desastres naturales adversos.

C. Análisis de las oportunidades para mitigación

Las medidas de mitigación que se adopten en el país en las próximas décadas deberían focalizarse sobre todo en el control de la deforestación y la planificación del cambio de uso del suelo, así como en los sectores de energía y transporte.

Sería necesario profundizar en los mecanismos e incentivos nacionales para reducir la deforestación y aumentar el acceso al financiamiento internacional. A la vez, se cuenta con un gran potencial para producir energía renovable (hidroeléctrica, eólica y solar) y con importantes reservas de gas natural y de litio. Este último representa una oportunidad para desarrollar la industria de la energía limpia a través de la producción de baterías de litio.

Para la segunda mitad del siglo XXI se espera que los sectores productivos tengan un mayor peso relativo en las emisiones de CO₂ del país. Por ello, existiría un gran potencial para la reducción de las emisiones mediante la transferencia de tecnologías limpias y su inclusión en los procesos de producción. De este modo, el sistema productivo nacional podría ser mucho más eficiente y limpio que lo proyectado en el escenario base. El aprovechamiento de estas oportunidades dependerá de los incentivos al acceso y desarrollo de tecnologías, así como de la inversión extranjera directa.

D. Aclaraciones y limitaciones del estudio

En el presente análisis se utilizan diversos enfoques y supuestos con el fin de dimensionar los costos económicos que el cambio climático podría tener para el desarrollo sostenible del Estado Plurinacional de Bolivia. Esta evaluación es compleja e implica relacionar procesos de diferentes características y naturaleza (sociales, ambientales, económicos, de política internacional).

Este estudio se enmarca en el ejercicio regional La Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe, liderado por la CEPAL, que desde el comienzo estableció diversos supuestos y parámetros de diseño acordados con los representantes de los países de la región y el panel de expertos internacionales.

Los principales supuestos se relacionan con: i) la elección del horizonte temporal de análisis de 100 años, período que debería ser lo suficientemente largo para que la señal del cambio climático antropogénico pudiera distinguirse de la variabilidad climática natural; ii) la utilización del modelo PRECIS como base para las simulaciones de cambio climático; iii) la elección de diferentes tasas de descuento para analizar el impacto de la temporalidad de los efectos del cambio climático sobre los costos, y iv) la realización de análisis sectoriales a partir de la comparación de los escenarios climáticos A2 y B2. La elección de estos supuestos se basó en la mejor información disponible a la fecha de inicio del estudio, buscando similitudes entre países y la mayor precisión que los modelos podían entregar.

1. Incertidumbres asociadas a los modelos climáticos

Los modelos climáticos constituyen una de las herramientas más usadas para estudiar la evolución futura del clima. No obstante, dada la complejidad y la falta de linealidad de los sistemas climáticos, estos modelos pueden representar ciertos procesos de forma imprecisa. Los procesos que controlan la formación de lluvias, por ejemplo, ocurren a escalas menores que las que usan los modelos actuales.

Los factores de incertidumbre de estos modelos se relacionan con la resolución espacial y con la complejidad de ciertos procesos, como, por ejemplo, los relacionados con la formación de nubes. Por este motivo, existen fenómenos que deben ser parametrizados y representados de manera simplificada. Para el caso boliviano se utiliza el modelo regional PRECIS, que ofrece un mayor detalle geográfico que los modelos globales. Sin embargo, debido a los fuertes gradientes altitudinales existentes en la zona occidental del país, este modelo podría ofrecer resultados imprecisos para esta región.

La amplia incertidumbre futura, relacionada con las simulaciones y proyecciones de los modelos, generaría diferencias entre los datos proyectados y los reales. Esto se debería principalmente a la naturaleza no lineal del comportamiento atmosférico y oceánico, así como a un conocimiento imperfecto de las condiciones iniciales de los modelos. Por ejemplo, la posibilidad de un cambio climático abrupto, como el que podría ser causado por la emisión súbita de depósitos de metano en las áreas polares, forma parte de esta incertidumbre.

Por todo lo expuesto, se recomienda utilizar diferentes modelos y escenarios climáticos para evaluar la confiabilidad de los resultados obtenidos. Esta recomendación es una opción de mejora para el futuro que no fue posible poner en práctica en el presente estudio, por lo que los resultados mostrados deben tratarse con precaución.

2. Incertidumbres asociadas a la construcción del escenario económico

Al momento de analizar los impactos económicos del cambio climático es necesario considerar el gran margen de incertidumbre, no solo de los modelos climáticos, sino también de los modelos económicos y sectoriales. Por ello, las proyecciones elaboradas constituyen escenarios que probablemente puedan ocurrir, pero no son pronósticos. Además, se debe destacar el amplio abanico de métodos y técnicas que permiten llevar a cabo este análisis, lo que no hace posible definir una opción que se considere superior a las otras (Stern, 2007).

Por este motivo, en este estudio se diseñó una metodología específica (dentro del marco general del estudio regional) para aumentar la precisión de los resultados e incluir el tratamiento de las principales incertidumbres. En particular, se elaboró una trayectoria base de la economía boliviana hasta 2100, tomando en cuenta una serie de cambios estructurales que ya se pueden prever. Sin embargo, en el futuro habrán otros cambios que todavía no se pueden anticipar, por lo que el escenario base usado sería conservador.

Dentro de las limitaciones en las proyecciones se asume que los métodos de producción y la composición del consumo cambian en menor medida, aunque la economía se vuelva más grande. Esto da un mayor peso a sectores que hoy son importantes para el país, pero que no necesariamente lo serán en un futuro. Se esperaría que a medida que la economía crezca, la importancia relativa de los sectores cambie, al igual que la estructura de producción a nivel sectorial. Con la información con que se cuenta en la actualidad no es posible proyectar con exactitud estos cambios.

A nivel sectorial también se encuentran limitaciones asociadas con la falta de información en algunos sectores, además de los distintos grados de incertidumbre del propio fenómeno del cambio climático.

3. Efectos y sectores no contabilizados

Debido a las limitaciones y a la priorización necesaria del enfoque sectorial, no ha podido contabilizarse la totalidad de los efectos del cambio climático en la economía. Entre los efectos que no fue posible contabilizar se destacan la migración causada por la sequía y los procesos de desertificación, los conflictos por la disponibilidad de agua, los efectos en la actividad turística, el desarrollo y la adopción de tecnologías más limpias y las medidas de adaptación y mitigación en otros países. En este último caso, por ejemplo, es importante considerar el efecto que la producción de biocombustibles tendría sobre los precios de los alimentos y la expansión de la frontera agrícola. Todos estos efectos son muy difíciles de proyectar en la actualidad y esto aumenta el grado de incertidumbre asociado a los resultados.

Al mismo tiempo, tanto el escenario base como los escenarios A2 y B2 suponen los mismos precios mundiales (por ejemplo, de alimentos y petróleo), la misma estructura de las transferencias e inversiones extranjeras, y la misma demanda de productos bolivianos. De todos modos, y pese a estas limitaciones, los cálculos realizados permitieron definir las áreas de estudio, los sectores y los impactos que se deben analizar en profundidad, y, en especial, las medidas prioritarias que se deben tomar en virtud de los resultados.

VIII. Estrategias de cambio climático en el país

El cambio climático puede tener gran incidencia en la economía boliviana en el largo plazo, sobre todo por el aumento de la frecuencia de los eventos extremos de precipitación, proyectados por los escenarios climáticos, que destruirían parte de la infraestructura pública.

Estos impactos tendrían costos significativos que podrían afectar los procesos de desarrollo y la reducción de pobreza. Esto implica mayores inversiones en actividades de adaptación y mitigación que deben contar con el correspondiente financiamiento.

A. El contexto internacional y la estrategia nacional

Para hacer frente al cambio climático, la comunidad internacional ha adoptado distintos mecanismos, entre los que se encuentran los de mercado, como el mecanismo de desarrollo limpio, los fondos internacionales para la adaptación y mitigación, y las transferencias de tecnologías. En su Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2009, el Estado Plurinacional de Bolivia promueve principios e instrumentos que no son de mercado (no incluyen mecanismos de financiamiento asociados a los mercados de carbono) y que se basan en la Declaración de los Derechos de la Madre Tierra, la participación activa de los pueblos indígenas, la deuda climática y las reducciones profundas de emisiones por parte de los países desarrollados, la transferencia de tecnologías limpias a países en desarrollo y un financiamiento integral (MMA, 2010).

B. Financiamiento de las estrategias de cambio climático

De acuerdo con la posición del Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia, las estrategias nacionales de cambio climático se deberían financiar con fondos provenientes de los países desarrollados a causa de la deuda climática que estos mantienen⁴⁸. Esta deuda debería pagarse en términos de reducción de emisiones, aumento del financiamiento, transferencia de tecnológica efectiva y fortalecimiento de capacidades (MMA/PNCC, 2009).

⁴⁸ La deuda climática se asocia a la deuda de emisiones y de adaptación que los países desarrollados tendrían con el resto del mundo.

Se considera acceder a mecanismos de financiamiento y cooperación a través de organismos internacionales como el BID, el Banco Mundial y las cooperaciones bilaterales. También se prevé la participación en los Fondos de Inversión en el Clima (que se dividen en el Fondo de Tecnología Limpia y el Fondo Climático Estratégico), el Programa Piloto de Resiliencia al Cambio Climático, el Programa de Inversiones en Bosques y el Programa de Incremento de Energías Renovables en Países con Bajos Ingresos⁴⁹.

Actualmente, el gobierno boliviano se encuentra preparando un proyecto de 86 millones de dólares bajo el Programa Piloto de Resiliencia al Cambio Climático, que financiaría un plan integral de mejora en el manejo de los recursos hídricos en tres subcuencas priorizadas y la capacidad de planificación a nivel nacional. El diseño del proyecto está a cargo del gobierno y cuenta con el apoyo del BID y el Banco Mundial⁵⁰.

Como se mencionó en el capítulo VI, en las próximas décadas, el país tendría distintas oportunidades en esta área, sobre todo en la reducción de la deforestación, para lo que será necesario obtener financiamiento internacional que apoye los mecanismos e incentivos nacionales en esta temática.

C. Hacia una economía baja en carbono y un desarrollo sostenible de largo plazo

El desarrollo de una economía baja en carbono y sostenible desde el punto de vista ambiental comparte los principios y las directivas del Plan Nacional de Desarrollo de Bolivia, en particular del concepto de “vivir bien en armonía con la naturaleza”.

Debido a la abundancia relativa de recursos energéticos, el país puede pasar de una fase de dependencia de los combustibles fósiles, como la gasolina y el diésel, a una fase transitoria de uso de combustibles más limpios y baratos, como el gas natural y las energías renovables. Al final de esta fase se podrían implementar tecnologías de bajas emisiones de gases de efecto invernadero, como, por ejemplo, las baterías de litio.

Por otra parte, una de las mayores prioridades para reducir las emisiones y vivir en armonía con la naturaleza es mejorar la gestión del uso del territorio relacionada con el proceso de deforestación, que causa daños económicos, sociales y ambientales. En este sentido, el gobierno ha logrado avances en la reducción de los niveles de deforestación a través del Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP) como entidad administradora y gestora de áreas protegidas de gran valor en cuanto a biodiversidad y reservorio de ecosistemas boscosos. Dentro de las áreas protegidas, por ejemplo, existen grandes extensiones de superficies en proceso de regeneración natural (SERNAP, 2013).

⁴⁹ Estos fondos apoyan programas piloto con potencial de crecimiento, que apuntan a un reto climático específico o a una respuesta sectorial.

⁵⁰ Véase [en línea] https://www.climateinvestmentfunds.org/cif/sites/climateinvestmentfunds.org/files/PPCR_Bolivia.pdf.

IX. Conclusiones y recomendaciones de política pública

En este estudio se ha mostrado que el cambio climático puede tener impactos económicos importantes para el país. En promedio, durante el resto del siglo XXI, se espera que las pérdidas totales a causa del cambio climático, medidas como porcentaje anual del PIB, se ubiquen en un rango de entre el 2,87% y el 4,75% para el escenario A2 y de entre el 1,32% y el 2,18% para el escenario B2.

Estos impactos están asociados principalmente a efectos indirectos del cambio climático y contemplan, en forma transversal, a diversos sectores económicos y zonas geográficas del país. Las variaciones en los patrones de precipitación tendrían efectos negativos en la infraestructura pública, los cultivos y la biodiversidad, entre otros.

El sector más afectado en forma directa sería el agropecuario. En particular, la agricultura industrial experimentaría pérdidas medias de entre un 11% y un 17% del PIB sectorial a una tasa de descuento casi nula para ambos escenarios. Por su parte, la agricultura tradicional tendría un costo anual de entre el 6% y el 14% del PIB sectorial. Respecto de los impactos indirectos, el principal sector afectado es la industria manufacturera, que tendría pérdidas de entre el 3% y el 7% del PIB sectorial, para los escenarios A2 y B2, respectivamente.

Estos resultados solo deben tomarse como referencia debido al alto grado de incertidumbre asociado a los modelos y la incerteza en la evolución futura de la economía boliviana. Además, se ha usado un escenario base conservador, donde la economía boliviana crece a un ritmo medio del 3% anual, pero mantiene su estructura y tecnología productiva.

Para poder avanzar en la estimación de los impactos del cambio climático en el país, y en el diseño de políticas de adaptación, es vital estudiar con mayor detalle las variaciones en la precipitación en el pasado y mejorar la modelación y calibración del ciclo hídrico en los modelos climáticos.

Tomando en consideración la incertidumbre respecto del clima y la economía, es recomendable tomar los resultados de este estudio como una herramienta para priorizar y concentrar la atención en los siguientes problemas que son urgentes, y que seguramente se volverán más críticos en el futuro:

- **Inversiones en sistemas de agua potable y agua para riego.** Serán necesarias dado el creciente nivel de escasez que se experimentará por el gran aumento de la demanda y la probable reducción de la disponibilidad de agua. Se debe evitar realizar inversiones en

infraestructura de riego y agua potable en áreas donde se proyectan déficits de agua para alimentar estos sistemas.

- **Ordenamiento territorial y manejo de la migración interna.** Ayudarían a limitar el número de personas que habitan en áreas altamente vulnerables a eventos climáticos adversos y pueden prevenir posibles conflictos sobre recursos escasos (como agua y suelos fértiles).
- **Prevención de pérdidas debido a la variabilidad en las precipitaciones.** Es necesario implementar sistemas de riego eficientes ante precipitaciones extremas y sequías. Además, es esencial controlar la deforestación para no exacerbar el problema de las inundaciones en las tierras bajas.
- **Reducciones de vulnerabilidades en general.** La educación, la urbanización y el desarrollo mejorarán la capacidad adaptativa de la población, con lo que se reducirán los impactos indirectos adversos.
- **Reducción de la contaminación de recursos hídricos.** A través de la limpieza de aguas contaminadas por la actividad minera, centros urbanos y actividades industriales, se incrementaría el agua disponible para riego y otros usos que no requieran potabilización.

El país también puede contribuir de manera significativa a la mitigación del cambio climático. Si bien sus emisiones totales de gases de efecto invernadero solo representaron alrededor del 0,3% de las emisiones mundiales en 2010, es necesario considerar el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas, ya que su contribución a este problema mundial es muy limitada, si se compara con el gran impacto que sufre el país. Cabe señalar que, especialmente durante la primera mitad del siglo XXI, el país tendrá un gran potencial para reducir las emisiones al evitar la deforestación. En el futuro, con los avances tecnológicos esperados, también puede contribuir a la producción de baterías de litio, que son importantes para el almacenamiento de energía renovable en todo el mundo, y habrá espacio para mejorar la eficiencia energética.

Bibliografía

- Aceituno, P. y A. Montecinos (1992), “Precipitación en el altiplano sudamericano: variabilidad interanual e intraestacional y mecanismos asociados”, documento presentado en el primer Congreso Iberoamericano de Meteorología, octubre, España.
- Alves, L. M. (2007), “Simulações da Variabilidade do Clima Presente sobre a América do Sul Utilizando um Modelo Climático Regional. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia”, São José dos Campos, INPE, Brasil.
- Andersen, L. E. (2014), “La economía de cambio climático en Bolivia: Impactos sobre la Biodiversidad”, Monografía, N° IDB-MG-192, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Andersen, L. E. y N. Calvo (2009), “Las clasificaciones de bosque y contenido de carbono usados para Bolivia (Tier-1)”, presentación en taller técnico sobre REDD, La Paz, 30 de noviembre.
- Andersen, L. E. y O. Nina (2007), “Geographical constraints to growth in Bolivia”, *Documento de Trabajo sobre el Desarrollo*, N° 05/2007, La Paz, Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, marzo.
- Andersen, L. E., L. Jemio y H. Valencia (2014), “La economía de cambio climático en Bolivia: Impactos en el sector agropecuario”, Monografía, N° IDB-MG-191, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Andersen, L. E., J. Escobar y J. C. Ledezma (2009), “Escenarios de deforestación en Bolivia en base a escenarios socioeconómicos”, documento elaborado para la Oficina de Desarrollo Limpio, La Paz, enero.
- Andersen, L. E., J. C. Ledezma y M. Vargas (2006), “Un mosaico de conservación, desarrollo humano y tensiones en el Corredor Amboró-Madidi”, *Documento de Trabajo sobre el Desarrollo*, N° 04/2006, La Paz, Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, junio.
- Andersen, L. E. y otros (2002), *The Dynamics of Deforestation and Economic Growth in the Brazilian Amazon*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Andrade, M. (2014), “La economía del cambio climático en Bolivia: validación de modelos climáticos”, Monografía, N° IDB-MG-184, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Arenas, J. (2014), “La economía del cambio climático en Bolivia: Impactos de eventos extremos sobre infraestructura y producción agropecuaria”, Monografía, N° IDB-MG-190, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Asquith, N. y M. T. Vargas (2007), “Tratos justos para servicios hidrológicos en Bolivia”, *Temas de Recursos Naturales*, N° 7, Londres, Instituto Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo.
- Boom, B. M. (1987), “Ethnobotany of the Chácobo Indians, Beni, Bolivia”, *Advances in Economic Botany*, N° 4.

- Calvo, N. (2014), “La economía del cambio climático en Bolivia: Cambios en la Demanda Hídrica”, Monografía, N° IDB-MG-187, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- CELADE-División de Población de la CEPAL (Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía-División de Población de la CEPAL) (2012), “Estimaciones y proyecciones de población a largo plazo 1950-2100”, Revisión 2012 [en línea] http://www.eclac.cl/celade/proyecciones/basedatos_BD.htm.
- CEPAL (Comisión Económica en América Latina y el Caribe) (2010a), *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Síntesis 2010* (LC/G.2474), Santiago de Chile, noviembre.
- _____ (2010b), *La economía del cambio climático en el Uruguay. Síntesis* (LC/W.330), Santiago de Chile, octubre.
- _____ (2009), *La economía del cambio climático en Chile. Síntesis* (LC/W.472), Santiago de Chile, noviembre.
- Falkenmark, M. y C. Widstrand (1992), “Population and water resources: A delicate balance”, *Population Bulletin*, vol. 47, N° 3.
- FAN (Fundación Amigos de la Naturaleza) (2005), “Visión de Conservación de la Biodiversidad en el Corredor Amboró-Madidi”.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2010), “Global Forest Resources Assessment 2010”, *FAO Forestry Paper*, N° 163, Roma.
- Francou, B. y otros (2005), “Glaciers of the tropical Andes: indicators of global climate variability”, *Global Change and Mountain Regions: An Overview of Current Knowledge*, vol. 23, U. Huber, H.K.M. Bugmann y M. A. Reasoner (eds.), Springer, Dordrecht.
- Garreaud, R. D. y P. Aceituno (2001), “Interannual rainfall variability over the South American Altiplano”, *Journal of Climate*, vol. 14, N° 12.
- Hoffmann, G. y otros (2003), “Coherent isotope history of Andean ice cores over the last century”, *Geophysical Research Letters*, vol. 30, N° 4.
- INE (Instituto Nacional de Estadística del Estado Plurinacional de Bolivia) (2001), “Censo Nacional de Población y Vivienda 2001”, La Paz.
- INESAD (Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo) (2012), “Mecanismos de reducción de deforestación”, Síntesis N° 1, La Paz, junio.
- Ingersoll, J.C. (1996), *Natural Gas Vehicles*, Lilburn, Georgia, The Fairmont Press.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2001), “Special Report on Emissions Scenarios” [en línea] http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/?src=/climate/ipcc/emission/.
- _____ (2007), *Fourth Assessment Report* [en línea] http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm.
- Jemio, L. y L. E. Andersen (2014), “La economía de cambio climático en Bolivia: Estimación de Impactos en Equilibrio General”, Monografía, N° IDB-MG-201, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Jones, R.G. y otros (2004), “Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS”, Exeter, Met Office Hadley Centre, abril.
- Ledezma, R. (s.f.), “Análisis de las tarifas de agua potable y alcantarillado de Bolivia”, Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas [en línea] http://www.aderasa.org/docs_tscr/docs_tscr_comp/Analisis_Tarifas_en-Bolivia.pdf.
- Machicado, C. (2014), “La economía de cambio climático en Bolivia: Impactos en hidroenergía”, Monografía, N° IDB-MG-193, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Machicado, C., B. Muriel y L. C. Jemio (2010), “Aporte de los servicios ecosistémicos silvícolas a la economía Boliviana”, *Documento de Trabajo sobre el Desarrollo*, N° 12/2010, La Paz, Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, noviembre.
- Mc Gray, H., A. Hammill y R. Bradley (2007), *Weathering the storm: options for framing adaptation and development*, Washington, D.C., Instituto de los Recursos Mundiales (WRI).
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de Bolivia (2000), “Inventario Nacional de Sistemas de Riego”, Dirección General de Suelos y Riego, Cochabamba, junio [en línea] http://saludpublica.bvsp.org.bo/textocompleto/bvsp/boxp68/riego-inventario_uno.pdf.

- Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y Medio Ambiente de Bolivia (2008), “Plan Nacional para el Manejo Integral del Bosque”, La Paz, mayo.
- Ministerio de Economía y Finanzas Públicas (2014), “La economía de Bolivia crece 6,8% en 2013”, Revista Economía Plural, N° 3, abril.
- Ministerio de Hidrocarburos y Energía (2012), *Balance Energético Nacional 2000-2012* [en línea] <http://www2.hidrocarburos.gob.bo/index.php/balance-energetico-nacional.html>.
- MMA/PNCC (Ministerio de Medio Ambiente y Agua/Programa Nacional de Cambio Climático) (2009), “Segunda Comunicación Nacional del Estado Plurinacional de Bolivia ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- MMA (Ministerio de Medio Ambiente y Agua) y Viceministerio del Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos de Gestión y Desarrollo Forestal (2010), “Compilación de Conclusiones y Resultados: Conferencia Mundial de los Pueblos sobre el Cambio Climático y los Derechos de La Madre Tierra”, La Paz.
- Molina, O. (2014), “La economía de cambio climático en Bolivia: Impactos en salud”, Monografía, N° IDB-MG-194, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- MPD/PNCC (2008), “Proyecto Regional Andino de Adaptación al Cambio Climático de Bolivia. Avances y Resultados de la Fase de Preparación” (MPD-VPTA/PNCC), La Paz.
- _____ (2007a), “Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático” (MPD-VPTA/PNCC), La Paz.
- _____ (2007b), “El Cambio Climático en Bolivia: Análisis, Síntesis de Impactos y Adaptación”, La Paz, Quality, SRL.
- _____ (2000), “Análisis de Opciones de Mitigación de Emisiones de Gases Efecto Invernadero”, MPD-Viceministerio de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Desarrollo Forestal/PNCC, La Paz.
- Naciones Unidas (1997), *Critical Trends: Global Change and Sustainable Development*, Nueva York, Department for Policy Coordination and Sustainable Development.
- Nowicki, C. y otros (2004), “Extrapolating distribution ranges - BIOM 1.1., a computerized bio-climatic model for the extrapolation of species ranges and diversity patterns”, *Orchids of Bolivia. Diversity and conservation status*, vol. 2, R. Vásquez y P.L. Ibsch (eds.), Santa Cruz de la Sierra, Editorial FAN.
- Ontiveros, M. (2014), “La economía de cambio climático en Bolivia: Impactos en los recursos hídricos”, Monografía, N° IDB-MG-186, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Pacific Institute (2010), “The World’s Water: Freshwater Withdrawal by Country and Sector” [en línea] http://www.worldwater.org/datav7/data_table_2_freshwater_withdrawal_by_country_and_sector.pdf.
- Parry, M.L. y otros (2004), “Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios”, *Global Environmental Change*, N° 14.
- Ragunath, H. M. (2006), “Hydrology: Principles, Analysis and Design”, *New Age International*, pág. 17.
- Ramírez, E. (2008), “Impactos del cambio climático y gestión del agua sobre la disponibilidad de recursos hídricos para las ciudades de La Paz y El Alto”, *Revista Virtual REDESMA*, vol. 2, N° 3.
- Rivera, H. G., R. M. Ramírez y R. Vanegas (2004), “Metodología de cálculo del Índice de Escasez”, Bogotá, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- SERNAP (Servicio Nacional de Áreas Protegidas) (2013), “Deforestación y regeneración de bosques en Bolivia y en sus áreas protegidas nacionales para los periodos 1990-2000 y 2000-2010”, La Paz, Ed. Servicio Nacional de Áreas Protegidas, Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado y Conservación Internacional.
- Stern, N. (2007), *The Economics of Climate Change*, Londres, Cambridge University Press.
- Thompson, L. G. y otros (2003), “Tropical glacier and ice core evidence of climate change on annual to millennial time scales,” *Climate Change*, vol. 59, N° 1-2.
- Thompson, K. (1969), “Irrigation as a Menace to Health in California: A Nineteenth Century View”, *Geographical Review*, vol. 59, N° 2.
- Timmermann, A. y otros (1999), “Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming”, *Nature*, vol. 398.
- Turc, L. (1954), “Le bilan d’eau des sols. Relation entre la précipitation, l’évaporation et l’écoulement”, *Annuaire agronomiques*, N° 5.
- Urrutía, R. y M. Vuille (2009), “Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century”, *Journal of Geophysical Research*, vol. 114.

Vuille, M. y otros (2008), “Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future”, *Earth-Science Reviews*, vol. 89, N° 3-4.

Estudios sectoriales:

- Andersen, L. E. (2014), “La economía de cambio climático en Bolivia: Impactos sobre la Biodiversidad”, Monografía, N° IDB-MG-192, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Andersen, L. E., L. Jemio y H. Valencia (2014), “La economía de cambio climático en Bolivia: Impactos en el sector agropecuario”, Monografía, N° IDB-MG-191, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Andrade, M. (2014), “La economía del cambio climático en Bolivia: validación de modelos climáticos”, Monografía, N° IDB-MG-184, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Arenas, J. (2014), “La economía del cambio climático en Bolivia: Impactos de eventos extremos sobre infraestructura y producción agropecuaria”, Monografía, N° IDB-MG-190, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Calvo, N. (2014), “La economía del cambio climático en Bolivia: Cambios en la Demanda Hídrica”, Monografía, N° IDB-MG-187, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Jemio, L. y L. E. Andersen (2014), “La economía de cambio climático en Bolivia: Estimación de Impactos en Equilibrio General”, Monografía, N° IDB-MG-201, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Machicado, C. (2014), “La economía de cambio climático en Bolivia: Impactos en hidroenergía”, Monografía, N° IDB-MG-193, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Molina, O. (2014), “La economía de cambio climático en Bolivia: Impactos en salud”, Monografía, N° IDB-MG-194, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Ontiveros, M. (2014), “La economía de cambio climático en Bolivia: Impactos en los recursos hídricos”, Monografía, N° IDB-MG-186, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo.



La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe



Banco Interamericano de Desarrollo (BID)
www.iadb.org/cambioclimatico
Síguenos en twitter @BIDcambioclima



Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)
Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC)
www.cepal.org