



Cambio Climático en Bolivia hasta 2100: Síntesis de Costos y Oportunidades*

Por:

Lykke E. Andersen
Rubén Mamani Paco

Con contribuciones de:

Marcos Andrade
Juan Arenas
Luis Carlos Jemio
Carlos Gustavo Machicado
Oscar Molina
Miguel Angel Ontiveros
Horacio Valencia

La Paz, 17 de septiembre de 2009

* Este estudio forma parte del proyecto “Estudio Regional de Economía del Cambio Climático en Sudamérica” (ERECC-SA) coordinado por el CEPAL y auspiciado por el Banco Interamericano de Desarrollo, la cooperación británica y la cooperación danesa. Los autores agradecen el apoyo y los comentarios recibidos de Nashira Calvo, Cecilia Chacón, Magaly Churruarrin, Juan Carlos Ledezma, Graciela Magrin, Fernando Méndez, Carlos de Miguel, Gustavo Nagy, Alejandra Palma, Patricia Valdez y Jaime Villanueva.



1. El cambio climático en Bolivia

Las posibles implicaciones del cambio climático en Bolivia, como ser el retroceso de los glaciares y su posible desaparición en el siglo XXI (Bradley et al., 2006), además de la exacerbación de los desastres naturales como sequías e inundaciones son causa de preocupación tanto en el Gobierno como en la sociedad civil.

El presente estudio nacional de economía del cambio climático propone una metodología y a la vez provee resultados y análisis iniciales de los posibles costos de los impactos del cambio climático para Bolivia al final del siglo XXI bajo los escenarios A2 y B2 del IPCC. Es necesario reconocer que por ser un estudio pionero en la materia existen muchas incertidumbres asociadas a la parte climática como también a la modelación económica. De cualquier manera, el presente análisis es importante para comenzar a establecer prioridades.

Los resultados del estudio nacional de economía del cambio climático serán incorporados a un Estudio Regional de Economía del Cambio Climático de Sud América (ERECC-SA) donde se agregaran los resultados y se tendrá un análisis a nivel regional.

1.1 Las condiciones climáticas de Bolivia

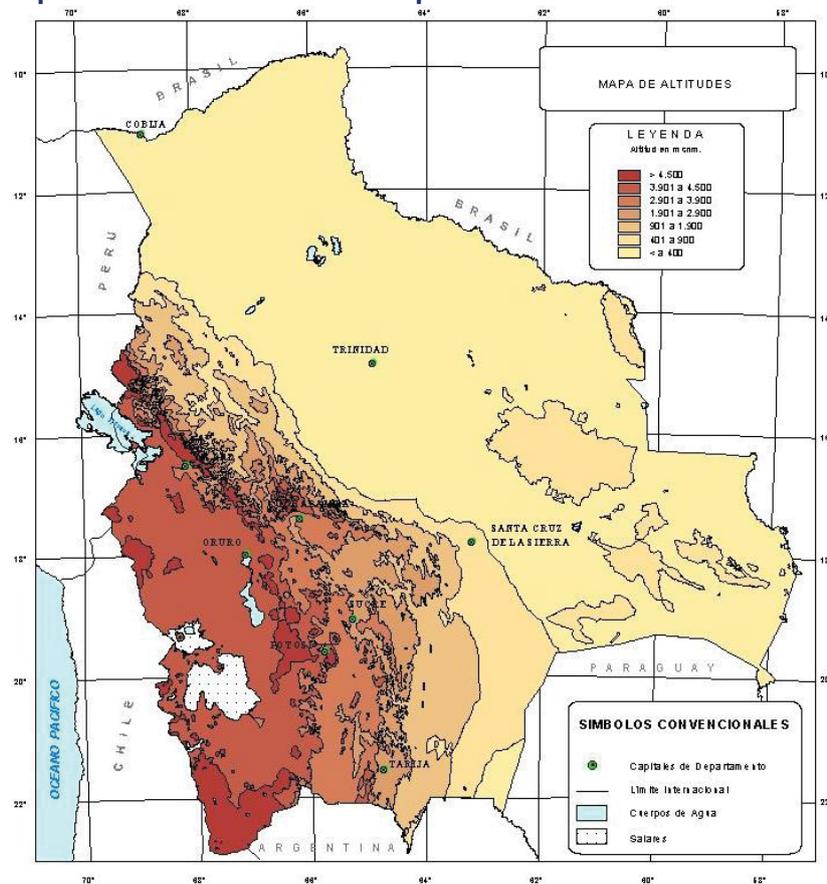
El territorio boliviano se halla comprendido entre los 9°S y 23°S de latitud y 70° y 57° de longitud oeste. El clima en Bolivia depende fuertemente de la distribución altitudinal de su territorio. Casi un tercio del país se halla en regiones con altura menor a 500 metros sobre el nivel del mar (msnm), otro tercio se halla entre 500 y 2500 msnm y el restante tercio arriba de esa altura en la zona Andina (ver Mapa. 1). La parte baja se puede dividir en por lo menos dos regiones: una húmeda con mucha precipitación, 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 que producen una alta precipitación por convección orográfica en la zona. En esta área se hallan regiones con la más alta biodiversidad del planeta. Las zonas altas en contraste son regiones con baja precipitación y temperaturas. La precipitación del área depende fuertemente del transporte de humedad desde el área amazónica. Este transporte es máximo durante la época de lluvias, típicamente entre diciembre y febrero, y se inhibe casi por completo en época seca. La posición de la denominada Alta de Bolivia, una característica de escala sinóptica que es claramente visible en superficies isobáricas de 200 hPa, determina en gran parte el mencionado transporte de humedad.

Eventos como El Niño y La Niña modifican drásticamente el comportamiento climático en muchas regiones del territorio boliviano. Durante eventos El Niño el Altiplano sufre típicamente una disminución de lluvias en tanto que en regiones bajas se observa un aumento relativo de precipitación (de por sí elevada). Estas anomalías sin embargo no son siempre de la misma intensidad pues dependen además del comportamiento de otros fenómenos de escala regional como son la posición e intensidad de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (SACZ por sus siglas en inglés), 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 y/o del Atlántico, el comportamiento del Jet de Bajo Nivel (LLJ), un chorro de viento a unos 850 mb de altura al este de los Andes, es muy importante en términos de precipitación en el área. Interesantemente, muy poca humedad llega al territorio boliviano proveniente del Pacífico. La cordillera de los Andes actúa como una formidable barrera debido a su altura y al gran gradiente altitudinal en ese lado del continente sudamericano.

Mapa No. 1: Elevación de la superficie en el territorio boliviano



Fuente: Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia (<http://essm.tamu.edu/bolivia/files-jpg/altitudes.jpg>).

1.2 Evidencia de cambio climático en el pasado

El clima de Bolivia ha variado siempre por causas naturales. Estas variaciones naturales son evidentes en los estudios de hielo de glaciares, de sedimentos de lagos, de anillos de árboles, y, para los últimos 50-100 años, de registros de precipitación y temperatura¹.

¹ Para ejemplos de Bolivia, ver Aceituno & Montecinos (1992), Garreaud & Aceituno (2001), Hoffmann *et al* (2003), Francou *et al* (2005), Thompson *et al* (2003) y Vuille *et al* (2008).



Sin embargo, aparte de la variabilidad natural, las actividades humanas ahora están afectando el clima global significativamente 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 hizo subir la concentración de CO₂ en la atmósfera de aproximadamente 280 ppm (partes por millón) en la era preindustrial hasta 390 ppm en 2009. Dependiendo de la magnitud y el tipo de crecimiento económico mundial el resto del siglo XXI, se espera que la concentración de CO₂ llegue hasta 600 o 850 ppm en 2100. *Son los efectos de este impacto antropogénico adicional durante el siglo XXI que se analizarán en el presente estudio.*

Es bien conocido que mayores niveles de CO₂ en la atmósfera ayudan a calentar el planeta (sin CO₂ sería demasiado frío para ser inhabitable). El efecto directo de una duplicación de la concentración de CO₂ a partir de ahora, sería un incremento en la temperatura promedio global de 1-2°C. Sin embargo, aparte de este efecto directo, puede haber impactos indirectos importantes. Por ejemplo, cuando los océanos se calientan liberan CO₂ porque agua caliente no puede contener tanto CO₂ como agua fría, y este CO₂ adicional tendría un efecto calentador adicional. Además, en un mundo más caliente habrá más evapotranspiración, lo que aumenta la cantidad de vapor de agua en la atmósfera, y vapor de agua es otro gas de efecto invernadero (el más importante). Adicionalmente, si el planeta se calienta, grandes extensiones de permafrost podrían descongelarse y liberar metano, que es otro gas de efecto invernadero muy potente, lo que podría hacer subir la temperatura aún más. Dependiendo de la magnitud de estos y otros efectos indirectos, la temperatura promedio global podría aumentar hasta 10°C a finales del siglo debido a nuestras emisiones de gases de efecto invernadero (Stern, 2006). En este estudio se analiza impactos de cambios más moderados de 2.5 – 5°C.

Mientras que el efecto de CO₂ sobre las temperaturas es positivo para todas las regiones del planeta, los efectos sobre la precipitación son mucho más inciertos y además varían de lugar a lugar y entre modelos. Todos los modelos climáticos usados por el IPCC sugieren un aumento en precipitación global como consecuencia del aumento en CO₂, pero no están de acuerdo dónde va a caer la precipitación adicional. Para Bolivia, la mitad de los modelos predicen aumentos mientras que la otra mitad predicen reducciones en la precipitación anual.

Para analizar los efectos del cambio climático en un país tan grande y heterogéneo como Bolivia, se necesita proyecciones más detalladas (mejor resolución) de los que brindan los modelos globales. En este estudio se usa proyecciones generados por el modelo regional PRECIS, que tiene una resolución de 50 x 50 km (ver Jones *et al*, 2004 y Alves, 2007).

1.3 Escenarios para el futuro de acuerdo al PRECIS

El análisis aquí reportado fue realizado para dos escenarios de emisiones preparados por el “Special Report on Emissions Scenarios” (SRES). El escenario A2, el escenario más pesimista, contempla una población creciente y un desarrollo económico regionalizado, mientras que el escenario B2, más optimista, contempla un menor crecimiento poblacional y un desarrollo



económico moderado. Bajo A2 se espera que la concentración de dióxido de carbono para 2100 sea de unos 850 ppm (partes por millón) mientras que bajo B2 se estima que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera será de unos 600 ppm.

Las variables temperatura media, temperatura mínima media, temperatura máxima media y precipitación media a nivel mensual fueron analizadas para el periodo 2071-2100 para los dos escenarios climáticos citados previamente y comparados con el periodo base, 1961-1990. También se calcularon la desviación estándar de temperatura y precipitación para ver cambios en la variabilidad del clima. Los resultados obtenidos muestran un incremento de temperatura, tanto media como mínima y máxima, en todas las regiones de Bolivia tanto para el escenario B2 como el escenario A2. Mientras el incremento en temperaturas medias, mínimas y máximas es del orden de 3°C para el escenario B2, ese incremento está entre 4.5°C y 5°C para el escenario A2. Los mayores incrementos de la temperatura media corresponden al sur del Altiplano y el norte de Bolivia para ambos escenarios. Hay un incremento menor en la zona de los valles, donde existe un fuerte gradiente altitudinal, mientras que las proyecciones muestran de manera sistemática un menor incremento en temperatura que la media nacional en la zona del Chaco boliviano, en la frontera del Paraguay. En todo el territorio se prevén aumentos en la variabilidad de temperaturas.

La precipitación por otro lado muestra un cuadro más variable. Bajo los dos escenarios estudiados la precipitación promedio disminuye moderadamente en la zona altiplánica y se incrementa casi en el mismo orden en las zonas bajas. Dado que la precipitación promedio es normalmente baja en el Altiplano el descenso de precipitación observado en los resultados del modelo podría llegar a impactar hasta en un 20% a la precipitación en la región. Por el contrario, el incremento relativo en las zonas bajas es más pequeño (puesto que la precipitación es de por sí alta en la zona) y, dada la variabilidad temporal y espacial de la precipitación, este incremento sugiere un impacto menor en la precipitación de la zona. La excepción a esta predicción es la zona del Chaco que, aunque está situada en tierras bajas es una región más seca y árida que regiones al norte. El máximo incremento en la precipitación se observa en la zona de mayor pendiente de terreno en Bolivia, principalmente en la zona este de los Andes. Aunque esta región corresponde de manera natural a la región en Bolivia donde la precipitación es máxima, el modelo sugiere un incremento relativamente grande en la zona. La región afectada es mucho más grande bajo el escenario A2 que bajo B2.

Es importante hacer 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 del modelo (~50 km) regiones con diferencias de alturas considerables pueden estar representadas por un punto en el modelo. Por esta razón es importante tomar con cuidado los cambios a nivel municipal. Asimismo, el proceso de validación del modelo muestra que éste reproduce razonablemente bien el clima de las regiones bajas (< 500 m) pero que sobreestima, en algunos casos fuertemente, la precipitación en zona más altas y subestima temperaturas, especialmente la máxima, en la zona de los valles y los Andes. A pesar de esto, el modelo exhibe consistencia al reproducir los ciclos estacionales por lo que la dirección de los cambios observados (incrementos o decrementos) es probablemente la variable más importante a considerar.



Por otro lado, muchos de los cambios esperados con el calentamiento global están relacionados a eventos extremos, como sequías y heladas, antes que a valores promedio. Estos eventos no son fácilmente discernibles en valores mensuales como los usados en el presente estudio. Por ejemplo, otros estudios sugieren que el número de heladas en el altiplano boliviano tenderá a reducirse y que aunque el cambio en precipitación promedio puede ser bajo, la distribución de ésta podría cambiar en el futuro, con un alargamiento de la época seca y un acortamiento e intensificación de la época de lluvias. Cambios de intensidad y posición de los elementos que controlan el clima en Bolivia deben ser analizados para revisar la consistencia de los resultados obtenidos en este trabajo. Además estudios que proyectan condiciones climáticas futuras con un incremento en la frecuencia de condiciones El Niño (Timmermann et al., 1999) deben ser considerados.

Adicionalmente, incertidumbres intrínsecas asociadas al comportamiento del Sistema Tierra (tierra, océanos, formación de nubes, condiciones meteorológicas) contribuyen a la incertidumbre de los valores reportados aquí. En la sección 7.4 se discuten algunas advertencias en cuanto a los resultados de los modelos en general, con especial énfasis en áreas con una topografía tan complicada como la boliviana.

2. Escenarios macroeconómicos y demográficos

Para poder evaluar los impactos del cambio climático durante todo este siglo, es necesario no solamente saber ¿cuáles cambios? pero también ¿impactos sobre qué? Es decir, es necesario saber cuántas personas habrá en el país, dónde estarán, qué estarán haciendo, y cómo estarán haciéndolo, durante los próximos 100 años.

Cómo Bolivia está actualmente en un proceso de cambio profundo, deshaciéndose de las estructuras coloniales y neoliberales de desarrollo, no es tarea fácil prever el camino de desarrollo del país los próximos 100 años. No se puede simplemente hacer extrapolaciones simples del pasado, ya que el país está haciendo un gran esfuerzo justamente para romper estos patrones viejos. Por eso se construye un escenario base factible que parte de la situación actual y que toma en cuenta las restricciones estructurales sobre la economía, pero que es más positivo - en términos de aumentos en productividad e ingresos - de lo que el país ha experimentado en los últimos 50 años (ver la sección metodológica más abajo).

2.1 La situación actual

Bolivia es un país predominantemente agropecuario, con más personas trabajando en este rubro que en la industria, el comercio y la minería en su conjunto². Los productores agropecuarios son

² De acuerdo al último censo nacional de población y vivienda (2001).



predominantemente pobres y muy afectados por las variaciones del clima, por lo que Bolivia puede ser uno de los países más vulnerables al cambio climático del continente.

Por ser un país pobre, las emisiones de gases de efecto invernadero son muy limitadas. De acuerdo al último censo nacional (2001), solamente 64% de los hogares tienen electricidad, y la mayoría solamente la usa para un par de focos y tal vez un televisor (54%). Solamente 28% de los hogares tienen un refrigerador, y muy pocos tienen calefacción o aire acondicionado. La mitad de la energía eléctrica del país proviene de empresas hidroeléctricas por lo que las emisiones de fuente eléctrica son muy limitadas (~2 millones tCO₂-eq, en 2004). Solamente 1 de cada 8 hogares tienen un vehículo automotor, lo que significa emisiones muy limitadas del sector transporte también (~4 millones tCO₂-eq, en 2004).

La única fuente importante de emisiones en Bolivia es la deforestación que ahora está cerca de 350.000 hectáreas por año, lo que causa emisiones de CO₂ en el orden de 100 millones toneladas por año o 10 tCO₂/habitante.

2.2 Escenarios para el futuro

Debido a los abruptos cambios políticos en el país últimamente, es difícil prever el desarrollo de la economía boliviana en el futuro. Sin embargo, hay cuatro cambios estructurales grandes que muy probablemente se verán bajo cualquier régimen político:

1. **La transición demográfica y la migración rural-urbana** implican que las tasas de crecimiento poblacional cambian sustancialmente en el tiempo (desde +3.4% por año en 2000 hasta -0.4% en 2100) y que las tasas de crecimiento de la población en edad de trabajar cambian aún más por los cambios en la estructura etaria de la población (de +4.0% en 2000 hasta -0.6% en 2080). Por la migración rural-urbana, la tasa de crecimiento de la población urbana en edad de trabajar parte de 5.3% en el 2000 (lo que exige un fuerte proceso de generación de empleo) pero se vuelve negativa a partir del 2065 (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.
2. **La expansión de la frontera agrícola.** Se estima que se deforestará 33 millones de hectáreas de bosque boliviano este siglo para expandir la frontera agropecuaria. Esto tendría dos impactos principales: 1) enormes emisiones de CO₂ por deforestación, y 2) aumentos en el tamaño promedio de los establecimientos agropecuarios, lo que ayuda a mejorar los ingresos rurales.
3. **La educación y capacitación de la población** ayuda a mejorar la productividad y por eso los ingresos de todos los grupos poblacionales. En promedio, nuestro escenario base supone que cada trabajador se vuelve 10 veces más productivo por aumentos en educación y dotación de capital.



- 4. Aumentos en inversión.** Bolivia siempre ha tenido tasas de inversión muy bajas (14% del PIB en promedio de los últimos 30 años), pero el escenario base supone que esta tasa aumentará paulatinamente de 19% en 2000 hasta 27% en 2100. Este supuesto es necesario para poder generar un nivel de crecimiento económico aceptable y comparable con el resto de la región, y además es factible por la transición demográfica que permite sustituir parte del gasto en reproducción a inversión.

Con estos cambios estructurales, la economía boliviana podría aumentar unas 20 veces en tamaño durante el siglo XXI, haciendo que cada habitante, en promedio, será 10 veces más rico el año 2100 que el año 2000. Esto corresponde a tasas de crecimiento real del PIB per cápita de 2.3% por año, en promedio, durante el siglo, y tasas de crecimiento real del PIB de 3.0% por año.

3. La metodología del análisis de impactos económicos del cambio climático

Como primer paso de este estudio sobre la economía del cambio climático en Bolivia se procedió a la validación de los datos de temperatura y precipitación provistos para los escenarios A2 y B2 por el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciaes (INPE) del Brasil. Los datos históricos de 54 estaciones meteorológicas a lo largo del país desde el año 1961 hasta 1990 reflejan tendencias en temperatura sin cambio significativo en las zonas altiplánicas y un crecimiento muy leve en las zonas bajas. No se registra ninguna tendencia marcada en las precipitaciones en el país pero si se reflejan los fenómenos climáticos como El Niño y la Niña. La validación del modelo PRECIS con datos provistos por el Servicio Nacional de Meteorología (SENAMHI) muestra que el modelo tiene un alto grado de incertidumbre para la zona altiplánica de Bolivia. Se deben tomar en cuenta estas consideraciones al estudiar los impactos económicos en los próximos cien años.

Bolivia es un país muy heterogéneo en todos aspectos, incluyendo los aspectos climáticos, geográficos, culturales y económicos. Esto significa que los impactos del cambio climático también son muy heterogéneos, brindando beneficios a unos y perjudicando a otros. Para captar toda esta heterogeneidad, el presente estudio trabaja a nivel municipal, ya que dentro de cada municipio, las condiciones son mucho más homogéneas. Es así que los estudios sectoriales elaborados (agua, energía, agropecuario, salud, bosques y biodiversidad, infraestructura y desastres naturales) 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.

Para asegurar que el análisis es internamente consistente, se usa un Modelo de Equilibrio General Computable, BOLIXXI, que garantiza que el análisis de un sector es consistente con el análisis de todos los otros sectores, y que los análisis a nivel municipal se agregan correctamente a los resultados a nivel nacional. Con el modelo BOLIXXI se ha construido un escenario base que representa un desarrollo plausible e internamente consistente de la economía boliviana desde 2000 hasta 2100. Sobre este escenario base se miden los impactos del cambio climático previsto por el modelo PRECIS en los escenarios A2 y B2.



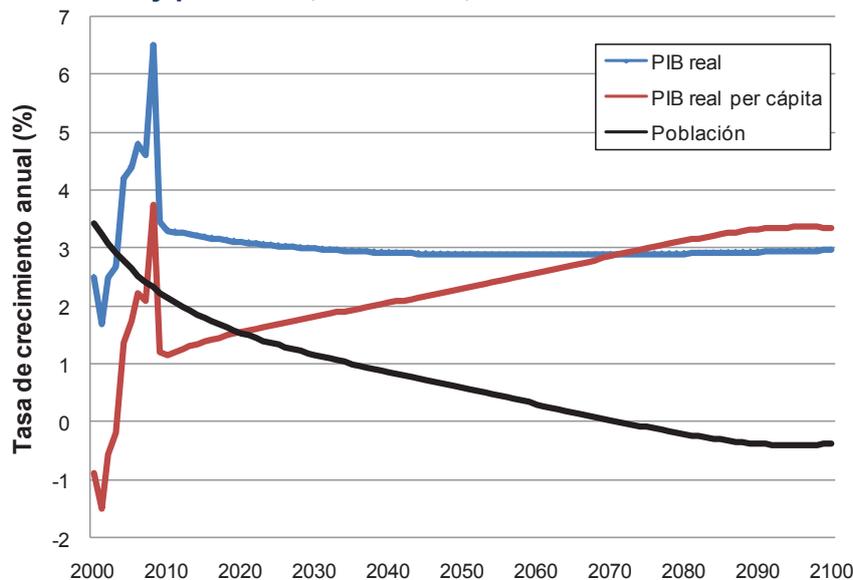
3.1 Construcción del escenario base (sin cambio climático)

Para la construcción del escenario base se usó un Modelo de Equilibrio General Computable de la economía boliviana, BOLIXXI, descrito en detalle en Jemio & Andersen (2009). El modelo es dinámico-recursivo, por lo que permite evaluar los efectos de corto, mediano y largo plazo de políticas, estrategias, y choques externos. El modelo encuentra la solución para el periodo t , tomando como base los resultados encontrados para el periodo $t-1$. De esta forma el modelo permite la acumulación de diversas formas de capital y activos en la economía, como es el caso de capital físico (público y privado), activos financiero (depósitos, cartera, reservas externas, deuda interna y externa), capital humano, etc.

El modelo utilizado en el estudio permite realizar proyecciones para periodos muy extensos (hasta 100 años), ya que se ha incorporado los principales cambios estructurales que se esperaría durante el siglo XXI (ver sección 2.2 arriba).

Además, se asegura un equilibrio fiscal en el largo plazo (ajustando los impuestos), un equilibrio externo (sobre todo por no tener déficits fiscales) y una inflación estable alrededor de 3% por año (lo que corresponde a la tasa anual de devaluación). Las otras variables exógenas se mantienen estables en el tiempo al nivel del año base (1999), excepto el precio mundial de petróleo que se mantiene 100% más alto, correspondiendo a un precio alrededor de \$40/barril.

Gráfico No. 1: Tasas de crecimiento del PIB real, PIB real per cápita y población, 2000-2100, escenario base



Fuente: Resultados del modelo BOLIXXI en el escenario base.

Nota: Los datos hasta 2008 son los observados, y a partir de 2009 son datos simulados.



Con estos supuestos se llegaría a una economía boliviana en 2100 que sería 20 veces más grande que la economía de 2000, y los habitantes serían 10 veces más ricos, en promedio. El Gráfico No. 1 muestra la senda de tasas de crecimiento del PIB real, PIB real per cápita y población.

3.2 Estimación de modelos climáticos-económicos y simulación de impactos

El estudio se ha enfocado en el análisis de seis sectores donde se espera los principales impactos del cambio climático: 1) agua, 2) agropecuario, 3) bosque y biodiversidad, 4) energía, 5) salud y 6) desastres naturales e infraestructura pública.

La metodología exacta varía un poco de sector a sector, pero generalmente se ha tratado de llegar a un nivel de análisis municipal, para poder tomar en cuenta la enorme heterogeneidad dentro del país, y para después poder agregar fácilmente a nivel nacional sin tener vacíos.

Por ejemplo, para analizar los impactos del cambio climático sobre bosques y biodiversidad se ha estimado la relación entre el nivel de biodiversidad y variables climáticas (controlando por otras variables relevantes) a nivel municipal en el periodo de referencia, y después se ha aplicado los cambios climáticos previstos por el modelo PRECIS en cada municipio entre 2000 y 2100 para ver cómo el nivel de biodiversidad cambiaría en cada municipio.

Las variables climáticas usadas para estimar las relaciones a nivel municipal son las siguientes cuatro: 1) temperatura promedio anual, 2) precipitación promedio anual, 3) variabilidad de temperatura promedio mensual, y 4) variabilidad de precipitación mensual. Las primeras dos provienen de la base WorldClim (see Hijmans *et al*, 2005), ya que los datos que provienen del modelo PRECIS tienen sesgos muy grandes, especialmente en las tierras altas³. Las dos últimas variables son calculadas a partir de los datos de PRECIS para el periodo de referencia de 1961-1990, ya que WorldClim no reporta variables sobre variabilidad.

Para las simulaciones de impactos, se usa los cambios en estas cuatro variables entre 1961-1990 y 1971-2100 de acuerdo con el modelo PRECIS en los escenarios A2 y B2 para cada municipio.

Similarmente, para analizar los impactos sobre el sector agropecuario se ha estimado un modelo a nivel municipal para todos los municipios 100% rurales que vincula el consumo per cápita (que también es un proxy de ingresos y productividad) con las variables climáticas y otros variables que podrían influir en la productividad de la población rural (educación, suelos, pendientes, infraestructura, etcétera). Después se usa el modelo estimado para simular los efectos de los cambios climáticos previstos por el modelo PRECIS en cada municipio entre 2000 y 2100 para ver cómo la productividad rural cambiaría en cada municipio.

³ Existen sesgos en los promedios anuales de hasta más de 8°C en temperaturas y hasta más de 1000% en precipitación.



En el sector de salud se estima modelos a nivel municipal para cuatro diferentes enfermedades que podrían verse afectadas por el cambio climático (malaria, dengue, infecciones respiratorias agudas - IRAs, enfermedades diarreicas agudas - EDAs). A partir de la información disponible sobre la prevalencia actual de las enfermedades se categorizó a cada municipio y variable en salud, de dos a cinco categorías dependiendo del número de casos de cada municipio. IRA's y EDA's, en cinco categorías: altamente vulnerable (5), muy vulnerable (4), medio vulnerable (3), poco vulnerable (2) y no vulnerable (1). DENGUE (1) si tiene el municipio la enfermedad, y (0) en otro caso. MALARIA en 3 categorías: altamente vulnerable (3), medio vulnerable (2), no vulnerable (1). En base a la categorización de cada variable en salud, se estimó modelos "Logit" y "Multinomial Logit para Datos Ordenados", los que han permitido estimar de mejor manera el comportamiento de las variables de salud a nivel municipal. La modelización incluyó como variables independientes, fundamentalmente a las variables climáticas, como son la temperatura media del municipio, su desviación estándar, la precipitación media del municipio, su desviación estándar, además de transformaciones de ellas mismas; como la temperatura al cuadrado que pueda captar los cambios marginales decrecientes o crecientes que puedan darse. Adicionalmente se introdujeron variables de control demográficas y socioeconómicas. A partir de los modelos estimados, se cálculo la distribución de probabilidades para el 2100 de tres escenarios: sin cambio climático, con cambio climático escenario A2, y con cambio climático escenario B2.

En el estudio de agua, se calcula cambios en la oferta de agua y cambios en demanda de agua a nivel municipal para elaborar un mapa que muestra dónde se puede esperar problemas con el suministro de agua en el futuro.

En el estudio de desastres naturales e infraestructura pública se construyó una base de datos a nivel municipal con los daños económicos por eventos extremos en 2006/7 (El Niño) y 2007/8 (La Niña) y se vínculo estos daños con anomalías de precipitación en los mismos dos periodos. Después se usó las relaciones estimadas para simular los daños que se pueden esperar en cada municipio en el periodo 2071-2100 de acuerdo con las anomalías de precipitación previsto por el modelo PRECIS.

En el estudio de energía se mide el impacto del cambio climático sobre la generación de energía hidroeléctrica a través del efecto que este va a tener sobre el caudal de los ríos que suministran agua a todas las centrales hidroeléctricas de Bolivia. La hipótesis es la siguiente: Menor volumen de precipitación implica menor caudal y esto a su vez implica menor producción de energía hidroeléctrica. La metodología para proyectar la oferta diferencia 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 utilizada en el sector eléctrico y que considera otros factores adicionales como ser rendimiento, altura, densidad del agua y gravedad. Para las centrales de embalse se estima la relación entre caudal y volumen y a través de coeficientes determinados por el CNDC (Comité Nacional de Despacho de Carga) se calcula la potencia. Para ambos casos se utiliza una relación lineal entre precipitación y caudal y se emplean las proyecciones del modelo PRECIS para el periodo 2071-2100 en los escenarios A2 y B2.



3.3 Valuación de impactos

Para poner valores económicos a los impactos físicos estimados en los diferentes sectores, se aplicó diferentes metodologías. En el estudio de biodiversidad, por ejemplo, se observó que los municipios con mayores niveles de biodiversidad tienden a tener mayores niveles de consumo/ingresos, por lo que se pudo estimar una elasticidad que muestra cómo el consumo cambia con cambios en el nivel de biodiversidad. De esta manera fue posible estimar los costos de la pérdida de biodiversidad en cada municipio en términos de reducciones en el nivel de consumo de los habitantes, y a final agregar estos costos a nivel nacional.

En los estudios del sector agropecuario y el sector de desastres naturales e infraestructura pública, los modelos ya fueron estimados en términos monetarios, por lo que el cálculo de costos fue más directo en estos estudios.

En el sector de salud se valuó los impactos de los cambios en EDAs y IRAs por su incidencia en el gasto público, mientras que los impactos de los cambios en dengue y malaria fueron además evaluados por cambios en la productividad de las personas afectadas.

En el sector de energía se calcula dos costos: Uno referido a la necesidad de mayor inversión en energía termoelectrica para compensar la reducción en energía hidroeléctrica y otro referido al costo de las mayores emisiones de CO₂ causado por el uso de energía termoelectrica en vez de hidroeléctrica. Sin embargo, este último costo solo sería un costo para Bolivia, si los países en desarrollo también tendrán que reducir sus emisiones y si serán penalizados por emisiones adicionales (es decir si en el futuro se logra un acuerdo global muy ambicioso sobre la reducción de emisiones).

Finalmente, en el estudio de recursos hídricos se valuó el impacto del cambio climático a través del costo adicional que se tendría que incurrir en los municipios vulnerables a reducciones en el suministro de agua por el cambio climático y que llegarían a tener déficits de agua según las proyecciones del modelo PRECIS.

4. Impactos económicos y vulnerabilidades al cambio climático

La economía boliviana no solamente crecerá unas 20 veces en tamaño durante este siglo, sino se puede esperar cambios profundos en las formas de producción y consumo. Esto significa que la economía actual no es representativa para la economía futura, y no sería válido evaluar posibles impactos del cambio climático sobre la economía y estructura actual. Es necesario primero considerar cómo el país se desarrollaría el resto del siglo en ausencia del cambio climático provocado por emisiones de gases de efecto invernadero, y después evaluar cómo las posibles manifestaciones del cambio climático tenderían a afectar este desarrollo.



Estos dos pasos implican enormes niveles de incertidumbre en el análisis, primero porque es difícil saber la composición y funcionamiento de la economía boliviana 100 años en el futuro, y segundo porque es difícil saber cómo el clima local se comportará en el futuro (y es el clima local que afectará a las personas y sus actividades, no los promedios globales). Estos altos niveles de incertidumbre implican que todo lo que se puede hacer ahora son estimaciones crudas del orden de magnitud de los diferentes impactos, lo que ayudaría a identificar las principales vulnerabilidades y las principales prioridades de atención e investigación. Tratar de hacer estimaciones muy detalladas y finas de los impactos sería impráctico con la información disponible actualmente, ya que toda la precisión de estimación se perdería en la gran incertidumbre sobre el escenario base y la evolución del clima local cien años en el futuro.

En este capítulo se presentan los principales resultados de los 6 estudios sectoriales, y al final se unen y comparan los resultados para ganar perspectiva. También se evalúa cada uno de los efectos indirectos del cambio climático a través del uso del Modelo de Equilibrio General Computable.

4.1 Recursos hídricos

La demanda de agua potable al final del siglo será aproximadamente 17 veces mayor que al principio del siglo, por el crecimiento de la población, el aumento en cobertura de agua potable y el aumento en demanda de hogares que son 10 veces más ricos. En áreas de crecimiento poblacional más altos la demanda crecerá más rápidamente que este promedio.

Para satisfacer esta demanda, la oferta de agua potable también tendrá que aumentar por lo menos 17 veces, lo que puede resultar difícil y/o caro en ciertos lugares. Si el cambio climático aumentará la escasez en estas áreas, esto implicaría un costo del cambio climático sobre el sector de agua potable.

La oferta de agua ya está limitada en las valles altas de Cochabamba y en la ciudad de Sucre, y en ambos lugares se prevé disminuciones en la precipitación. En el municipio de Sucre, el modelo PRECIS sugiere una disminución en la precipitación de 37% en el escenario A2 y 23% en el B2, lo que implica que el cambio climático exacerbará los problemas de escasez de manera importante. Igualmente, en el municipio de Cochabamba, el modelo PRECIS prevé disminuciones de 11% y 16% en los escenarios A2 y B2, respectivamente.

En la zona Altiplánica las precipitaciones también se bajan en muchos lugares, pero existe abundante agua subterránea, así que la provisión de agua potable no será un gran problema.

(Durante el próximo mes se elaborara balances hídricos a nivel municipal para todo el país para los escenarios sin cambio climático, A2 y B2 para poder elaborar mapas de vulnerabilidades e impactos. Por ahora solamente se ha hecho una estimación cruda del impacto máximo que se puede esperar en el sector de agua potable).



4.2 Sector agropecuario

El país está iniciando una “Revolución Rural, Agraria y Forestal” orientado al cambio de patrones del Estado colonial y neoliberal en los sectores relacionados con el desarrollo agropecuario y los recursos ambientales. Esta revolución incluye el avance de la economía rural a través de la transformación de la estructura de tenencia y acceso a la tierra y bosques, la eliminación del latifundio, la reversión de tierras ociosas, y la distribución de la tierra a campesinos, indígenas o originarios vía asentamientos comunitarios (Bolivia, 2008). Con estas políticas se espera que la frontera agropecuaria siga expandiéndose y que la producción y empleo agropecuario siga siendo importante para Bolivia durante el resto del siglo.

El cambio climático afecta el sector agropecuario por cuatro vías principales: 1) Por cambios en temperatura, 2) por cambios en precipitación, 3) por cambios en la concentración de CO₂ en el aire, y 4) por eventos extremos. Esta sección trata solamente las primeras tres vías, ya que los impactos de eventos extremos son tratados en el estudio de infraestructura y desastres naturales.

Los análisis de regresiones a nivel de cultivos y a nivel municipal muestran que los rendimientos agropecuarios generalmente son mayores en áreas con moderados niveles de temperatura y precipitación. Los rendimientos son menores a temperaturas y precipitaciones extremas. En cambio, los rendimientos aumentan en forma continua con el nivel de CO₂ en el aire.

El modelo PRECIS prevé aumentos en temperaturas de 3.4 - 5.1°C en el escenario A2 y de 2.4 - 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 por mayores temperaturas, mientras que áreas actualmente calientes (las tierras bajas) se verían perjudicadas por temperaturas aún más altas.

Los impactos de los cambios en precipitación generalmente son mayores que los impactos de cambios en temperatura. Esto en parte porque los rendimientos agropecuarios son más sensibles a variaciones en precipitación, y también porque los cambios en precipitación previstos por el modelo PRECIS son mucho más grandes que los cambios en temperatura. Para el escenario A2, el modelo prevé un leve aumento en precipitación a nivel nacional (+4%), pero con enormes diferencias entre municipios (entre -50% y +51%). Para el escenario B2, el modelo prevé una leve disminución a nivel nacional (-1%), pero también con enormes diferencias entre municipios (entre -51% y +43%). En general, las áreas más secas se vuelven aún más secas y las áreas más húmedas recibirán aún más precipitación, pero con excepciones importantes, sobre todo en Oruro y Santa Cruz donde se prevé aumentos en precipitación en áreas ahora relativamente secas. Dado que los niveles de precipitación tienden a volverse más extremos, esto causaría daños a las actividades agropecuarias en la mayoría de municipios (excepto en Oruro y Santa Cruz).



La fertilización de CO₂ tendría un efecto positivo en todas las áreas, pero más para cultivos C3, como soya, y menos para cultivos C4, como maíz. Para el 2100 se espera aumentos en rendimientos por fertilización de CO₂ de 20-27% en el escenario A2 y de 12-18% en el escenario B2. Estos aumentos son suficientes para convertir las pérdidas por cambios en temperatura y precipitación a ganancias totales en la gran mayoría de municipios. Las excepciones son los municipios de Beni y Pando, donde el efecto negativo de los grandes aumentos en temperatura predominan, y en Chuquisaca, donde las grandes reducciones en precipitación predominan (ver el Cuadro No. 1).

Cuadro N° 1: Impactos del cambio climático del Escenario A2 el año 2100 sobre el nivel de consumo rural, por departamento (sin y con efecto de fertilización de CO₂)

Departamento	Impacto total sin efecto de fertilización de CO ₂ (%)	Impacto total con el efecto de fertilización de CO ₂ (%)
Beni	-18	-5
Chuquisaca	-15	-5
Cochabamba	-4	+7
La Paz	+4	+14
Oruro	+11	+20
Pando	-18	-5
Potosí	-8	+2
Santa Cruz	-7	+5
Tarja	-7	+3
Bolivia	-4	+7

Fuente: Estimación propia.

Nota: Promedios ponderados por la población municipal de 2001. Solamente municipios 100% rurales incluidos.

En total, a nivel nacional, estos tres componentes del cambio climático tendrían un efecto positivo sobre el consumo rural en 2100 de 6.9% en el escenario A2 y 4.5% en el escenario B2. Esto corresponde a un efecto positivo del cambio climático en 2100 sobre el sector agropecuario de 0.75% y 0.49% del PIB, respectivamente. Estos porcentajes aumentarían casi linealmente desde 0% en 2000. Sin embargo, estas cifras no incluyen pérdidas por el posible aumento de desastres naturales, lo que se analizará en la sección sobre desastres naturales.

4.3 Bosque y biodiversidad

Bolivia tiene un nivel de biodiversidad extremadamente alto y pocos países del mundo tienen mayor diversidad de ecosistemas que Bolivia, cuyos características geográficas varían en altura (entre 200 y 6000 m.s.n.m), precipitación (entre 200 y 5000 mm/año), temperaturas (glacial hasta tropical) y topografía. Debido a estas características también hay una diversidad grande en



tipos de vegetación. Los principales tipos de ecosistemas son representados en 22 diferentes áreas protegidas (APs) nacionales, y además existen numerosas APs departamentales y locales. Juntas, las APs cubren alrededor de 16% del territorio nacional. Sin embargo, esta diversidad se encuentra amenazada por el cambio climático y por la expansión de la frontera agrícola.

En este estudio se ha modelado la relación entre factores climáticos (temperatura promedio, precipitación promedio, variabilidad de temperaturas, variabilidad de precipitación) y nivel de biodiversidad, y se ha usado el modelo estimado para simular los efectos del cambio climático previsto por el modelo PRECIS hasta el 2100. La modelación se ha hecho a nivel municipal para poder tomar en cuenta la gran heterogeneidad geográfica de Bolivia. El estudio también toma en cuenta que se espera un fuerte proceso de deforestación, cuyos efectos son mucho más dramáticos e inmediatos que los procesos graduales del cambio climático⁴.

Los resultados muestran que los cambios climáticos previstos por el modelo PRECIS hasta el año 2100 podrían tener impactos muy fuertes para la biodiversidad en Bolivia. Especialmente en el Altiplano, ya que, con su bajo nivel de biodiversidad inicial, se encuentra muy vulnerable a cualquier perturbación climática, y se prevé un acelerado proceso de desertificación debido a la reducción de precipitación y el aumento en variabilidad de temperatura sugerido por el modelo PRECIS.

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

En total, entre los procesos de deforestación y cambio climático, el nivel promedio de biodiversidad en cada lugar, se reduciría a solamente 40% del nivel original, de acuerdo con nuestras estimaciones. Esto no significa que el 60% de las especies se extingan, ya que muchas especies probablemente sobrevivirán en áreas protegidas, pero significa que, en promedio, habrá sustancialmente menos diversidad de especies en un área dada. A nivel nacional, los procesos de deforestación son responsables del 95% de la reducción en el nivel de biodiversidad, mientras que el cambio climático solamente es responsable del 5%. Sin embargo, en las tierras altas, donde no hay deforestación, el cambio climático sería responsable del 100% de las fuertes reducciones en biodiversidad previstas (ver el Cuadro No. 2).

⁴ Ver Andersen (2009).



Cuadro N° 2: Impactos sobre la Riqueza de Especies, por departamento

Departamento	Riqueza de Especies Inicial	Impacto de la deforestación prevista hasta 2100	Impacto total del cambio climático previsto en el escenario A2 (tomando en cuenta la deforestación previa)	Riqueza de Especies en 2100 en comparación con 2000 (%) (después del impacto de deforestación y cambio climático)
Beni	1252	-819	-34	32%
Chuquisaca	460	-50	-78	72%
Cochabamba	943	-356	-51	57%
La Paz	1110	-469	-54	53%
Oruro	113	0	-58	49%
Pando	1290	-561	-150	45%
Potosí	93	0	-106	0%
Santa Cruz	751	-538	55	36%
Tarija	473	-197	-30	52%
Bolivia	814	-461	-24	40%

Fuente: Estimación propia.

Nota: Promedios ponderados por el área de cada municipio.

Dado que existe una relación positiva entre el nivel de biodiversidad y el nivel de ingresos/consumo a nivel municipal, se puede estimar las pérdidas económicas que las poblaciones locales sufrirían por la reducción en biodiversidad atribuible al cambio climático (excluyendo las reducciones atribuibles a deforestación). Nuestros cálculos indican pérdidas en el orden de 1.6% del PIB en 2100 a nivel nacional, pero hasta 6% en el departamento de Potosí. Santa Cruz es el único departamento que podría verse beneficiado por un aumento en biodiversidad atribuible al cambio climático (el modelo PRECIS prevé más precipitación en las áreas secas de Santa Cruz), pero solamente en el orden de 0.2% del PIB.

Se supone que estas pérdidas sobre todo afectan a los sectores de silvicultura, caza y pesca y ganadería en el Altiplano, y en menor medida a los sectores agrícolas.

4.4 Salud

En el tema de salud se evaluó cuatro diferentes enfermedades cuyo prevalencia está relacionado con variables climáticas: 1) Malaria, 2) Dengue, 3) Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs), y 4) Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs), y se calculó costos relacionados con la pérdida de días laborales por el aumento de malaria y dengue, y costos relacionados con el gasto público en tratamiento de los enfermos adicionales.⁵

Los mayores impactos se encontraron en pérdidas de productividad humana por cambios en las probabilidades de contraer dengue o malaria (45 millones de dólares en 2100 en el escenario A2). Sin embargo, los costos totales fueron relativamente moderados por dos razones: 1) el

⁵ Para detalles sobre el estudio de cambio climático y salud, ver Molina (2009).



cambio climático tiende a desplazar las enfermedades en vez de expandir su rango (desplazamiento hacia regiones más altas) y 2) con el aumento en riqueza, educación y urbanización se prevé una muy limitada presencia de estas enfermedades en el 2100 para el escenario base.

Los costos asociados al gasto público en tratamientos de los enfermos adicionales fueron de un orden de magnitud menor (1.5 millones de dólares en 2100 en el escenario A2).

4.5 Sector energético

En Bolivia aproximadamente 50% de la energía proviene de plantas hidroeléctricas (2000, año base), por lo que la generación eléctrica depende fuertemente de la cantidad de precipitación que cae en las cuencas que alimentan los ríos que mueven las turbinas. Para el escenario base, desde 2000 hasta 2100, se prevé un aumento en producción y uso nacional de energía eléctrica de aproximadamente 17 veces, y se supone que la proporción de hidro/termo de 50/50 se mantiene durante todo el periodo. Esto es razonable ya que Bolivia tiene bastante potencial en ambas categorías.

Para estimar el impacto del cambio climático sobre la generación de energía, se necesitaría saber cómo los cambios esperados en precipitación cambiarían los caudales en los ríos relevantes para la producción de energía hidroeléctrica. Esto requeriría un modelo de precipitación-escorrentía completo del territorio nacional, lo que por el momento no existe, así que en este proyecto ha sido necesario hacer unos supuestos simplificadores para poder estimar el orden de magnitud de los impactos. Primero, se supone que los cambios en caudal en las hidroeléctricas existentes son proporcionales a los cambios en precipitación en los municipios donde se encuentran estas hidroeléctricas. Segundo, se supone que los impactos sobre las hidroeléctricas todavía no construidas serán los mismos que sobre las hidroeléctricas que ya existen.

Un análisis de los cambios en precipitación previstos por el modelo PRECIS en los escenarios A2 y B2 en los municipios que actualmente tienen plantas hidroeléctricas muestra una disminución de precipitación en todos los municipios involucrados en el escenario A2 y en todos excepto uno en el escenario B2. En promedio (ponderado por la capacidad efectiva de las hidroeléctricas existentes), la reducción de precipitación y caudal en 2070-2100 en comparación con 1961-1990 sería 20% en el escenario B2 y 18% en el A2⁶. Se supone que estas reducciones se traduzcan directamente en pérdidas de generación de energía hidroeléctrica del mismo tamaño. Finalmente se supone que las disminuciones de caudal aumentan linealmente durante el siglo.

⁶ Esta situación es muy dependiente de la resolución (50 x 50 km) del modelo PRECIS y podría variar con la utilización de mejores resoluciones. No se sabe porqué el modelo predice bajas más fuertes en el escenario B2 que en el escenario A2. Probablemente las diferencias entre los dos escenarios no son estadísticamente significativos.



Bajo estos supuestos, se puede calcular las pérdidas en generación de energía hidroeléctrica por los cambios esperados en precipitación. Estos llegarían a ser de 6081 y 6629 GWh el año 2100 en los escenarios A2 y B2, respectivamente. El costo de producir esta energía por plantas termoeléctricas es alrededor de \$18/MWh⁷, así que el costo de las pérdidas en 2100 llegaría a ser cerca de \$100 millones (medido en dólares de 2007) en ambos escenarios. Esto correspondería a solamente el 0.05% del PIB del 2100, así que el impacto sobre la generación hidroeléctrica no es uno de los mayores costos que se esperaría del cambio climático. Este impacto limitado es bastante lógico, ya que el sector hidroeléctrico constituye menos de 1% del PIB.

Aparte de este costo directo sobre la generación de energía habría un costo extra por las emisiones adicionales que se causaría por la generación de energía con termo en vez de hidro. Sin embargo, aún con un costo alto de \$30 por tonelada de CO₂, esto no llegaría a ser más de 0.04% del PIB en el 2100, así que tampoco sería uno de los efectos importantes del cambio climático, y además no implicaría un costo para Bolivia.

4.6 Eventos extremos e infraestructura pública

La destrucción a causa de desastres naturales de infraestructura pública como son las carreteras, instalaciones de abastecimiento de agua, edificios educativos o de servicios de salud, implica la pérdida de inversiones costosas. En países como Bolivia, donde la falta de recursos económicos para la inversión es un problema permanente, ocasiona la paralización de las actividades económicas en las regiones afectadas. Los daños también se reflejan en reducciones de la producción agrícola y pecuaria, con los perjuicios asociados a falta de alimentos y pérdidas económicas para productores y para las regiones afectadas.

Se analiza cómo los cambios esperados en precipitación en los escenarios A2 y B2 producto del cambio climático, tendrán impacto en los daños sobre la infraestructura productiva y sobre la actividad/producción agropecuaria. Se ha tomado como base de información las precipitaciones asociadas a los eventos de El Niño el año 2007 y de La Niña el año 2008, y las estimaciones sobre daños a la infraestructura y a la producción agropecuaria causadas por estos eventos.

Los años 2007 y 2008, las precipitaciones ocasionaron daños económicos de magnitud principalmente en los departamentos de Santa Cruz, Beni y Cochabamba. Como ejemplo durante los meses de noviembre de 2007 a abril de 2008 (La Niña) en el departamento de Santa Cruz, la precipitación promedio en los municipios afectados fue de 6,2 mm por día, superior a la media registrada en los mismos municipios de 4,5 mm por día. Estas fuertes precipitaciones ocasionaron un daño económico de 248 millones de dólares solamente en Santa Cruz y de aproximadamente 1.076 millones de dólares en todo el país durante los dos años.

Tomando en cuenta las proyecciones de precipitación para los años 2071 a 2100, se encuentran las situaciones en las que se tendrán escenarios de fuertes lluvias en el país. Se supone que los

⁷ De acuerdo con datos del Comité Nacional de Despacho de Carga (www.cndc.bo).

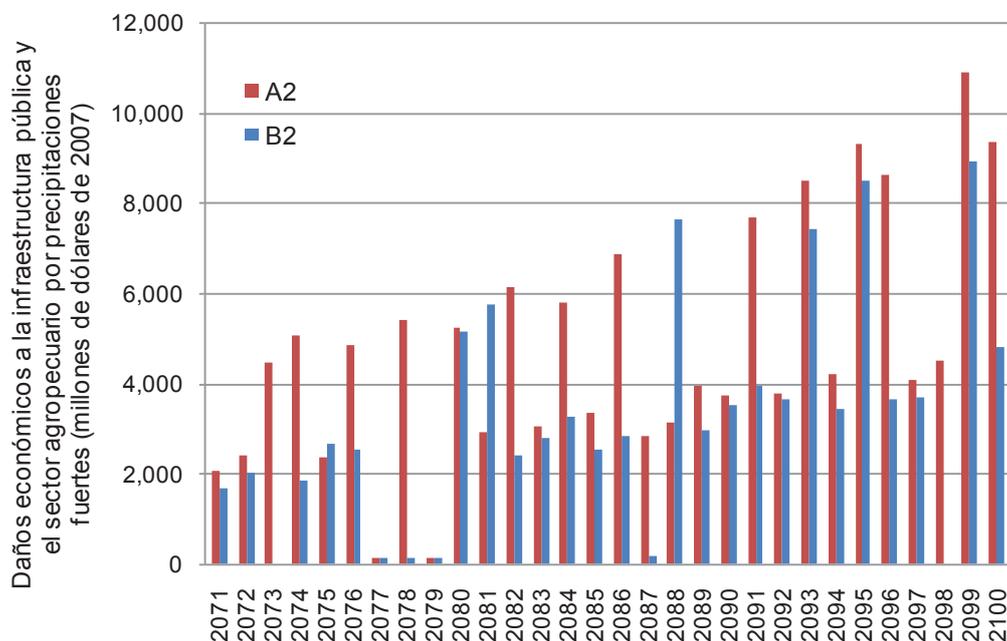


riesgos y vulnerabilidades geográficas en cuanto a inundaciones e infraestructura caminera no cambiaran, pero que la cantidad de infraestructura pública crece al ritmo del crecimiento del PIB en general. Luego se estima el daño económico que las precipitaciones producto del cambio climático ocasionarán en la economía nacional, focalizando el análisis en aquellas regiones en las que se han presentado desastres naturales precisamente a causa de las fuertes lluvias.

Para los años 2071 a 2100 se ha estimado un impacto económico en la infraestructura pública y en las actividades agropecuarias, de 4.839 millones de dólares promedio por año en el escenario A2, siendo el impacto de 3.510 millones de dólares promedio año en el escenario B2.

Los impactos son distribuidos en proporciones casi iguales entre daños a infraestructura pública y daños a la producción agropecuaria, siendo los daños sobre el sector agropecuario unos 1.8% del PIB promedio durante 2071-2100 en el escenario A2, y los daños sobre infraestructura pública unos 1.7% del PIB. En el escenario A2, se verán impactos fuertes (pérdidas de más de 4% del PIB) casi cada 2 años, mientras que en el escenario B2, esto solamente ocurre en uno de cada 5 años (ver el Gráfico No. 2)

Gráfico No. 2: Estimación de daños económicos por precipitaciones intensas en las tres últimas décadas del siglo XXI, de acuerdo con los patrones de precipitación previstos por el PRECIS en los escenarios A2 y B2.



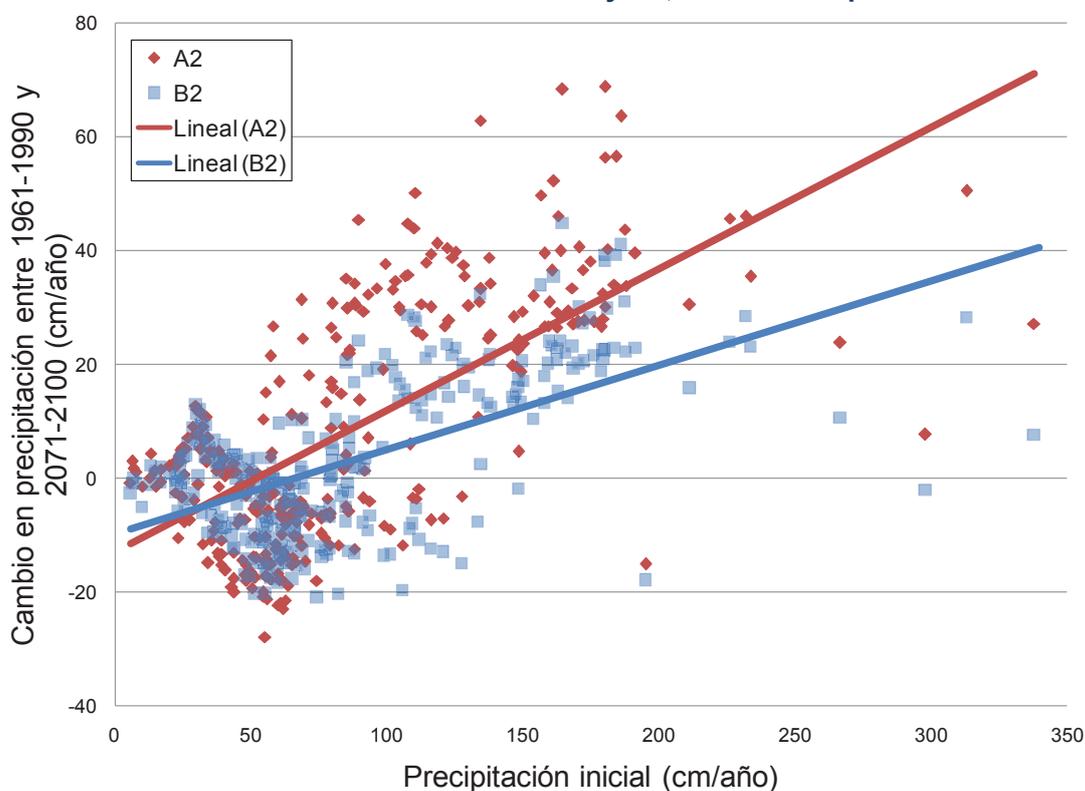
Fuente: Estimación propia. Ver detalles en Arenas (2009).



4.7 Resumen de impactos sectoriales

Los impactos más fuertes del cambio climático previsto por el modelo PRECIS se producen a través de cambios en los patrones de precipitación. El Gráfico No. 3 resume los impactos esperados a nivel municipal, y lo que se destaca es que las áreas inicialmente secas se vuelvan aún más secas y áreas inicialmente húmedas tendrán aún más precipitación al final de este siglo. Además, se nota que los cambios son más drásticos en el escenario A2 que en el B2.

Gráfico No. 3: Cambios en los patrones de precipitación de acuerdo al modelo PRECIS en los escenarios A2 y B2, nivel municipal.



Fuente: Precipitación inicial proviene de WorldClim, cambios son estimados por el modelo PRECIS.

Nuestro análisis indica que estos cambios causarían aumentos en la frecuencia y los costos de inundaciones en las tierras bajas de Bolivia y problemas graves de desertificación en el Altiplano. Los costos adicionales de estos impactos llegarían a 4.0% del PIB en 2100 en el escenario A2 y 2.5% del PIB en el B2. Se ha estimado un efecto negativo sobre la generación de energía hidra, pero el efecto es pequeño y depende dónde se construye las plantas hidroeléctricas en el futuro.



También habrá efectos positivos del cambio climático, especialmente por el efecto de fertilización de CO₂ y la reducción en la probabilidad de heladas en el Altiplano, lo que ayuda a aumentar los rendimientos de las actividades agropecuarias. Sin embargo estos efectos positivos no llegan a más de 0.8% del PIB.

Los efectos netos sobre salud son muy pequeños.

El Cuadro No. 3 resume los impactos estimados para el año 2100 de los cambios climáticos previstos por el modelo PRECIS durante el siglo XXI. En el escenario A2 los shocks negativos llegarían a ser cerca de 3.3% del PIB del 2100 y en el escenario B2 cerca de 2.1%.

Cuadro N° 3: Impactos del cambio climático el año 2100

Impacto	A2 (millones de dólares de 2007)	B2 (millones de dólares de 2007)	A2 (% del PIB de 2100)	B2 (% del PIB de 2100)
Pérdida de infraestructura pública por precipitaciones fuertes	2.352	1.477	1.15%	0.72%
Pérdidas en el sector agropecuario por precipitaciones fuertes	2.487	1.799	1.22%	0.88%
Pérdida de productividad agropecuario por cambios climáticos	-1.549	-1.010	-0.75%	-0.49%
Pérdidas en los sectores de silvicultura, caza, pesca, agricultura y pecuaria por pérdida de biodiversidad	3.188	1.802	1.55%	0.88%
Pérdidas de productividad laboral y gasto pública por cambios en prevalencia de malaria, dengue, EDAs y IRAs	46	-56	0.02%	-0.03%
Pérdidas en la generación de energía hidra	109	119	0.05%	0.06%
Pérdidas en el suministro de agua potable	67	61	0.03%	0.03%
Otras pérdidas	X	X	X%	X%
Pérdidas totales	~6.700	~4.200	~3.3%	~2.1%

Fuente: Estimación propia.

Nota: Promedios ponderados por el área de cada municipio.

Se supone que los costos aumentan exponencialmente (con el mismo ritmo que la economía en general) desde cero en el año 2000 hasta las cifras en el Cuadro No. 3 en 2100.

4.8 Impactos totales e indirectos

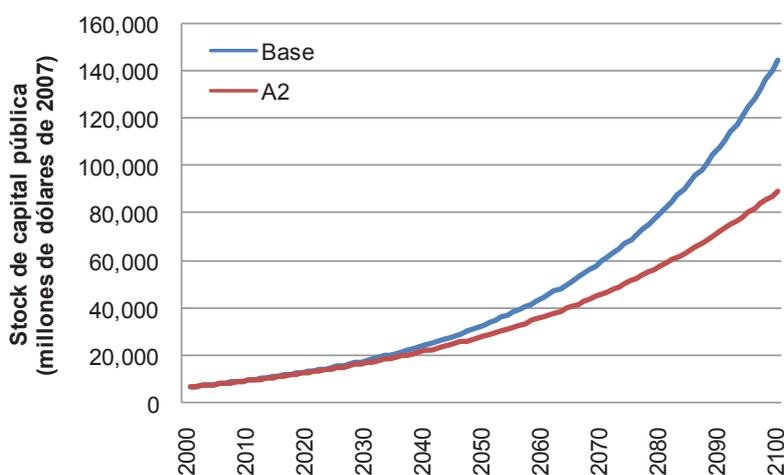
Los impactos anuales calculados arriba fueron introducidos como shocks en el Modelo de Equilibrio General Computable, BOLIXXI, para ver el efecto total e investigar algunos de los efectos indirectos del cambio climático⁸.

⁸ Para detalles, ver Jemio & Andersen (2009).



Dado que las pérdidas de infraestructura pública son acumulativas, mientras que los otros shocks ‘solamente’ afectan a la producción anual, el impacto de desastres naturales tendrá fuertes efectos sobre la trayectoria de la economía en el transcurso del siglo. El Gráfico No. 4 muestra la trayectoria del stock de capital pública en el escenario base sin cambio climático y en el escenario A2. Con las repetidas y más y más frecuentes golpes a la infraestructura pública, terminaríamos en 2100 con un stock de capital pública unos 38% menor que en el escenario sin cambio climático.

Gráfico No. 4: Trayectoria del stock de capital pública, escenario base y A2.



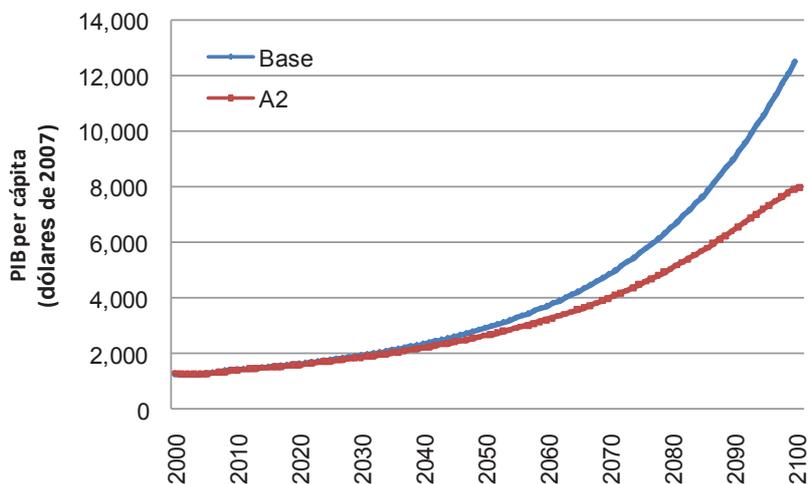
Fuente: Simulaciones BOLIXXI.

Ya que la infraestructura pública (camino, escuelas, centros de salud, sistemas de comunicación, etc.) beneficia a todos los sectores productivos, este impacto adverso y acumulativo tendrá importantes efectos indirectos sobre el PIB, las exportaciones, las finanzas públicas, etc.

Junto con los impactos anuales negativos y positivos listados en el Cuadro No. 3, los impactos totales sobre la trayectoria del PIB per cápita serían como mostrado en el Gráfico No. 5. En 2100 los bolivianos tendrían un nivel de ingresos unos 36% menores en el escenario A2 que en el escenario base sin cambio climático, y la tasa de crecimiento anual sería casi dos puntos porcentuales menor.



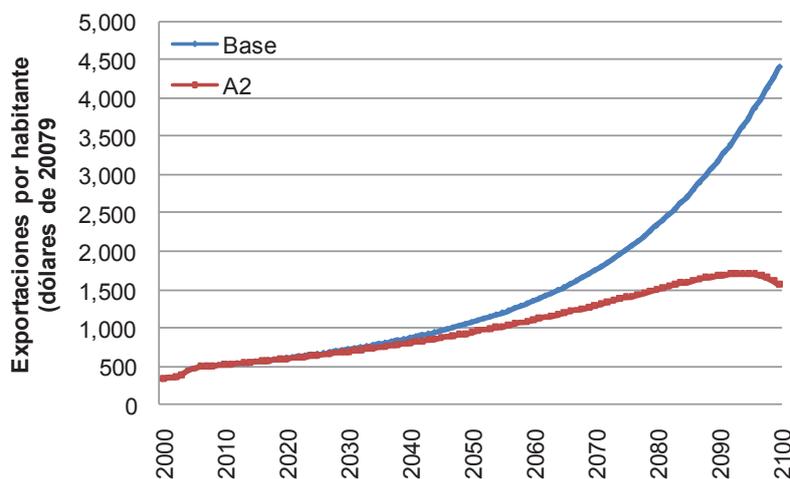
Gráfico No. 5: Trayectoria del PIB per cápita, escenario base y A2.



Fuente: Simulaciones BOLIXXI.

El impacto sobre las exportaciones sería particularmente fuerte, ya que en 2100, con el cambio climático del escenario A2, las exportaciones serían solamente un tercio del nivel que en el escenario sin cambio climático (ver el Gráfico No. 6).

Gráfico No. 6: Trayectoria de las exportaciones, escenario base y A2.



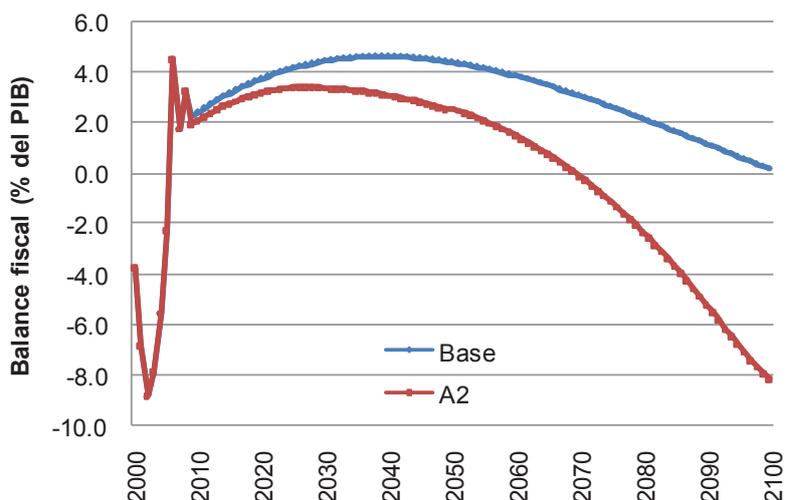
Fuente: Simulaciones BOLIXXI.

El menor nivel de producción y exportación y los mayores gastos públicos tendrían un efecto adverso en las finanzas públicas. El Gráfico No. 7 muestra que hacía final del siglo, Bolivia



tendría un déficit fiscal de 8% del PIB en el escenario A2, mientras que el escenario base sin cambio climático mantendrían las finanzas públicas en positivo durante todo el resto del siglo.

Gráfico No. 7: Trayectoria del balance fiscal, escenario base y A2.



Fuente: Simulaciones BOLIXXI.

Los efectos adversos en el escenario A2 también tendrían un efecto sobre la inflación, que en vez de quedarse al nivel deseable de 3% por año, como en el escenario base, se dispararía y llegaría a 9% por año en 2100 en el escenario A2.

Lo único bueno es que las emisiones de CO₂ bajarían como consecuencia de los menores actividades económicas en el escenario con cambio climático.

5. Adaptación

5.1 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 misma vez se ha elaborado un Mecanismo Nacional de Adaptación con programas sectoriales en: recursos hídricos, seguridad alimentaria, asentamientos humanos y gestión de riesgos, salud, y ecosistemas.



El Gobierno de Bolivia a través del PNCC ha elaborado planes piloto de implementación de proyectos de adaptación en poblaciones posiblemente afectadas por el retroceso de los glaciares (MPD/PNCC, 2007). Los proyectos son:

1) Manejo integrado de la cuenca Tuni-Condoriri. El objetivo es el de 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 también acciones para bajar la demanda de agua en los sistemas de dotación de agua en la ciudad de El Alto y las laderas de la ciudad La Paz. Estudios realizados por el proyecto IPQ/LP/01037 (Deshielo de la cuenca del Tuni Condoriri y sus impactos sobre los recursos hídricos de la ciudades de La Paz y El Alto) concluyen que la ciudad de el Alto se encontraría mayormente afectada por la retracción glaciario. El aporte de los glaciares llegaría al 35% del suministro de agua para periodos de presencia de eventos El Niño. Según estos estudios se estima que el equilibrio entre oferta y demanda de los recursos hídricos para las ciudades de El Alto y La Paz alcanzaría un punto de inflexión en el año 2009. Se estima que la población de El Alto aumenta a una tasa del 5.1% anual lo que incidirá negativamente en el crecimiento de la demanda.

2) 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 permitirá adaptar la producción agrícola a la reducción de recursos hídricos en el mediano y largo plazo. Se pretende aumentar la resiliencia de las actividades agropecuarias a la retracción de glaciares.

3) Adaptación participativa para la construcción de defensivos en el río La Paz, sector Huayhuasi y el Palomar. El objetivo es el de desarrollar un modelo social que incluye la implementación de medidas para la prevención de desastres y la reducción de la vulnerabilidad a eventos extremos como ser inundaciones en la comunidades de Huayhuasi y El Palomar que se encuentran en la cuenca del río La Paz. El producto es la construcción de defensivos en el río La Paz que protejan ante las inundaciones.

La implementación de un seguro agrícola para proteger a los agricultores ante sequías y desastres esta actualmente en consideración del Gobierno de Bolivia.

La recuperación de tecnologías precolombinas para lidiar con la falta de agua y sequías prolongadas es una forma de adaptación autónoma que ya se está implementando en diferentes comunidades indígenas en el Altiplano de Bolivia. Un ejemplo es el almacenamiento de agua en Qhuthañas (Mc Gray *et al*, 2007).

5.2 Propuestas de adaptación

Según las proyecciones del modelo PRECIS al 2100 se podría esperar hasta un incremento de 5°C en la región altiplánica (escenario A2). En cuanto a la precipitación, las salidas del modelo PRECIS (50 x 50 km) cubren áreas de territorio entre el Altiplano (donde se espera baja en



precipitación) y los Bosques Interandinos (donde se espera subida en precipitación) con marcadas diferencias en precipitación en una distancia de pocos kilómetros. Esta situación necesita una resolución más detallada para identificar represas de agua y represas hidroeléctricas afectadas por condiciones futuras de baja precipitación. A pesar de la alta incertidumbre en las proyecciones de los modelos podemos afirmar que no contradicen estudios previos basados en datos históricos que proyectan la pérdida total de glaciares como el Tuní hacia el 2025 y el Condoriri hacia el 2045 (Ramírez, 2008). A pesar de que los glaciares proveen hasta el 30% de la oferta hídrica, esto implicaría en el futuro posibles escenarios de desabastecimiento de agua para consumo humano y generación de energía hidroeléctrica especialmente para las ciudades de La Paz y El Alto.

Áreas críticas en términos disponibilidad de agua en Bolivia son también centros urbanos como las ciudades de Cochabamba y Sucre. En esta última ciudad, la demanda de agua de acuerdo al crecimiento poblacional en los próximos años sobrepasará la oferta hídrica. Esto demanda proyectos inmediatos de obras hidráulicas como por ejemplo la construcción de la presa Cachimayu. En las áreas rurales se debe construir presas con sistemas de riego.

Las medidas de adaptación se deben plantear desde una perspectiva global de gestión de recursos hídricos: i) Desde el punto de vista de abastecimiento (oferta) y ii) Desde el uso (demanda).

Considerando el abastecimiento futuro, se esperan condiciones desfavorables para el abastecimiento de agua en las represas. Esta situación es dada por una menor recarga por lluvia y también una mayor evaporación (Ramírez, 2008). La planificación de la localización y construcción de futuras represas de agua se debe realizar en base a una cuidadosa consideración de las proyecciones de modelos de circulación general (a una resolución menor a 50 x 50 km) como también de datos históricos. Las pérdidas de la inversión serán totales en caso de construcción de represas donde no haya una recarga de lluvia adecuada.

Desde el punto de vista de la demanda, existe un uso ineficiente del agua en las ciudades afectadas. Las pérdidas en la red de distribución local de El Alto están entre el 40% y el 50%. Es decir que para que llegue 1 litro de agua a un consumidor, se requieren alrededor de 1.6 - 2 litros en la fuente (Ramírez, 2008). Por lo tanto proyectos de adaptación al cambio climático deben considerar un uso eficiente del agua y la correcta operación de los sistemas de distribución de agua por parte de las cooperativas (administración, prestación de servicio, y legislación). Se plantea proyectos para la reparación y mantenimiento de las redes de distribución de agua en ciudades como El Alto y La Paz. El componente de educación es necesario para el uso adecuado del agua por parte de los consumidores.

En cuanto al uso de aguas subterráneas (el 20% del suministro de agua de la ciudad de El Alto es provisto por pozos de agua subterránea) se deben realizar estudios sobre su disponibilidad y también su sostenibilidad. Es necesaria una planificación territorial para regular el futuro crecimiento de las ciudades en Bolivia en base a disponibilidades proyectadas de agua, energía, y comunicaciones.



Algunas de las represas para consumo de agua también se ven afectadas por efluentes contaminados de minas. Tal es el caso de la mina Milluni. Las plantas de tratamiento de agua en La Paz deben añadir un exceso de alcalinidad por el tratamiento de excesivas concentraciones de hierro y manganeso. Proyectos de adaptación también son planteados para el tratamiento de aguas acidas de minas abandonadas y en operación. El agua tratada se utilizaría para fines de riego y aumentar la capacidad de la oferta.

En una segunda fase se plantean 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.

En el sector agropecuario, es crucial la implementación de seguros agrícolas para aumentar la resiliencia de los agricultores ante eventos climáticos extremos tales como sequías o inundaciones.

6. Mitigación

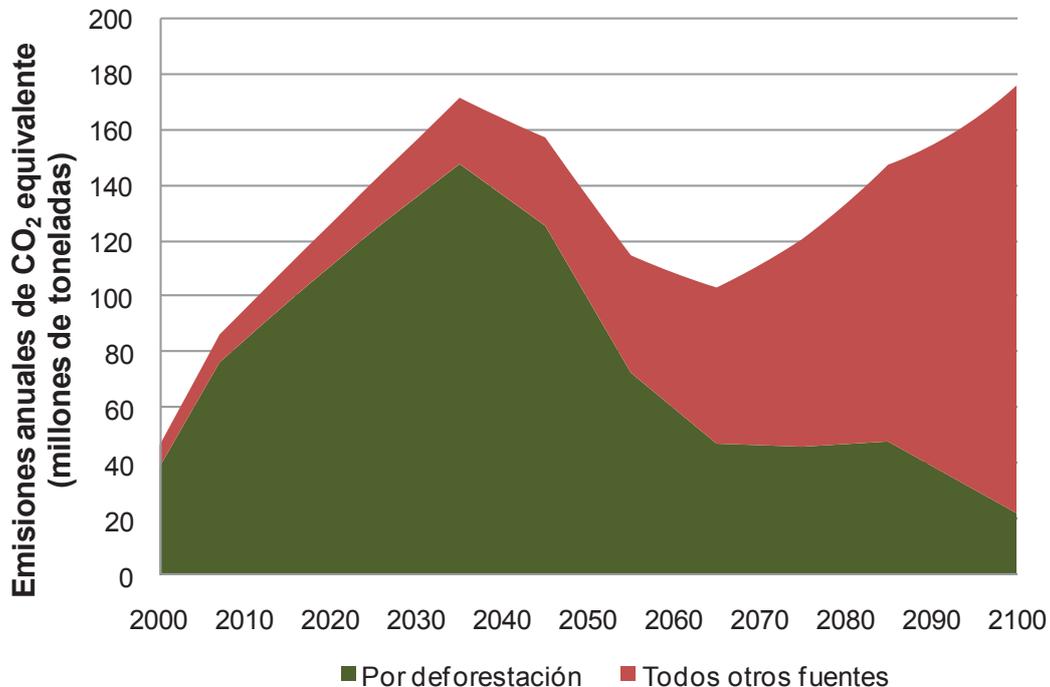
La gran mayoría de emisiones de gases de efecto invernadero en Bolivia proviene de los procesos de deforestación, mientras que el consumo de energía, el sector de transporte y todas otras fuentes en su conjunto contribuyen solamente 12% de las emisiones actuales. Sin embargo, con el tiempo esta composición cambiaría (ver el Gráfico No. 4), y habrá oportunidades de mitigación importantes en varios diferentes sectores. En este apartado se describirá primero la cantidad y composición de emisiones que se espera en el escenario base, y después se analizan las oportunidades de mitigación.

6.1 Emisiones en el escenario base

Las emisiones del sector de cambio de uso de suelo están íntimamente vinculadas con el área deforestada anualmente. Esta área ha ido aumentando dramáticamente en las últimas décadas, y se espera que seguirá aumentando hasta el 2040, cuando ya se va a sentir la escasez de tierras boscosas adecuadas y la deforestación anual tendería a bajar. En cambio, las emisiones de los otros sectores están íntimamente vinculadas con el nivel de producción y consumo en la economía, por lo que irán creciendo aproximadamente al ritmo de crecimiento del PIB real. Esto implica que el perfil de emisiones de CO₂ equivalente de Bolivia en el escenario base (sin cambio climático, ni actividades de adaptación y mitigación) sería como el presentado en el Gráfico No. 4), subiendo de aproximadamente 90 millones de toneladas anuales hoy hasta 170 millones toneladas anuales en el 2035 para después bajar por la reducción en la tasa anual de deforestación y después subir por los aumentos en producción hacia finales del siglo, llegando a 176 millones de toneladas en 2100.



Gráfico No. 4: Emisiones anuales de CO₂, 2000 - 2100



Fuente: Resultados del modelo BOLIXXI en el escenario base.

En términos de emisiones anuales per cápita, partiríamos de 9 toneladas ahora, lo que aumentaría hasta 12 toneladas en el 2035 para después bajar y subir un poco y llegar a 11 toneladas en 2100, lo que corresponde al nivel de emisiones en países Europeos en la actualidad.

Finalmente, en términos de GDP generado por cada tonelada emitida, aumentaríamos de \$150/t hoy hasta \$1200/t en 2100 (ambas medidas en dólares de 2007). Esto es mucho menos de lo que logran en países ricos hoy (Estados Unidos produce casi \$2000 por cada tonelada emitida y España más de \$3000), lo que sugiere que con transferencia de tecnología actual y futura se podría reducir las emisiones de Bolivia sustancialmente.

6.2 Oportunidades para mitigación

En la presente sección se detalla las oportunidades de mitigación en los sectores con mayores emisiones de CO₂ en Bolivia.

6.2.1 Mitigación en el sector de cambio de uso de suelo



Durante el siglo XXI se prevé la deforestación de alrededor de 33 millones hectáreas de bosque alto en Bolivia, que tiene un contenido de CO₂ promedio de 235 toneladas por hectárea (Dauber, 2002). Esto significa la emisión de 8 mil millones toneladas de CO₂ del sector de cambio de uso de suelo, lo que corresponde a 22 años de las emisiones actuales totales de España, 144 años de las emisiones actuales totales de Dinamarca, o 1300 años de las emisiones actuales de Bolivia por uso de energía y transporte. Así que existe un enorme potencial para reducir emisiones en este sector.

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

En general, si no se toma en cuenta los servicios ambientales locales y globales (las externalidades), los beneficios del bosque no pueden competir con los beneficios de las actividades agropecuarias, por lo que los dueños de tierra boscosa prefieren convertirla a tierra agropecuaria (si tienen los recursos necesarios para convertirla y cultivarla).

Sin embargo, se está actualmente negociando mecanismos que podrían ayudar a equilibrar los incentivos, a través de pagos por servicios ambientales. Uno de los componentes más grandes de los servicios globales de los bosques es el secuestro de carbono (ver, por ejemplo, Andersen *et al*, 2002), por lo que el mecanismo REDD (Compensación por la Reducción de Emisiones de CO₂ por Deforestación y Degradación) podría volverse un mecanismo muy importante para la reducción de deforestación en Bolivia.

En promedio, cada hectárea deforestada aumenta el PIB del país con aproximadamente \$1000 (en valor neto presente con una tasa de descuento de 12.67%⁹), pero unas áreas brindan beneficios mucho mayores que otras. De acuerdo con una encuesta de establecimientos en la frontera agrícola de Bolivia, más de 80% del área deforestada brinda beneficios mucho menores que el promedio, lo que significa que se podría reducir la deforestación sustancialmente con un costo relativamente moderado en términos de reducción de la producción agropecuaria y reducción en ingresos de los hogares rurales (Andersen, Escobar & Ledezma, 2009). Lo ideal sería convencer a los agricultores menos productivos a cambiar sus actividades, pero dejar que los más productivos sigan produciendo productos agropecuarios, o incluso que aumenten sus actividades más rentables.

Para maximizar los beneficios de las actividades agropecuarias y al mismo tiempo los beneficios de conservación, sería recomendable: i) elaborar (de manera consensuada) un mapa de prioridades de conservación (que toma en cuenta todos los beneficios de conservación – no

⁹ La tasa de descuento oficial para proyectos públicos de inversión.



solamente el secuestro de carbono), y ii) elaborar un mapa de prioridades de desarrollo humano (que toma en cuenta el potencial agropecuario de los suelos y el acceso a mercados).

Una vez elaborados estos mapas se deben sobreponer los dos para identificar tres tipos de áreas: 1) áreas que debería ser protegidas, 2) áreas que merecen inversión pública para facilitar el desarrollo humano, y 3) áreas dónde existe un conflicto entre los dos objetivos y que por eso necesitan incentivos especiales para resolver este conflicto. Un ejemplo de este tipo de análisis se encuentra en Andersen, Ledezma y Vargas (2006).

Entonces, los fondos que el país podría recaudar a través de mecanismos como REDD, se deberían destinar a: 1) inversión pública en áreas que son 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 aprovechan el ecosistema intacto, pero al mismo tiempo generan ingresos, como por ejemplo eco-turismo.

Con esta combinación de políticas se podría llegar a una situación que beneficiaría a todos, incluyendo:

- los agricultores menos productivos (que recibirían ayuda para hacer algo que generaría más ingresos para ellos que la agricultura)
- los agricultores más productivos (que recibirían inversión pública – e.g. infraestructura de exportación – que les ayudaría a mejorar aún más su productividad)
- la biodiversidad (por menos deforestación y más protección)
- las poblaciones locales (por menor frecuencia de inundaciones e deslizamientos causados por la deforestación y más acceso a productos y servicios de los bosques)
- el clima global (por menores emisiones de CO₂), y
- las finanzas públicas, porque el país recibiría pagos importantes por los servicios ambientales globales que ahora brindan de manera gratuita.

6.2.2 Mitigación en los sectores de energía y transporte

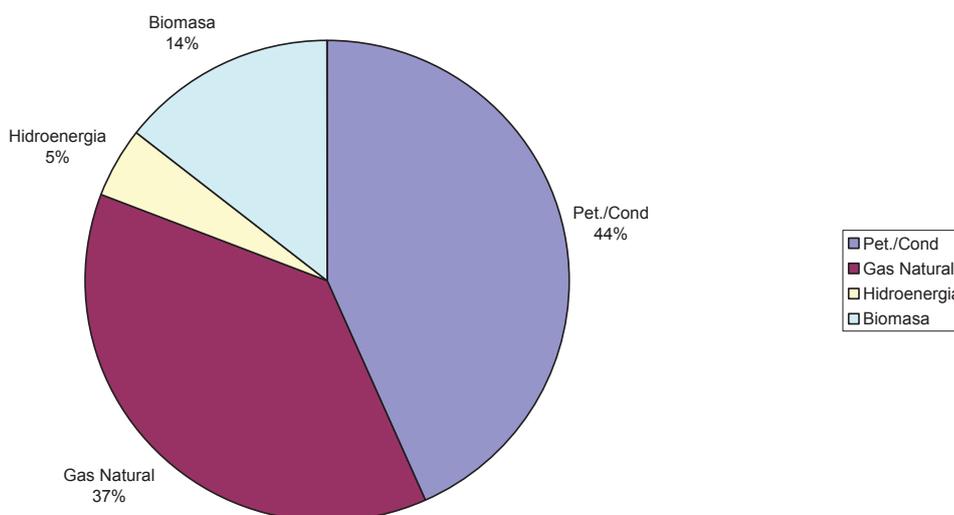
El sector energético ocupa el segundo lugar después del sector de uso de la tierra y cambio de uso de la tierra. Muchas de las medidas que podrían ser consideradas como oportunidades de mitigación en el sector energético ya están siendo implementadas en Bolivia porque las opciones más limpias también son las más económicas.

La matriz energética de oferta actual se puede dividir en 4 tipos mayores de energía: Petróleo/Condensado, Gas Natural, Hidroenergía y Biomasa (Gráfico 6). Bolivia comparte la tendencia latinoamericana de mayor uso de combustibles fósiles. La diferencia en Bolivia es que debido a sus considerables reservas es un exportador de gas natural hacia Argentina y Brasil. Por el lado de consumo tiene que importar diesel oil (que representa más del 25% de su consumo



energético) y gasolina. El diesel oil es subvencionado por el Estado al mercado interno. Debido a esta situación el Estado tiene un incentivo económico a diversificar la matriz energética y utilizar más gas natural. Las medidas de mitigación apuntan a esa estrategia.

Gráfico No. 5: Oferta de Energía Primaria en Bolivia, 2008



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

En el lado del consumo podemos ver las tendencias de mayor consumo de diesel oil y gas natural (Cuadro No. 4):

Cuadro N° 4: Consumo de energía total, por energético (%)

Energético	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Electricidad	10.8	11.0	11.0	10.8	10.6	10.9	10.8
GLP	10.0	10.6	10.8	10.7	10.9	10.9	10.5
Diesel Oil	22.8	23.3	23.3	24.8	25.8	26.4	26.9
Gasolinas	16.1	15.5	14.5	13.8	13.5	12.1	12.5
Gas Natural	12.3	12.4	13.4	13.8	14.5	15.5	16.5
Biomasa	23.0	22.6	22.3	21.5	20.5	19.7	18.7
Otros derivados	5.2	4.7	4.8	4.6	4.3	4.5	4.2
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

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

Las tendencias para el futuro se dividen en los sectores de suministro de energía, transporte y sector residencial y comercial e industrial:



Suministro de energía

En el 2004 la cobertura eléctrica urbana fue 85% y la rural 30%. El gobierno actual ha reactivado ENDE, la empresa nacional de electricidad, que tiene como una prioridad la universalización del servicio eléctrico. Uno de los proyectos es el mega proyecto hidroeléctrico Cachuela Esperanza en la Amazonía Boliviana. Utilizaría las aguas de los ríos Mamore, Madre de Dios y Beni que se conectan con las represas brasileñas de Jirau y San Antonio. Este proyecto esta en fase de pre-factibilidad.

Industrial

Se incrementara el consumo de energía por la iniciación de operaciones de la Empresa Siderúrgica el Mutun (ESM) en Santa Cruz de la cual es socia Jindal Steel & Power. Este es uno de los depósitos más grandes de hierro del mundo. Se prevé que para el 2013 la siderúrgica consumirá 450 megavatios (MWh) mas de energía diarios para producir hierro y acero, lo que representara incrementar la actual generación (de casi 900 MWh) en un 50 por ciento. Existen problemas con el uso de esta energía en durante las horas de poca demanda. La generación de esta energía es con plantas termoeléctricas que se alimentan con gas natural. (La Razón, 8 de agosto, 2008)

Transporte

Debido al subsidio de diesel oil y gasolina, el gobierno prioriza las conversiones de vehículos a gas natural. De acuerdo al Gobierno, mediante el Decreto Supremo 0247 (agosto 2009), dispuso que la recalificación y conversión de autos a GNV (gas natural vehicular) sea gratuita y se financie con un presupuesto de 10 millones de dólares del Fondo de Conversión de Vehículos a Gas Natural Vehicular (FCV-GNV) que dispone de 9 millones de dólares para empezar la transformación de 15.000 vehículos en todo el país. El Gobierno estima que en el primer mes se podrá cambiar hasta 2.500 vehículos. El Viceministerio de Comercialización e Industrialización del Ministerio de Hidrocarburos informó que durante 2007 se adecuaron 23.000 autos a GNV y en 2008 esa cifra subió a 30.000 (La Prensa 15/8/2009).

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

Residencial y comercial

Parte de la estrategia del gobierno es realizar conexiones de gas natural domiciliario a razón de 100 mil por año. De acuerdo al ministerio de Hidrocarburos y energía existe un plan quinquenal para la instalación de esa cifra por año. De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo (PND), el Estado boliviano prioriza la masificación del uso del gas natural en el mercado interno. Por la estrategia residencial y transporte, la empresa estatal busca más inversión en exploración de nuevos campos gasíferos.



Además, se ha implementado el programa de cambio a focos ahorradores en hogares domésticos de manera gratuita en el año 2008. Este programa permitió el ahorro en el consumo eléctrico en las principales ciudades.

Bolivia también presenta una oportunidad significativa tanto en el tema de mitigación como de inversión económica a largo plazo en tecnologías más limpias como ser la producción de baterías de litio para vehículos eléctricos. Bolivia posee uno de los depósitos de litio más grandes del mundo en el área de Uyuni del departamento de Potosí (Según la USGS¹⁰, 5.5 millones de toneladas). El gobierno de Bolivia está en negociaciones con países interesados (Alemania, Japón, y Francia, entre otros) para la explotación y la manufactura de baterías para vehículos eléctricos. El gobierno de Bolivia ya está implementando una planta piloto para el aprovechamiento de los depósitos de litio con una inversión inicial de 5.7 millones de dólares¹¹. La planta piloto de producción de carbonato de litio costaría en su totalidad entre 200 y 250 millones de dólares según el Ministerio de Minería de Bolivia. El objetivo del Gobierno de Bolivia es no solo exportar los recursos naturales si no a la vez retener parte de la manufactura en Bolivia para la creación de empleos.

7. Síntesis de la valuación del cambio climático en el país

Los impactos más fuertes del cambio climático previsto por el modelo PRECIS se producen a través de cambios en los patrones de precipitación. El modelo sugiere que las áreas más secas se vuelvan aún más secas y las áreas húmedas aún más húmedas. Esto indicaría aumentos en sequías en el Altiplano y aumentos en inundaciones en las tierras bajas. La excepción es que el Chaco, que ahora es relativamente seco, también recibiría más precipitación.

7.1 Análisis de los costos económicos de impactos

Si los cambios en precipitación sugeridos por el modelo PRECIS se materializan, los principales costos económicos serían: 1) destrucción de capital público (caminos etc.) por precipitaciones fuertes, 2) destrucción de cultivos y capital privada por precipitaciones fuertes, 3) reducción de biodiversidad (lo que afectaría sobre todo a la silvicultura, caza y pesca y a la ganadería en el Altiplano).

El primer de estos tres efectos sería el más grave, ya que el efecto es acumulativo y ya que afecta a capital pública esencial para todos los sectores.

Aunque los shocks de cada año parecen pequeños (hasta 3.3% del PIB al final del siglo en el escenario más extremo), los efectos se acumulan en el tiempo y hace una gran diferencia a final.

¹⁰ United States Geological Survey.

¹¹ Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos, Corporación Minera de Bolivia
<http://www.evaporiticobolivia.org/index.php?Modulo=Temas01&Opcion=Direccion>.



Básicamente, los bolivianos van a ser 36% más pobres en 2100 si los cambios climáticos del escenario A2 se materializan.

7.2 Análisis de medidas de adaptación

Cómo se mostró en este estudio, los cambios esperados en los patrones de precipitación son los que probablemente tendrán los mayores impactos económicos en Bolivia. Se prevé escasez de precipitaciones en ciertas áreas y exceso de agua en otros. Los impactos adversos pueden ser reducidos a través de los siguientes tipos de adaptación:

- **Planificación territorial** puede evitar asentamientos humanos en los lugares más vulnerables.
- **Control de deforestación y reforestación** puede reducir la severidad de las inundaciones.
- **Sistemas de riego** pueden reducir los impactos sobre la agricultura en áreas con precipitación, escasez y/o irregular.

Además se debe considerar la mejora en la eficiencia del uso de recursos hídricos y la disminución en la desigualdad de acceso al agua para consumo humano. Se deben tomar como prioridad proyectos para la reparación y mantenimiento de las redes de distribución de agua en poblaciones vulnerables como El Alto y La Paz.

7.3 Análisis de oportunidades para mitigación

En Bolivia, las oportunidades de mitigación durante las próximas décadas se encuentran sobre todo en la reducción de deforestación, por lo que sería recomendable apostar fuertemente al mecanismo REDD, que actualmente es el único mecanismo que tendría el potencial para recaudar fondos suficientes para hacer una diferencia real. El aprovechamiento de esta oportunidad dependerá crucialmente de las negociaciones del COP15 en Copenhague a finales de 2009.

El país también tiene potencial para contribuir a la reducción de emisiones fuera del país a través de la exportación de energía limpia (hidroeléctrica, eólica y solar) y productos necesarios para la industria de energía limpia (baterías de litio). El aprovechamiento de estas oportunidades dependerá crucialmente de incentivos (impuestos globales a las emisiones de CO₂, lo que haría relativamente más atractiva la energía sostenible), del desarrollo de tecnologías más baratas (especialmente solar), y de inversión extranjera directa.

Finalmente, especialmente en la segunda mitad del siglo XXI, existe gran potencial para reducir las emisiones de los sectores productivos dentro de Bolivia a través de la transferencia de



tecnologías y procesos de producción más limpios, ya que el sistema productivo en Bolivia podría ser mucho más eficiente y limpio que lo proyectado en el escenario base.

7.4 Aclaraciones importantes

El horizonte del presente estudio es de 100 años, lo que es largo desde la perspectiva de los rápidos cambios económicos que se puede esperar, pero corto desde la perspectiva de los lentos procesos de cambio climático. El plazo de 100 años entonces representa un *trade-off*: Tendría que ser suficientemente largo para que la señal del cambio climático antropogénico podría distinguirse del ruido de la variabilidad climática natural, pero suficientemente corto para que se puedan hacer proyecciones económicas sensibles.

7.4.1 Incertidumbres asociadas a los modelos climáticos

El Sistema Tierra es un sistema no-lineal que incluye sub-sistemas como la atmósfera, los océanos o la biosfera así como complejos procesos de retroalimentación entre ellos. Por esta razón una de las herramientas más usadas para estudiar el clima futuro son los modelos climáticos numéricos (GCMs, modelos de circulación global). Dada la complejidad del sistema, estos modelos todavía no pueden representar ciertos procesos de forma adecuada. La principal razón de la no claridad de los modelos es que es más difícil de modelar lluvia que temperatura. Los procesos que controlan la formación de lluvias como la formación de nubes y gotas ocurren a unas escalas mucho menores que las que usan los modelos actuales (Schiermier, 2008). Uno de los factores está relacionado a la resolución espacial del modelo y otro a la complejidad de ciertos procesos, como los relacionados con las nubes, por ejemplo. Como resultado de esto existen ciertos procesos que deben ser “parametrizados”, es decir representados de manera simplificada dentro los modelos. En el caso de Bolivia tanto la resolución espacial como parametrizaciones no adecuadas para los fuertes gradientes altitudinales existentes en la zona occidental pueden llevar a serios sesgos en los resultados obtenidos (modelo PRECIS).

Sin embargo, aun cuando el modelo representara correctamente a todos los procesos que controlan el clima de la Tierra (o una parte de ella), corridas del modelo a futuro podrían arrojar resultados distintos, a veces muy diferentes. La razón para que esto suceda está relacionada con la naturaleza intrínsecamente no-lineal (caótica) de la atmósfera y océano así como a un conocimiento imperfecto de las denominadas condiciones iniciales.

Por esta causa, es importante utilizar no una sino varias corridas de diferentes modelos para evaluar la confiabilidad de los resultados obtenidos. Eso no fue posible en el presente estudio por lo que los resultados mostrados deben tratarse con precaución ya que otros modelos, o incluso este mismo, podrían entregar resultados diferentes para el mismo periodo de análisis.



7.4.2 Incertidumbres asociadas a la construcción del escenario base de la economía

En este proyecto se desarrolló una trayectoria base de la economía boliviana hasta 2100, tomando en cuenta una serie de cambios estructurales que ya se pueden prever. Sin embargo, habrán otros cambios importantes, que todavía no se pueden anticipar, y es evidente que el escenario base usado está sesgado hacia el status quo. Aunque la economía se vuelva 20 veces más grande, los métodos de producción y la composición del consumo cambian muy poco. Esto no es muy realista y crea un sesgo en la estimación de impactos. Unos ejemplos: Recién se está desarrollando los campos de modificación genética y nano-tecnología, que ambos podrían tener profundos impactos sobre los métodos e insumos de producción. Los sistemas de educación en todo el mundo son anticuados y podrían revolucionarse completamente en este siglo creando personas con capacidades y prioridades que ahora no se pueden imaginar. La movilidad nacional e internacional de la gente también podría aumentarse dramáticamente, así afectando los posibles impactos del cambio climático.

7.4.3 Impactos ignorados

Los impactos ignorados en este estudio incluyen: la posibilidad de un cambio climático abrupto (por ejemplo la elevación de temperatura por la emisión súbita de depósitos de metano en las áreas polares). No se ha considerado movimientos de migración causados por la sequía y procesos de desertificación. Tampoco los costos de posibles conflictos por la disponibilidad de agua. El estudio acerca de cómo el cambio climático afectaría la actividad turística en Bolivia se ha obviado en el presente análisis.

El impacto del cambio climático y las medidas de adaptación y mitigación en otros países no ha sido considerado. Por ejemplo el efecto que la producción de biocombustibles tiene sobre los precios de los alimentos y la expansión de la frontera agrícola. El escenario base y los escenarios A2 y B2, todos suponen los mismos precios mundiales (e.g. de alimentos y petróleo), las mismas transferencias e inversiones extranjeras, y la misma demanda de productos bolivianos.

Por otro lado, el desarrollo de tecnologías más limpias aun no inventadas incidirá también en un descenso en las emisiones de CO₂. Estos impactos son muy difíciles de cuantificar en la actualidad pero es imposible negar su futura existencia.

8. Estrategias de cambio climático en el país

La tendencia hacia niveles de precipitación más extremas puede tener fuertes impactos sobre la economía boliviana en el largo plazo, sobre todo por las más y más frecuentes eventos de precipitaciones fuertes previstos en el escenario A2, que tiende a destruir infraestructura pública.



8.1 El contexto internacional y la estrategia nacional

El gobierno de Bolivia ha planteado dos posturas a nivel internacional: la deuda histórica y la no utilización de mecanismos de mercado para la mitigación del cambio climático. Por el contrario, en el contexto internacional se plantea mecanismos basados en un mercado de carbono. Esta situación tendería a ser contraria a la posición del Gobierno de Bolivia. Es posible llegar a un acuerdo en el que ambas partes puedan ser satisfechas. La principal preocupación es que un mecanismo de mercados de carbono no aseguraría un precio constante en el futuro sino que tendería a la baja.

8.2 Financiamiento de las estrategias de cambio climático

Según la posición del Gobierno de Bolivia, las estrategias nacionales de cambio climático se financiarán con fondos provenientes de la deuda histórica que los países desarrollados tienen con países como Bolivia. También ya se toman en cuenta mecanismos de cooperación a través de organismos internacionales como el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo.

Se prevé la participación en los Fondos de Inversión Climática¹² (CIF por sus siglas en inglés). Estos fondos se dividen en el Fondo de Tecnología Limpia (CTF) que promueve inversiones en tecnologías limpias, y el Fondo de Estrategia Climática (SCF) que incluye financiamiento para programas piloto con potencial de crecimiento y apuntados a un reto climático específico o respuesta sectorial. Dentro del SCF se encuentran el Fondo Piloto para la Resiliencia al Cambio Climático (PPCR), el Programa de Inversiones en Bosques (FIP) y el Programa de Incremento de Energías Renovables en Países con Bajos Ingresos (SREP). Los futuros proyectos de adaptación en Bolivia podrían ser financiados con el fondo PPCR, y posiblemente los programas de mitigación con los programas del SREP y FIP.

Las oportunidades de mitigación durante las próximas décadas se encuentran sobre todo en la reducción de deforestación, por lo que sería recomendable apostar fuertemente al mecanismo REDD. El aprovechamiento de esta oportunidad dependerá de las negociaciones del COP15 en Copenhague a finales de 2009.

8.3 Hacia una economía baja en carbono y desarrollo sostenible de largo plazo

Una de las directivas principales del Plan Nacional de Desarrollo de Bolivia es el concepto del “Vivir Bien en armonía con la naturaleza.” Esta directiva concuerda con una economía baja en carbono y ambientalmente sostenible. Debido a la abundancia relativa de recursos energéticos, Bolivia puede ir de una fase de dependencia de los combustibles fósiles como la gasolina, y el

¹²CIF Overview,

<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/ENVIRONMENT/EXTCC/0,,contentMDK:22107716~menuPK:5931790~pagePK:210058~piPK:210062~theSitePK:407864,00.html>



diesel a una fase transitoria de uso de combustibles fósiles más limpios y baratos como ser el gas natural y sus derivados. Al final de la fase transitoria se plantea la implementación del uso de tecnologías con emisión cero de GEI que sería la producción de baterías de litio.

9. Conclusiones y recomendaciones de política pública.

En este estudio se ha demostrado que los cambios en precipitación tienen impactos económicos mucho mayores que los cambios en temperatura en todos los sectores analizados. Sin embargo, los modelos climáticos no replican adecuadamente las precipitaciones actuales en Bolivia y los diferentes modelos no están de acuerdo entre ellos sobre los cambios que se puede esperar en el futuro. Esto sugiere que para poder avanzar en el tema de estimación de impactos del cambio climático en Bolivia, y diseño de políticas de adaptación, es vital estudiar en más detalle las variaciones en precipitación en el pasado y mejorar la modelación y calibración del ciclo hídrico en los modelos climáticos.

De esta manera se recomiendan inversiones con beneficios bajo cualquier escenario climático futuro. Por ejemplo, proyectos que resultan en la reducción de la vulnerabilidad ante las inundaciones.

El suministro de agua para consumo humano ya es un problema que puede traer consecuencias devastadoras en ciudades principales como La Paz y El Alto. Es importante implementar planes de adaptación que consideren la oferta y la demanda del recurso hídrico. En términos de oferta del recurso hídrico, se plantean la implementación de proyectos de construcción de represas en lugares con una probabilidad mayor de lluvia en el futuro. También se debe adoptar proyectos que incluyan la cosecha de agua de lluvia, y la recuperación de cuencas contaminadas por efluentes domésticos, industriales y mineros con fines de riego.

Para un aprovechamiento eficiente del recurso hídrico se plantea: proyectos para la renovación y mantenimiento de sistemas de distribución de agua, programas de educación para el uso responsable del agua, programas para el aprovechamiento eficiente de la energía eléctrica.

Muchas de las medidas de adaptación en el sector de recursos hídricos también tendrán un impacto positivo en los sectores de energía y agricultura. Además de estas medidas, sería importante incluir programas de implementación de semillas más resistentes a enfermedades y condiciones extremas.

Bibliografía

Aceituno, P. & A. Montecinos (1992) "Precipitación en el Altiplano Sudamericano: Variabilidad Interanual e Intraestacional y Mecanismos Asociados." Presentado al I Congreso Iberoamericano de Meteorología. Octubre 1992. 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. INPE, São José dos Campos, Brazil.
- Andersen, L.E. (2009) “Cambios Climáticos en Bolivia: Impactos sobre Bosques y Biodiversidad.” Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. ¿?/2009. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Octubre.
- Andersen, L.E. & H. Valencia (2009) “Cambios Climáticos en Bolivia hasta 2100: Análisis de los Impactos sobre el Sector Agropecuario.” Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. ¿?/2009. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Octubre.
- Andersen, L. E., J. Escobar & J. C. Ledezma (2009) “Escenarios de Deforestación en Bolivia en Base a Escenarios Socioeconomicas.” Documento elaborado para la Oficina de Desarrollo Limpio, La Paz, Bolivia, Enero.
- Andersen, L. E., J. C. Ledezma & M. Vargas (2006) “Un Mosaico de Conservación, Desarrollo Humano y Tensiones en el Corredor Amboró-Madidi.” Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. 04/2006. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Junio.
- Andersen, L. E., C.W.J. Granger, E.J. Reis, D. Weinhold & S. Wunder (2002) **The Dynamics of Deforestation and Economic Growth in the Brazilian Amazon**. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Andrade, M., L.E. Andersen, R. Mamani (2009) “Cambios Climáticos en Bolivia hasta 2100: Análisis de los escenarios previstos por el Modelo PRECIS.” Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. ¿?/2009. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Octubre.
- Arenas, J. (2009) “Cambios Climáticos en Bolivia: Costos del Aumento en la Frecuencia de Precipitaciones Fuertes sobre la Infraestructura Pública y el Sector Agropecuario” Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. ¿?/2009. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Octubre.
- Bolivia (2005) **Bolivia: Atlas estadístico de Municipios 2005**. INE/PNUD, La Paz, Bolivia.
- Bolivia (2008) **Plan Nacional para el Manejo Integral del Bosque**. Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y Medio Ambiente. Bolivia, Mayo de 2008.
- Bradley, R.S., Vuille, M., Diaz, H.F., and W. Vergara (2006) “Threats to water supplies in the tropical Andes” *Science* 312:1755-1756.
- Dauber, E., J. Terán & R. Guzmán (2002) “Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia.” *Revista Forestal Iberoamericana*, **1**(1): 13-23.
- Francou, B., P. Ribstein, P. Wagnon, E. Ramirez, & B. Pouyaud (2005) “Glaciers of the tropical Andes: indicators of global climate variability.” In: Huber, U., H.K.M. Bugmann, M. A. Reasoner, (Eds.) **Global Change and Mountain Regions: An Overview of Current Knowledge**, vol. 23. Springer, Dordrecht, pp. 197–204.
- Garreaud, R. D., & P. Aceituno (2001) “Interannual rainfall variability over the South American Altiplano,” *Journal of Climate*, **14**(12), 2779-2789.
- Hoffmann, G., E. Ramirez, J. D. Taupin, B. Francou, P. Ribstein, R. Delmas, H. Dürr, R. Gallaire, J. Simoes, U. Schotterer, M. Stievenard & M. Werner (2003) “Coherent isotope history of Andean ice cores over the last century,” *Geophysical Research Letters*, **30**(4): 4.



- Ingersoll, J.C. (1996) *Natural Gas Vehicles*. The Fairmont Press. Lilburn, Georgia. ISBN: 0-88173-218-4.
- Jemio, L. C & L. E. Andersen (2009) “La Economía Boliviana en el Siglo XXI: Un escenario base elaborado con la ayuda de un Modelo de Equilibrio General Computable (BOLIXXI).” Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. 07/2009. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Octubre.
- Jones, R.G., Noguer, M., Hassell, D.C., Hudson, D., Wilson, S.S., Jenkins, G.J. and Mitchell, J.F.B. (2004) “Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS, Met Office Hadley Centre,” Exeter, UK, 40pp, April.
- Lim, W. H. & M. L. Roderick (2009) **An Atlas of the Global Water Cycle: Based on the IPCC AR4 Climate Models**. The Australian National University E-Press.
- Mc Gray, H., Hammill, A., and R. Bradley (2007). *Weathering the storm: options for framing adaptation and development*, Washington, D.C., Instituto de los Recursos Mundiales.
- Molina, O. (2009) “El Impacto de los Cambios Climáticos sobre el Salud en Bolivia: Estimación de Costos y Beneficios hasta 2100.” Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. 17/2009. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Octubre.
- MPD/PNCC (Min. de Planificación del Desarrollo/Programa Nal. Cambio Climático) (2007) *Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. MPD-VPTA/PNCC. La Paz, Bolivia.
- MPD/PNCC (Min. de Planificación del Desarrollo/Programa Nal. Cambio Climático) (2007b) *El Cambio Climático en Bolivia (Análisis, Síntesis de Impactos y Adaptación)*. La Paz, Bolivia. Quality, SRL.
- MPD/PNCC (Min. de Planificación del Desarrollo/Programa Nal. Cambio Climático) (2007c) *Proyecto Regional Andino de Adaptación al Cambio Climático. Bolivia. Avances y Resultados de la Fase de Preparación*. MPD-VPTA/PNCC. La Paz, Bolivia.
- Ramirez, 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(3): 50-61.
- Schiermeier, Q. (2008) “A long dry summer” *Nature*, Vol. 452: 270-272.
- Stern, N. (2006). "Stern Review on The Economics of Climate Change". HM Treasury, London. http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm .
- Thompson, L. G., E. Mosley-Thompson, M. E. Davis, P. N. Lin, K. Henderson & T. A. Mashiotta (2003) “Tropical glacier and ice core evidence of climate change on annual to millennial time scales,” *Climate Change*, **59**(1-2): 137-155.
- A. Timmermann, J. Oberhuber, A. Bacher, M. Esch,,M. Latif & E. Roeckner (1999) “Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming” *Nature*, Vol. 398:694-697
- Vuille, M., B. Francou, P. Wagnon, I. Juen, G. Kaser, B. G. Mark & R. S. Bradley (2008) “Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future,” *Earth-Science Reviews*, **89** (3-4): 79-96, doi:10.1016/j.earscirev.2008.04.002.