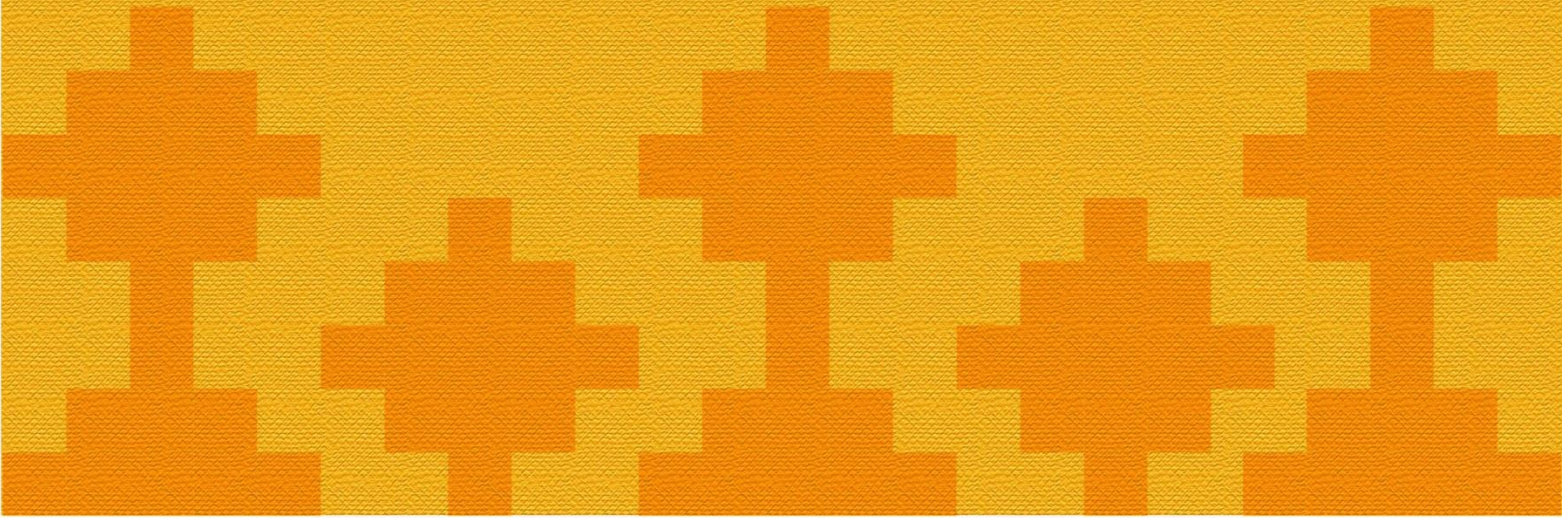




La economía del  
**cambio  
climático**  
en Bolivia

Estimación de impactos  
en equilibrio general



Banco Interamericano de Desarrollo



La economía del cambio climático en Bolivia  
Estimación de impactos  
en equilibrio general

**Autores:** Luis Carlos Jemio, Lykke E. Andersen,  
Carlos E. Ludeña, Carlos de Miguel, Mauricio Pereira



NACIONES UNIDAS

CEPAL



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

Jemio M., Luis Carlos

La economía del cambio climático en Bolivia: estimación de impactos en equilibrio general / Luis Carlos Jemio, Lykke E. Andersen, Carlos E. Ludeña, Carlos de Miguel, Mauricio Pereira.

p. cm. – (Monografía del BID; 201)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Environmental economics—Bolivia. I. Jemio M., Luis Carlos. II. Andersen, Lykke E. III. Ludeña, Carlos E. IV. de Miguel, Carlos. V. Pereira, Mauricio. VI. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático y Sostenibilidad. VII. Serie.

IDB-MG-201

Número de referencia de la CEPAL, Naciones Unidas: LC/L.3807

**Palabras clave:** Cambio Climático, Equilibrio General Computable, Impactos Económicos, Bolivia

**Clasificación JEL:** Q54, C68, O54.

Este documento es uno de los análisis sectoriales que conforman la serie “La economía del cambio climático en Bolivia” del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en el marco del Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático (ERECC) en América Latina y el Caribe, coordinado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y con el apoyo de UKAID del gobierno Británico.

Esta serie fue coordinada por Carlos Ludeña en colaboración con Leonardo Sánchez-Aragón (BID) y Carlos de Miguel, Karina Martínez y Mauricio Pereira (CEPAL).

El presente documento fue preparado por Luis Carlos Jemio y Lykke E. Andersen, con los aportes de Carlos Ludeña, Leonardo Sánchez-Aragón y Sebastián Miller (BID), Carlos de Miguel y Mauricio Pereira (CEPAL).

Se agradece el apoyo del Ministerio de Ambiente y Agua en la realización de este estudio, en especial al Programa Nacional de Cambios Climáticos, ahora Autoridad Plurinacional de la Madre Tierra.

**Citar como:**

Jemio, L.C., L.E. Andersen, C.E. Ludeña, C. de Miguel, M. Pereira. 2014. *La economía del cambio climático en Bolivia: Estimación de Impactos en Equilibrio General*. Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 201, Washington, DC.

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

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

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

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	LA DEFINICIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO USADO EN EL ESTUDIO .....	2
3.	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL MEGC .....	4
	3.1 Características generales de BOLIXXI .....	4
	3.2 Características específicas importantes.....	6
	3.3 Las variables medioambientales de BOLIXXI.....	8
4.	CONSTRUCCIÓN DEL ESCENARIO BASE.....	9
	4.1 Tendencias demográficas y el mercado laboral.....	10
	4.2 Proyecciones macroeconómicas.....	18
	4.3 Uso de la tierra, deforestación y actividad agrícola .....	25
	4.4 Emisión de gases de efecto invernadero .....	32
5.	ESCENARIOS A2 Y B2 .....	34
	5.1 Shocks de producción.....	35
	5.2 Shocks de Infraestructura .....	38
	5.3 Política de reconstrucción.....	39
6.	RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ESCENARIOS BASE, A2 Y B2 .....	41
	6.1 Impactos sobre el PIB.....	41
	6.2 43	
	6.3 Impactos sectoriales.....	43
	6.4 Impactos macroeconómicos.....	45
	6.5 Impactos medioambientales.....	52
7.	CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES.....	54
8.	REFERENCIAS.....	55
9.	ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS ADICIONALES DE BOLIXXI.....	57
	9.1 A1. Sectores productivos .....	57
	9.2 A.2. Distribución del ingreso .....	58
10.	ANEXO 2: ECUACIONES DE BOLIXXI.....	62
	10.1 A2.1 Notación básica .....	62
	10.2 A2.2 Ecuaciones del modelo.....	62

## Resumen

En los últimos años se ha visto el desarrollo de una gran cantidad de estudios sobre los efectos del cambio climático en diversos sectores y países. Sin embargo, en general estos estudios son parciales y no llegan a incluir los impactos indirectos y dinámicos que surgirán a causa de los efectos sectoriales más obvios y directos. El propósito del presente estudio es demostrar cómo se puede integrar los efectos directos del cambio climático en un Modelo de Equilibrio General Computable (MEGC) para analizar los efectos indirectos y dinámicos, y así llegar a obtener una mayor percepción sobre el impacto real que este fenómeno podría tener sobre la economía boliviana. Los resultados muestran que los impactos indirectos y dinámicos son entre dos y cuatro veces mayores que los efectos directos, lo que muestra la importancia de desarrollar instrumentos que permitan su estimación e inclusión en estudios sobre los impactos del cambio climático.

## 1. Introducción

En el marco del proyecto “Estudio Regional de Economía del Cambio Climático en Sudamérica” (ERECC-SA) coordinado por la CEPAL y auspiciado por el Banco Interamericano de Desarrollo, la Cooperación Británica y la Cooperación Danesa, se ha desarrollado una serie de estudios sectoriales sobre los impactos del cambio climático en Bolivia. Andersen, Valencia & Jemio (2014) estiman los efectos sobre el sector agropecuario; Molina (2014) los efectos sobre la salud; Andersen (2014) los efectos sobre biodiversidad; Machicado (2014) los efectos sobre el sector hidroeléctrico; Ontiveros (2014) y Calvo (2014) analizan los efectos sobre la disponibilidad de agua; y Arenas (2014) estima los efectos del aumento en eventos extremos sobre la infraestructura pública y la producción agropecuaria.

Sin embargo, todos estos estudios son parciales y no consideran los efectos indirectos y dinámicos que surgirán a causa de los efectos sectoriales directos. Por ejemplo, el estudio sobre agricultura estima los impactos del cambio climático sobre los rendimientos agropecuarios y los ingresos de la población rural, pero no considera la cascada de efectos indirectos que estos impactos inician: Una caída en la producción agropecuaria causaría un aumento en los precios de productos agropecuarios, lo cual compensaría parcialmente a los productores, pero al mismo tiempo dañaría a los consumidores quienes tendrían que gastar una mayor parte de su presupuesto en alimentación. Todos los hogares entonces gastarían menos en otros productos, lo que afectaría adversamente a los productores en todos los otros sectores de la economía.

Además, los estudios no toman en cuenta los efectos dinámicos que surgen. Un productor que ha experimentado una caída en ingresos en un año va a tener menos excedente disponible para inversión y por eso su producción también va a ser menor en los siguientes años, aun si no hubiera efectos directos los siguientes años. De la misma manera, un camino que se destruyó por eventos extremos en un año, no solamente causa daño a todos los que necesitaban usar el camino este año, sino también los siguientes años. Aunque el gobierno trataría de reparar los caminos destruidos, esto significaría que tendría menos fondos disponibles para invertir en nuevos caminos, así que sí o sí va a haber menos infraestructura disponible, lo que perjudica a todos los sectores de la economía.

CEPAL (1999, cuadro 1) sugiere que los impactos indirectos de los eventos extremos pueden ser mucho más importantes que los efectos directos. En el caso del El Niño 1997/1998, encontraron que los efectos indirectos en promedio alcanzaban el 176% de los efectos directos para los cinco países andinos analizados, llegando a 907% en el caso de Ecuador y a 2.300% en Venezuela. Es decir, al ignorar los efectos indirectos, se subestimarían considerablemente los impactos del cambio climático.

El propósito del presente estudio es integrar todos los efectos sectoriales significativos estimados para la economía boliviana en un Modelo de Equilibrio General Computable BOLIXXI (MEGC) construido para la economía boliviana. Esto permite analizar no solamente los efectos directos del cambio climático sino también los efectos indirectos y dinámicos.

El uso de un MEGC también nos permite evaluar el nivel de subestimación de impactos que se encuentran en estudios, que solamente miden los efectos directos, o en estudios que logran medir solamente algunos de los

efectos indirectos, por ejemplo a través de la aplicación de multiplicadores fijos de insumo-producto (Schuschny 2005; Pyatt & Round, 1977).

El presente documento consta de seis secciones: En la sección 2 se define el cambio climático analizado. Igual que todos los otros estudios que forman parte del proyecto ERECC-SA, estamos usando un escenario extremo (A2) y un escenario moderado (B2) del modelo PRECIS, analizando las diferencias en clima entre 1961-1990 y 2071-2100.

En la tercera sección se analizan las características generales y específicas del MEGC más relevantes para entender su funcionamiento. También se discuten, en forma general, las adaptaciones más importantes del MEGC que se han realizado para este estudio. .

En la cuarta sección se examina en detalle la construcción del escenario base para la economía boliviana durante el siglo XXI. Contar con un escenario base es indispensable para cualquier estudio sobre los impactos del cambio climático, porque no se puede suponer que la economía se mantenga constante durante periodos tan extensos. El mismo escenario base fue usado en todos los estudios sectoriales del proyecto ERECC-Bolivia. En primer lugar, se discuten los principales supuestos utilizados en las simulaciones relativas al comportamiento de variables exógenas claves. Luego, se detallan los principales cambios estructurales que se espera que experimente la economía boliviana hasta 2100, año hasta el cual se realizan las proyecciones macroeconómicas.

La sección 5 analiza la construcción de los escenarios A2 y B2, donde se cuantifican los efectos directos de pérdidas de producción e infraestructura, y se explica cómo estos efectos fueron incluidos en el MEGC.

La sección 6 analiza los resultados obtenidos a partir de las simulaciones de los escenarios A2 y B2, en comparación con el escenario base. Se reportan y analizan los resultados obtenidos para variables importantes, como: crecimiento del PIB, pérdidas sectoriales, balance fiscal, deuda pública, balance ahorro-inversión, tasa de inflación, distribución del ingreso, deforestación y emisión de gases de efecto invernadero. También se incluye un escenario con un esfuerzo de reconstrucción, suponiendo que el gobierno aumenta la inversión pública con montos suficientes para reponer rápidamente la infraestructura pública dañada por eventos extremos.

Finalmente, la sección 7 presenta las principales conclusiones del estudio.

## 2. La definición del cambio climático usado en el estudio

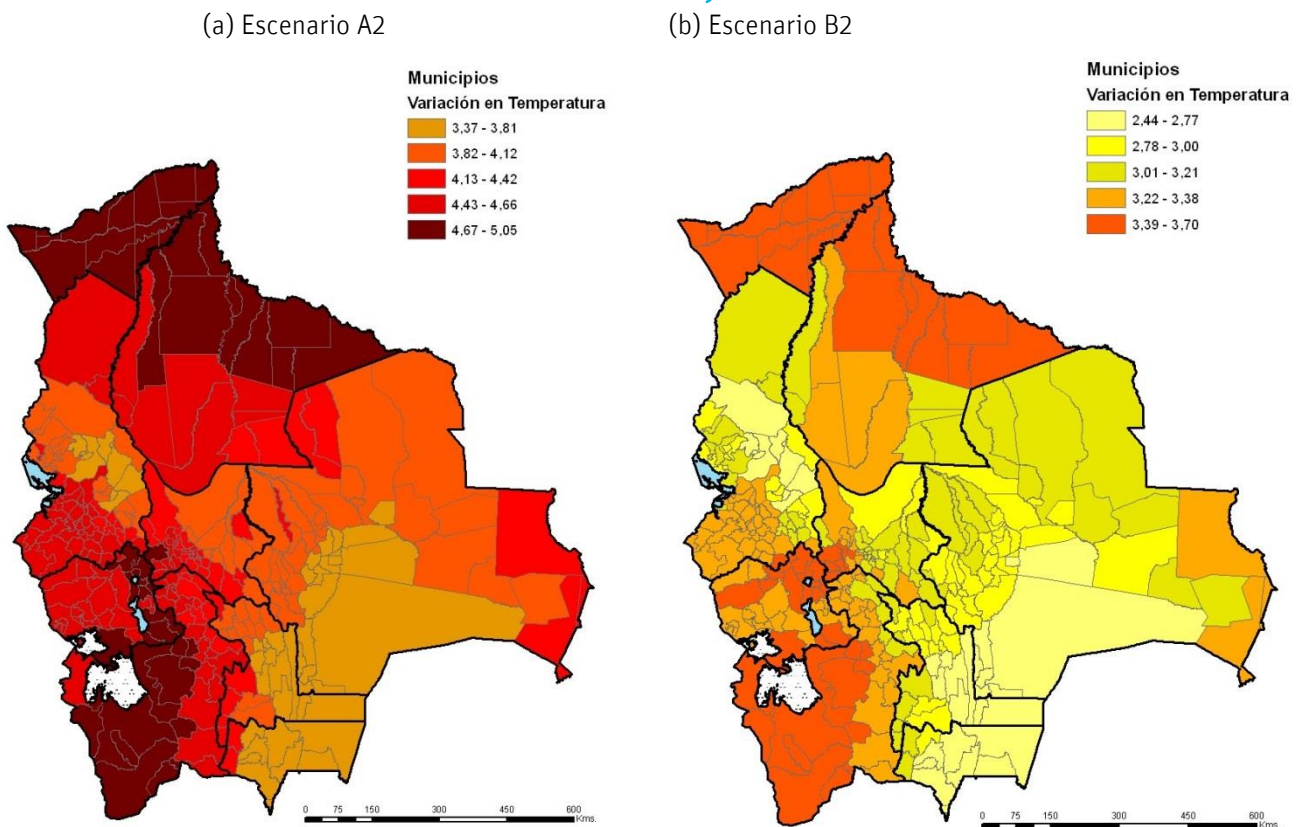
El presente estudio forma parte de un proyecto más amplio sobre los impactos económicos del cambio climático en Bolivia durante el siglo XXI, ERECC-Bolivia (BID/CEPAL, 2014), lo cual forma parte, a su vez, de un proyecto aún más amplio sobre el impacto económico del cambio climático en América Latina hasta el año 2100, ERECC-SA (CEPAL, 2010). Todos los estudios sectoriales llevados a cabo en el marco del proyecto ERECC, incluyendo el presente, usan los mismos dos escenarios climáticos, A2 y B2, generados por el modelo regional PRECIS del Centro Hadley en Inglaterra, que tiene una resolución de 50 x 50 km (ver Jones et al., 2004; Alves, 2007; Andrade, 2014). Los escenarios muestran los cambios en temperatura promedio mensual y precipitación mensual que se esperan entre el periodo base (1961-1990) y el periodo futuro (2071-2100). Estos cambios climáticos se deben exclusivamente al aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera debido a actividades humanas, previstos por este modelo.



En el caso de los estudios de Bolivia, se han calculados los escenarios de cambio climático al nivel de municipios, para poder relacionar estos cambios con datos socioeconómicos. En los mapas 1(a) y 1(b), se muestran los cambios en temperatura promedio anual entre el periodo base (1961-1990) y el periodo futuro (2071-2100) en los dos escenarios (A2 el más extremo, debido a mayores emisiones y concentraciones de CO<sub>2</sub>, y B2 el escenario más moderado).

En los mapas 2(a) y 2(b) se muestran los cambios en precipitación anual en los dos escenarios para los mismos 110 años.

**Mapa 1**  
*Cambios en temperatura medio anual (°C) entre 1961-1990 y 2071-2100 de acuerdo al modelo PRECIS, escenarios A2 y B2*



Fuente: Calculado por Andrade (2014) en base a corridas realizadas por el INPE con el modelo PRECIS.

En el escenario A2, las temperaturas medias aumentarían entre 3,4 y 5,1°C, dependiendo del lugar (más calentamiento en el Norte del país y en el Altiplano). En el escenario B2, las temperaturas medias aumentarían entre 2,4 y 3,7°C, siguiendo el mismo patrón espacial.

La precipitación muestra un cuadro más variable que la temperatura. Bajo los dos escenarios estudiados, la precipitación promedio disminuye moderadamente en la zona altiplánica (hasta -16%) y se incrementa (hasta 44%) en las zonas bajas.

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

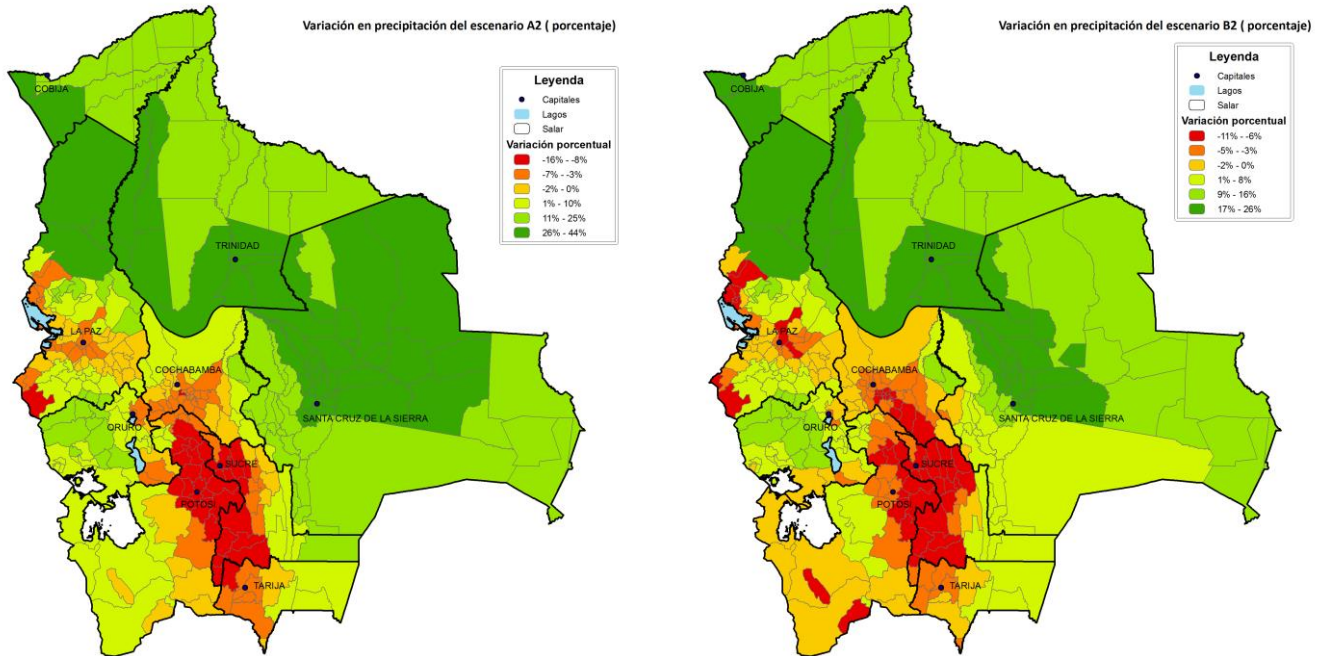
Bolivia donde la precipitación es máxima, el modelo sugiere un incremento relativamente grande en la zona. La región afectada es mucho más grande bajo el escenario A2 que bajo B2 (ver el mapa 2).

### Mapa 2

#### Cambios en precipitación medio anual (%) entre 1961-1990 y 2071-2100 de acuerdo al modelo PRECIS, escenarios A2 y B2

(a) Escenario A2

(b) Escenario B2



Fuente: Calculado en base a corridas realizadas por el INPE con el modelo PRECIS (ver Andrade, 2014).

Es importante tener en cuenta que el cambio climático analizado en este proyecto es solo una simulación, y es una entre muchas. Mientras que todos los modelos de simulación del clima indican que la temperatura va a subir durante este siglo, los modelos tienen muchos problemas en predecir los cambios en precipitación, especialmente sobre Bolivia (IPCC, 2007, Capítulo 11).

## 3. Principales características del MEGC

Los MEGC permiten realizar proyecciones manteniendo la consistencia macroeconómica en cada escenario para el cual se realiza la proyección. De esta forma, en cada escenario se verifican las identidades macroeconómicas fundamentales, como es el caso de los equilibrios entre el ahorro y la inversión, las restricciones de recursos de los sectores público y privado, las restricciones externas, la identidad entre oferta y demanda de bienes y servicios, a nivel global y sectorial. A continuación, se explican las principales características del modelo BOLIXXI.

### 3.1 Características generales de BOLIXXI

BOLIXXI es un modelo multisectorial, ya que incluye una desagregación relevante en los sectores de la producción, con diferentes cierres para sectores, como: agricultura, minería, hidrocarburos, construcción, industria manufacturera, servicios, electricidad, etc. Con el objetivo de evaluar los efectos medioambientales

de la producción, el sector agrícola ha sido desagregado aún más, incluyéndose en forma separada al sector agrícola tradicional, al agrícola industrial, a la ganadería y al sector forestal. También el sector de electricidad, gas y agua ha sido desagregado en tres sectores: por eso, las actividades de energía hidroeléctrica, termoeléctrica y agua aparecen en forma separada dentro del modelo. Esto será explicado en más detalle más adelante en el documento.

Las actividades de producción incluidas en el MEG son:

1. Agricultura Tradicional (AT)
2. Agricultura Industrial (AI)
3. Ganadería (GD)
4. Silvicultura, caza y pesca (SL)
5. Minería (MN)
6. Hidrocarburos (HD)
7. Industria Manufacturera (MF)
8. Energía Hidroeléctrica (EH)
9. Energía Termoeléctrica (ET)
10. Agua (WT)
11. Construcción (CT)
12. Transporte (TR)
13. Otros servicios (SO).

BOLIXXI también permite evaluar los efectos de diversos escenarios de crecimiento sobre la distribución del ingreso, ya que incluye una desagregación significativa para los diferentes grupos socioeconómicos que participan en el mercado laboral: trabajadores asalariados y no asalariados, trabajadores urbanos y rurales, trabajadores calificados y no calificados. También hay una desagregación institucional significativa, ya que el modelo incluye a los sectores de empresas, gobierno, empresas públicas, microempresas, etc. Los grupos socioeconómicos incluidos son:

1. Empresas corporativas (EMP)
2. Cuenta propia urbanos (CPU)
3. Asalariados urbanos (ASU)
4. Cuenta propia rurales (CPR)
5. Asalariados rurales (ASR).

BOLIXXI es dinámico-recursivo, por lo que permite evaluar los efectos de corto, mediano y largo plazo de las políticas, estrategias y shocks externos. El modelo resuelve los equilibrios para un año  $t$ , una vez que se ha resuelto y encontrado la solución factible para el año  $t-1$ . De esta forma, BOLIXXI permite la acumulación de diversas formas de capital y activos en la economía, por ejemplo: capital físico (público y privado), activos financieros (depósitos, cartera, reservas externas, deuda interna y externa), capital humano (trabajadores calificados), etc.

Se han incorporado varios cambios estructurales importantes, lo que nos permite usar BOLIXXI para realizar proyecciones para períodos muy extensos (hasta 100 años).

### 3.2 Características específicas importantes

En esta subsección se discuten las principales características específicas de BOLIXXI. En el anexo 1 se presentan con mayor detalle todas las ecuaciones del modelo. Sin embargo, en esta sección se esbozan algunas características fundamentales:

- a) La oferta de cada una de las actividades productivas se determinan a través de funciones de producción sectoriales de elasticidad constante tipo CES (*Constant Elasticity of Substitution*):

$$P_j = \{[(1+tx_i) \cdot [\sum (PD_i/P_j^{P_i}) \cdot a_{i,j} + \beta_{CP,j} \cdot (rc_j \cdot P_j)^{1-P_j} + \beta_{UP,j} \cdot (ru_j \cdot P_j)^{1-P_j} + \beta_{LB,j} \cdot (w)^{1-P_j} + a_{MP,j} \cdot (PD_{MP})^{1-P_j}]]^{1/(1-P_j)}\}$$

Donde la estructura de costos de cada actividad es función de los impuestos pagados por el sector  $(1+tx_i)$ ; del consumo intermedio de insumos proveniente de otros sectores  $(\sum (PD_i/P_j^{P_i}) \cdot a_{i,j})$ ; y de cuatro factores productivos: i) capital corporativo  $(\beta_{CP,j} \cdot (rc_j \cdot P_j)^{1-P_j})$ , ii) capital no corporativo  $(\beta_{UP,j} \cdot (ru_j \cdot P_j)^{1-P_j})$ ; iii) mano de obra  $(\beta_{LB,j} \cdot (w)^{1-P_j})$ ; y iv) insumos importados  $(a_{MP,j} \cdot (PD_{MP})^{1-P_j})$ .

- b) En el sector productivo todas las actividades tienen un cierre de mercado que se da a través de variaciones de precios y de cantidades, en función de la elasticidad de las curvas de oferta y de demanda.

$$P_j \cdot X_j = CI_j + DF_j$$

Es decir, un cambio en la demanda final del sector  $j$  ( $DF_j$ ), o en el consumo intermedio de insumos producidos por ese sector ( $CI_j$ ), traerá como consecuencia un incremento en la cantidad producida por este sector ( $X_j$ ) o por un aumento de los precios ( $P_j$ ).

- c) En el modelo se diferencian varios grupos e instituciones cuyos balances de acumulación tienen diferentes cierres: hogares, corporaciones, empresas públicas, gobierno, y sector externo. Cada agente debe decidir sobre la composición de sus respectivos portafolios, basados en la rentabilidad de cada activo. Esto se incluye en BOLIXXI mediante la inclusión de funciones de portafolio de elasticidad constante tipo CES :

$$ASS_k \equiv \sum AA_k + KN_k$$

Donde  $ASS_k$  es el activo total del agente económico  $k$ . Este está compuesto por las inversiones en activos financieros ( $\sum AA_k$ ) y la inversión en activos físicos ( $KN_k$ ). La cantidad que el agente  $k$  invierte en activos  $j$  dependerá de la rentabilidad relativa de ese activo en relación con la rentabilidad total de los activos. Es decir:

$$AA_{k,j} = \alpha_{k,j} \cdot (rf_{j,k}/rk_k)^\sigma \cdot A_k$$

Los agentes también invertirán parte de su portafolio en activos físicos, siguiendo la misma lógica de las rentabilidades relativas.

$$KN_k = \alpha_{k,j} \cdot (rf_{j,k}/rk_k)^\sigma \cdot A_k$$

El balance de acumulación de cada agente  $k$  sigue reglas particulares, las cuales se analizan a continuación.

- d) En el BOLIXXI se asume que el financiamiento externo se determina exógenamente para todas las instituciones, tanto públicas como privadas, por lo que el ajuste macroeconómico se da principalmente a través de los balances del sector privado, que son endógenos en el modelo.
- e) En el ajuste de los balances de acumulación para los hogares, la causalidad va desde la disponibilidad de recursos hacia la acumulación de activos. Por lo tanto, el nivel de inversión realizado y la acumulación de otros activos financieros se ajustan a la disponibilidad de fondos, que es determinada exógenamente a los hogares. Sin embargo, estos últimos pueden escoger la estructura de su portafolio siguiendo criterios de maximización de rentabilidad.
- f) Las compañías también invierten de acuerdo con su disponibilidad de recursos. Sin embargo, a diferencia de los hogares, tienen acceso a recursos externos y son prestatarios preferenciales por parte de los bancos. Las compañías pueden determinar la estructura de su portafolio sobre la base de las diferenciales de rentabilidad de las distintas alternativas de inversión. El nivel de inversión realizado por las compañías puede estar restringido por la disponibilidad de financiamiento impuesto por la política monetaria a nivel macroeconómico (*budget constraint*).
- g) Las empresas públicas y el gobierno, por otra parte, pueden determinar sus niveles de inversión en capital físico en forma exógena, y también el de activos financieros, y la disponibilidad de financiamiento se ajusta a estos niveles. Parte de ese financiamiento viene del mercado financiero nacional, por lo que existe un desplazamiento o expulsión (*crowding-out*) de las actividades del sector privado.
- h) El Banco Central otorga crédito a los bancos privados, cumpliendo su rol de prestamista de última instancia. El crédito al sector público, gobierno y empresas estatales, se ajusta en función de la demanda de financiamiento del sector público. Esto reduce la disponibilidad de financiamiento para el sector privado, por lo que a través de este canal se genera el “crowding-out” de la actividad privada.
- i) Los bancos comerciales prestan a las compañías de acuerdo con las disponibilidades de financiamiento por parte de los bancos. De la misma forma, los bancos determinan los niveles de financiamiento a los hogares basados en criterios de rentabilidad. El financiamiento de estos créditos es obtenido mediante depósitos bancarios, crédito proveniente del Banco Central y financiamiento externo.
- j) En virtud de lo analizado anteriormente, se puede deducir que, a nivel macroeconómico, el MEGC incorpora diversos tipos de ajuste para el balance ahorro-inversión para la economía en su conjunto.

$$Sh + Sc + Sg + Se = Ih + Ic + Ig$$

La inversión del gobierno ( $I_g$ ) se determina exógenamente y el ahorro de los hogares ( $Sh$ ), ahorro de las empresas ( $Sc$ ) y del gobierno ( $Sg$ ) se determinan en función de los ingresos y gastos de cada uno de estos sectores. Por lo tanto, si por ejemplo el gobierno aumenta su nivel de inversión ( $I_g$ ), las variables que ajustan el balance macroeconómico son las siguientes:

- i. La inversión de los hogares ( $I_h$ ) y de las corporaciones ( $I_c$ ) se reducen debido a que estas se ajustan a la disponibilidad de financiamiento, lo cual puede generar un efecto de desplazamiento de la actividad privada (*crowding-out*).

- ii. También puede aumentar el ahorro del gobierno y del sector privado en su conjunto, debido al mayor nivel de actividad que se genera al incrementarse la inversión pública, en un ajuste al estilo keynesiano.
- iii. Finalmente, el aumento de la inversión también puede generar efectos redistributivos en el ingreso, desde los sectores con mayor propensión a consumir hacia sectores con menor propensión a hacerlo, por lo que el ahorro a nivel macroeconómico tendería a incrementarse para financiar la inversión adicional.
- iv. Existe un pequeño margen de ajuste a través del ahorro externo ( $S_e$ ), a través de las decisiones de portafolio de los agentes. El financiamiento externo se determina exógenamente en el modelo.

Reagrupando se obtiene:

$$(S_g - I_g) + (S_h + S_c - I_h - I_c) = -S_e$$

El ahorro externo ( $-S_e$ ) es prácticamente exógeno, con algún margen de ajuste vía balance comercial. El gasto del gobierno también se determina exógenamente (corriente ( $G$ ) y de capital ( $I_g$ )), por lo que el modelo cierra a nivel macro a través del balance del sector privado ( $S_p - I_p$ ). Tanto  $S_p$  como  $I_p$  se determinan endógenamente, por lo que si se produce un mayor gasto (corriente o de capital) por parte del gobierno habrá un efecto de desplazamiento (*crowding-out*) de la actividad privada.

En el anexo 1 se analizan algunos aspectos importantes de la estructura del modelo, sobre todo en lo referido a la estructura productiva y de la distribución del ingreso entre las diferentes categorías ocupacionales identificadas en el modelo. En el anexo 2 se muestran en forma detallada todas las ecuaciones del MEGC que han sido utilizadas en el presente estudio.

### 3.3 Las variables medioambientales de BOLIXXI

BOLIXXI ha sido adaptado para evaluar los efectos del comportamiento macroeconómico sobre variables medioambientales, como la deforestación y la emisión de GEI. El modelo también permite evaluar los efectos y costos económicos de implementar políticas dirigidas a reducir la deforestación y las emisiones de gases. Estas también pueden variar si se producen shocks externos, como un incremento en el precio de los alimentos en los mercados internacionales, o un cambio tecnológico que aumente la productividad de la tierra.

BOLIXXI también permite evaluar y medir los costos de implementar políticas dirigidas a reducir la deforestación y las emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Las políticas pueden estar dadas en la forma de impuestos a la producción de sectores que tengan un mayor efecto sobre estas variables medioambientales, como es el caso de la agricultura agroexportadora o la producción de energía termoeléctrica. También permite evaluar los efectos de las políticas de incentivos y compensaciones, aplicadas con el objeto de incentivar una reducción en la producción y en la deforestación.

Los costos económicos de aplicar políticas dirigidas a reducir la deforestación y la emisión de gases pueden ser evaluados en términos de los valores presentes netos de la producción no materializada, de exportaciones que se dejaron de realizar, del empleo no generado, etc. También se pueden determinar los costos fiscales de cada una de las alternativas de políticas o estrategias adoptadas, los costos incurridos en términos de mayor inflación o apreciación cambiaria y los impactos distributivos de estas políticas.

## 4. Construcción del escenario base

Para la construcción del escenario base, es necesario especificar de antemano los principales supuestos sobre los cuales se basarán las proyecciones. Estos supuestos incluyen las tendencias demográficas observadas, las tasas de inversión estimadas, los cambios estructurales esperados en el futuro, los cuales condicionarán los resultados de las proyecciones, etc.

Para analizar los cambios estructurales de largo plazo que una economía como la boliviana puede experimentar en un período de 100 años, el MEGC se constituye en una herramienta muy valiosa.

Como se dijo anteriormente, el MEGC nos garantiza que las proyecciones realizadas mantengan una coherencia y consistencia macroeconómica interna, ya que se verifican las identidades macroeconómicas y se respetan las restricciones de recursos existentes, tanto internas como externas. Sin embargo, es necesario definir claramente los supuestos sobre los cuales se realizan las proyecciones, y además se especificarán los diferentes escenarios, que comprenden los supuestos adoptados sobre los cambios estructurales que esperaríamos que se produzcan en Bolivia, en las áreas económica, demográfica, social, medioambiental, tecnológica, etc. Algunos de los cambios importantes esperados, y que están siendo incluidos en las proyecciones de largo plazo son los siguientes:

- i. Las tendencias demográficas de la población boliviana prevén tasas de crecimiento de la población decrecientes, así como una progresiva urbanización en el largo plazo.
- ii. El nivel de ingreso per cápita se incrementará en forma importante, convirtiendo a Bolivia en un país de ingresos medios-altos.
- iii. Para que suceda lo planteado en el punto ii, es necesario que se produzca un incremento sostenido en la productividad del trabajo y consecuentemente en los salarios reales.
- iv. También es necesario que se incrementen en forma sostenida las tasas de inversión y de innovación tecnológica, lo cual permitirá alcanzar las mejoras de productividad mencionadas. Este aumento en la productividad es también necesario, dado que la tasa de crecimiento de la población se irá reduciendo paulatinamente durante las últimas décadas del siglo.
- v. El progreso tecnológico también permitirá que crezca la productividad de la tierra y, por lo tanto, también que se reduzca el área deforestada anualmente.
- vi. Además, será necesario crear más empleo en sectores que generen un mayor valor agregado y, por lo tanto, permitan absorber el elevado desempleo y subempleo que caracterizan en la actualidad el mercado de trabajo en Bolivia.
- vii. Es importante que los diferentes escenarios construidos sean consistentes con las restricciones de recursos internas y externas, por lo que en cada escenario se verificarán la consistencia de las proyecciones de los balances fiscales y externos, la acumulación de deuda pública y la tasa de inflación.

El crecimiento de largo plazo en el MEGC está determinado por la acumulación de factores de producción (capital y trabajo), los cuales se retroalimentan al MEGC a través de las funciones de producción sectoriales de elasticidad de sustitución constantes (CES).

$$Q = [\alpha \cdot K^{1+\Omega} + \beta \cdot L^{1+\Omega} + (1-\alpha-\beta) \cdot M^{1+\Omega}]^{1/(1+\Omega)}$$

donde:

$Q$  = nivel de producción  
 $K$  = *stock* de capital físico  
 $L$  = factor trabajo utilizado en la producción  
 $M$  = insumos utilizados en la producción  
 $\Omega$  = elasticidad de sustitución  
 $\alpha$  y  $\beta$  = parámetros de la función CES

El *stock* de capital en un momento del tiempo  $t$  es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$K_t = K_{t-1} \cdot (1-d) + I_t$$

donde:

$K_t$  = *stock* de capital en el periodo  $t$   
 $d$  = tasa de depreciación del capital  
 $I_t$  = inversión en el periodo  $t$

La evolución del factor trabajo en el tiempo depende de factores demográficos que tienen que ver con la tasa de crecimiento y envejecimiento de la población y de la población en edad de trabajar:

$$L_t = L_{t-1} \cdot (1 + n)$$

donde:

$L_t$  = fuerza laboral en el periodo  $t$   
 $n$  = tasa de crecimiento de la fuerza laboral.

La determinación de los niveles de producción a través de funciones de producción dentro de los MEGC hace que este tipo de modelos sea ideal para simular los efectos de los *shocks* de cambio climático en la economía, ya que éstos son en esencia de oferta. Las funciones de producción y la acumulación de factores de producción a través del tiempo, permiten capturar los efectos dinámicos de los *shocks*, lo que es esencial para tener una lectura precisa de cómo el cambio climático afecta a la economía en el largo plazo.

## 4.1 Tendencias demográficas y el mercado laboral

### Crecimiento poblacional

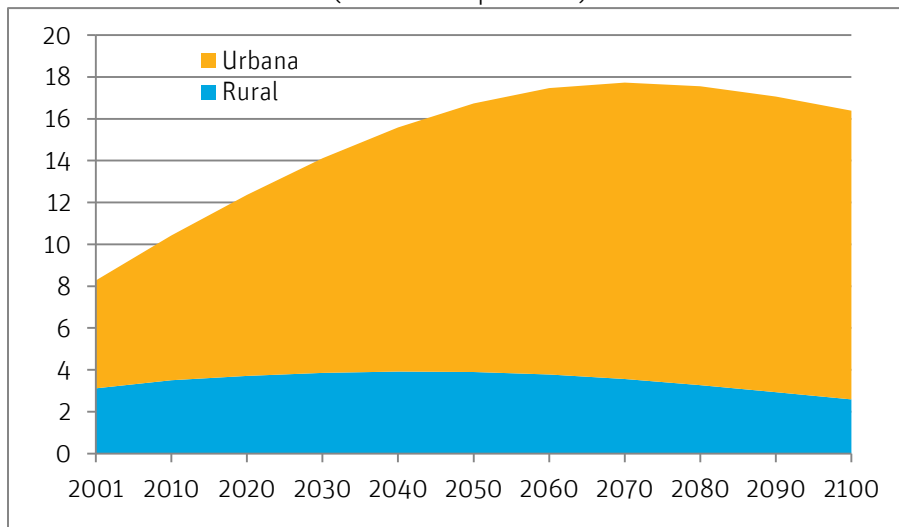
La tendencia demográfica futura del país tendrá un impacto significativo sobre el desempeño económico, ya que este incide directamente sobre el comportamiento del consumo y del mercado laboral. En la construcción del escenario base se incluyeron las proyecciones de población elaboradas por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en 2009, las cuales consideran que la población boliviana crecerá a tasas decrecientes hasta el año 2070, aumentando de 10,2 millones de habitantes en 2009 a 17,7 millones en 2070. A partir de ese año, la tasa de crecimiento poblacional se volverá negativa, de modo que para el año 2100 la población llegaría a 16,4 millones de habitantes (véase el gráfico 1).

Otra característica importante de las proyecciones demográficas es que estas asumen que la población boliviana tenderá a ser crecientemente urbana, por lo que la tasa de urbanización pasará de 62,3% en 2001 a



84,2% en 2100. Esta tendencia también tendrá efectos significativos sobre el funcionamiento del mercado laboral, ya que existirá una mayor presión sobre la generación de empleo en el mercado laboral urbano, y necesariamente deberá producirse un significativo incremento en la productividad del trabajo rural, especialmente en las actividades agropecuarias, para de esta forma garantizar el incremento en la producción de alimentos y productos de exportación agroindustriales. Estas tendencias se explicarán en mayor detalle más adelante.

*Gráfico 1*  
*Proyecciones de población rural/urbana en Bolivia*  
(millones de personas)

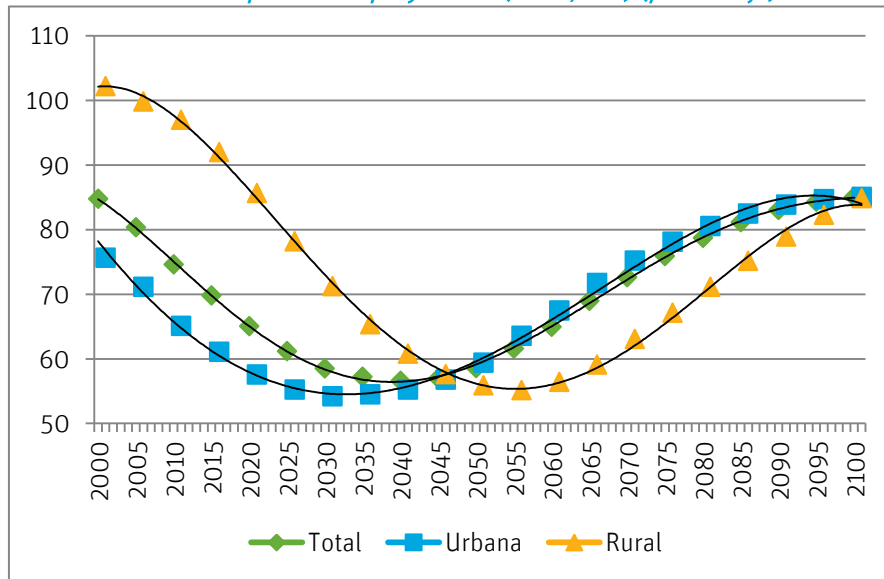


Fuente: Elaboración propia, en base a las proyecciones de población de la CEPAL.

Debido a las características actuales de la población boliviana, la cual tiene una alta proporción de población joven, se espera que en los próximos años se produzca un elevado ingreso de nuevos participantes a la fuerza de trabajo, por lo que la tasa de dependencia (TD), definida como la razón entre la población en edad de no trabajar (PENT), dividida entre la población en edad de trabajar (PET), a nivel nacional caería de 80,4% en 2005 a 56,6% en 2040, lo cual hará que la tasa de crecimiento de la población económicamente activa (PEA) sea mayor que la tasa de crecimiento de la población. Posteriormente, la TD tiende a aumentar hasta situarse alrededor del 85% para el año 2100. El gráfico 2 muestra la evolución estimada para dicha tasa a nivel nacional, urbano y rural.

En el área rural, la TD es en la actualidad mucho más elevada que en el área urbana, por lo que se proyecta que la tendencia descendente inicial tienda a ser más pronunciada, pero que a su vez esta tome más tiempo en relación con la del área urbana. Al final del período de análisis, las tasas de dependencia urbana y rural, y por lo tanto la tasa nacional, tienden a converger al nivel del 85%.

**Gráfico 2**  
*Tasa de dependencia proyectada (PENT/PET) (porcentaje)*



Fuente: Elaboración propia, en base a las proyecciones de población de la CEPAL.

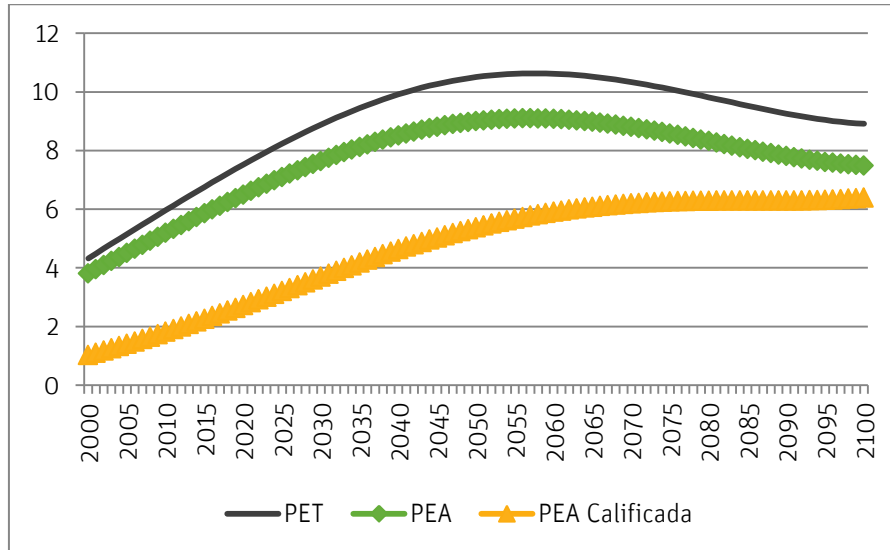
### Población en edad de trabajar y población económicamente activa

Las tendencias demográficas descritas, en términos de la tasa de crecimiento de la población, de la creciente urbanización y de la mayor participación de la población en el mercado laboral, tienen efectos significativos en el funcionamiento del mercado laboral, tanto urbano como rural.

A nivel nacional, se observa que la PET crece hasta el año 2058 a tasas decrecientes. Para ese año, la PET a nivel nacional llega a ser de 10,6 millones de personas. Debido a las tendencias demográficas descritas, a partir del año 2059 la PET empieza a decrecer a tasas cada vez más negativas, de modo que en el año 2100 llegaría a un nivel de 8,9 millones de personas (gráfico 3).

El comportamiento de la PET tiene un efecto directo sobre el comportamiento de la PEA), la cual a su vez sigue también un comportamiento muy similar al de la PET.

**Gráfico 3**  
**Proyecciones de PET, PEA y PEA calificada (millones de personas)**

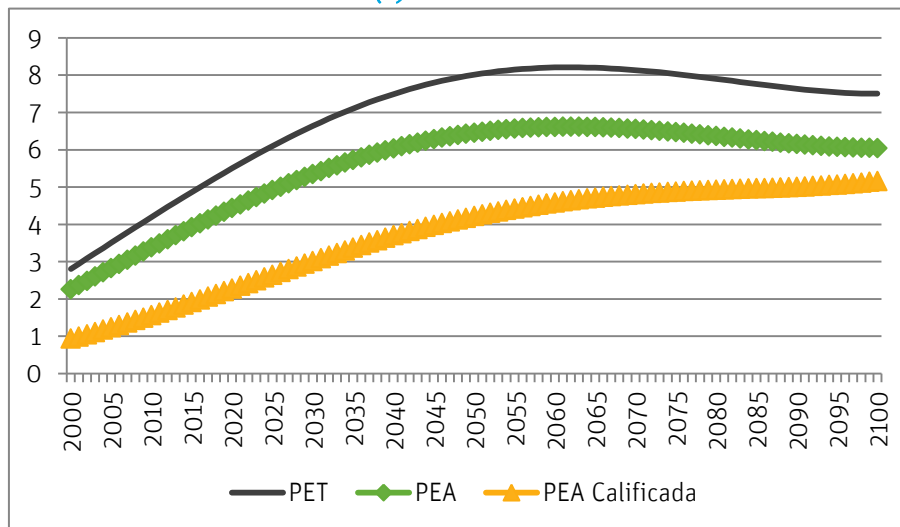


Fuente: Elaboración propia, en base a las proyecciones de población de la CEPAL.

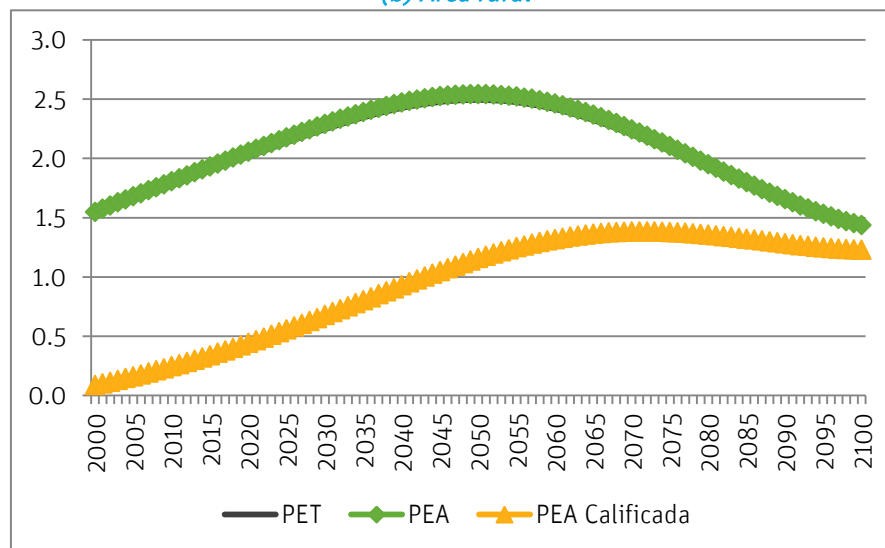
Debido a las tendencias demográficas analizadas, existen diferencias significativas entre el comportamiento de la oferta laboral en las áreas urbana y rural. En el área urbana la PET aumenta, también a tasas decrecientes, hasta el año 2063, debido a la migración rural-urbana. Ese año la PET urbana llega a ser de 8,2 millones de personas. A partir de 2064 la PET urbana se reduce hasta llegar a 7,5 millones de personas en 2100 (gráfico 4a).

Por otra parte, en el área rural el crecimiento de la PET tiene lugar solamente hasta el año 2050, cuando alcanza un nivel de 2,5 millones de personas. Posteriormente, experimenta un significativo descenso, hasta llegar a 1,4 millones en 2010, cifra inferior al nivel de la PET existente en el año 2000. Debido a que se mantiene el supuesto de que en las áreas rurales prácticamente todas las personas que están en la PET también pertenecen a la PEA, esta última sigue prácticamente la misma tendencia de la PET (gráfico 4b).

**Gráfico 4**  
**Proyecciones de PET, PEA y PEA calificada, por área (millones de personas)**  
**(a) Área urbana**



**(b) Área rural**



Fuente: Elaboración propia, en base a las proyecciones de población de la CEPAL.

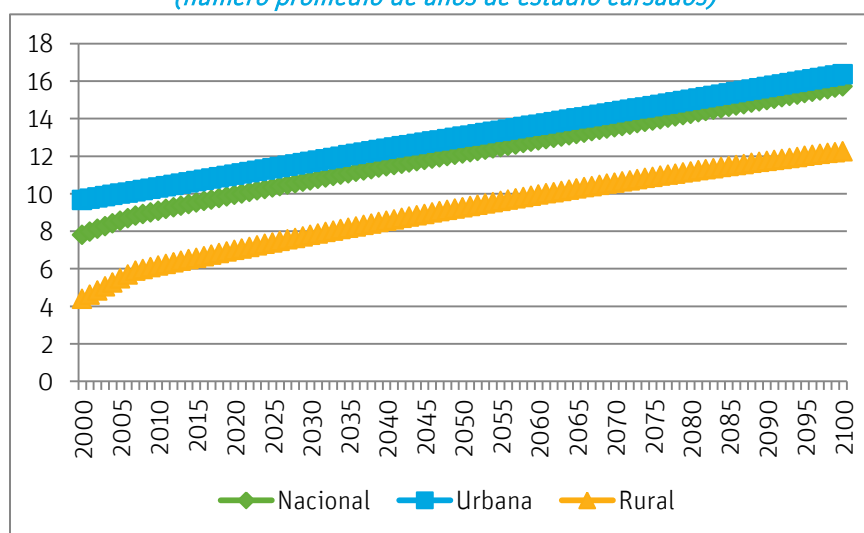
Finalmente, dado que el modelo diferencia el comportamiento del mercado laboral según la calificación de la mano de obra (calificada o no calificada), fue necesario realizar proyecciones de la PEA tanto urbana como rural, considerando el grado de calificación de la misma. En primer lugar, se asume que los trabajadores calificados son aquellos que han completado la enseñanza secundaria o tienen estudios superiores, mientras que los trabajadores no calificados son los que no han podido completar la enseñanza secundaria. El modelo también asume que la oferta de trabajo calificado es inelástica en la actualidad, dado que es relativamente escasa. Por el contrario, la oferta de trabajadores no calificados es más elástica porque es más abundante. Por lo tanto, la oferta de trabajo calificado en BOLIXXI actúa como una restricción al crecimiento, debido a su baja elasticidad. Sin embargo, se espera que con el tiempo la mayor parte de la población y de la fuerza laboral boliviana sea calificada, por lo que la restricción impuesta al crecimiento por el trabajo calificado tenderá a volverse menos crítica.

A nivel nacional, la PEA calificada ocupada para el año 2008 alcanza a 860.000 personas, cifra equivalente al 15,8% de la población ocupada. Por otra parte, la PEA calificada ha estado creciendo a una tasa del 8% promedio anual durante el período 2001-07, lo que ha permitido incrementar la incidencia de los trabajadores calificados de un 11,7% en el año 2000 a un 15,8% en 2007. El crecimiento futuro de la fuerza laboral calificada dependerá de las políticas públicas y del gasto en educación, por lo que en el escenario base se asume que la oferta de mano de obra calificada se incrementará a una tasa superior a la tasa de crecimiento de la fuerza laboral y, por lo tanto, mayor que la tasa de crecimiento de la población.

De acuerdo con las proyecciones realizadas, para el año 2100 se espera que un 85% de la PEA, tanto para el área urbana como rural, y por lo tanto a nivel nacional, sea calificada. Es decir: que tenga por lo menos completo el nivel de educación secundario, equivalente a 12 años de escolaridad. Debido a que se espera que haya un mayor énfasis en las políticas públicas para que la mayor parte de la población tenga la enseñanza secundaria completa lo antes posible, se asume una tasa de crecimiento de la PEA calificada más alta en los primeros años, la cual irá descendiendo paulatinamente a través de los años. El porcentaje de PEA urbana calificada se incrementa de un 41% en 2000 a un 85% para el año 2100, mientras que el porcentaje de PEA rural calificada crece de un 5,5% en 2000 a un 85% en 2100. A nivel nacional el porcentaje de PEA calificada sube de un 26,8% en 2000 a un 85% en 2100. Estas tendencias aparecen en los gráficos 3 y 4.

Si bien es importante diferenciar entre la fuerza laboral calificada y no calificada para fines de modelaje del mercado laboral en el BOLIXXI, también lo es el hecho de considerar una medida del nivel de capital humano existente. Para ello, se proyectaron los años de escolaridad para cada una de las categorías ocupacionales incluidas en el modelo. De acuerdo con las proyecciones realizadas, a nivel nacional los promedios de años de escolaridad de la PEA subirán de 7,6 años en 2000 a 15,7 años en 2100. En el área urbana, los años de escolaridad promedio de la población pasarán de 9,6 años en 2000 a 16,4 años, mientras que en el área rural este incremento será de 4,2 a 12,3 años. Es decir: se espera que para el año 2100 la mayor parte de la población tenga al menos la enseñanza media completa (gráfico 5).

**Gráfico 5**  
**Años de escolaridad de la PEA en Bolivia**  
**(número promedio de años de estudio cursados)**



Fuente: Elaboración propia.

## Oferta y demanda de trabajo

La oferta de trabajo para cada uno de los sectores productivos en BOLIXXI se determina a partir de las tendencias demográficas analizadas en la subsección anterior, tanto para el área urbana como para la rural, y lo mismo se hace con la oferta de trabajo calificado y no calificado. La oferta de trabajo ( $LS_k$ ) para cada una de las categorías ocupacionales está dada en el modelo por la PEA. Las tendencias demográficas analizadas determinan la oferta de trabajo (PEA) para cuatro grupos de trabajadores: 1) urbanos calificados, 2) urbanos no calificados, 3) rurales calificados y 4) rurales no calificados. Esta oferta de trabajo se distribuye a través de los diferentes sectores productivos, de acuerdo con una función de sustitución de elasticidad constante (CES), donde la oferta de trabajo tipo  $k$ , en la rama de actividad  $i$  está dada por la función que aparece a continuación.

$$LLS_{k,i} = \alpha_{k,i} \cdot (w_{k,i}/w_k)^{\rho^k} \cdot LS_k$$

Donde:

- $LLS_{k,i}$ : oferta de trabajo  $k$  en la rama de actividad  $i$
- $\alpha_{k,i}$ : participación de la actividad  $i$ , en el empleo de trabajo tipo  $k$ , en el año base
- $w_{k,i}$ : salarios pagados en la actividad  $i$  a la categoría de trabajo  $k$
- $w_k^{\rho^k}$ : salario promedio pagado a la categoría de trabajo tipo  $k$
- $LS_k$ : oferta de trabajo tipo  $k$  determinada por las tendencias demográficas
- $\rho^k$ : elasticidad de sustitución constante.

La ecuación anterior muestra que un trabajador de la categoría ocupacional  $k$ , elegirá trabajar en la actividad  $i$ , en la medida en que el salario pagado en esta actividad para este tipo de trabajo ( $w_{k,i}$ ) sea mayor que el salario promedio pagado por todas las actividades económicas a esta categoría laboral.

Por otra parte, en el MEGC la demanda de trabajo ( $LD_i$ ) se deriva de las funciones de producción de cada una de las ramas de actividad  $i$  incluidas en el modelo, y es igual a la función productividad marginal del trabajo en cada rama de actividad.

$$LD_i = \beta_i \cdot (P_i/w_i)^{\rho_i} \cdot X_i$$

Donde:

- $LD_i$ : demanda total de trabajo en la actividad  $i$
- $\beta_i$ : participación de la actividad  $i$  en la demanda total de trabajo en el año base
- $w_i$ : salario promedio pagado en la actividad  $i$
- $P_i$ : precio promedio de bien o servicio producido por la rama de actividad  $i$
- $X_i$ : producción de la actividad  $i$
- $\rho_i$ : elasticidad de sustitución constante en la actividad  $i$ .

Esta ecuación implica que las empresas van a emplear trabajadores, en la medida en que el precio del bien producido ( $P_i$ ) sea mayor que el salario pagado para producirlo ( $w_i$ ), suponiendo que, en equilibrio, la productividad marginal del trabajo es igual al salario real, lo cual queda expresado en forma implícita en la ecuación anterior.

A partir de esta demanda de trabajo para cada rama de actividad, se derivaron demandas anidadas en cada una de las ramas de actividad para cada una de las categorías ocupacionales incluidas en el modelo, y que se describen en mayor detalle en el anexo 1. Es decir:

$$LLD_{k,i} = \alpha_{k,i} (w_{k,i} / w_i)^{\rho_i} \cdot LD_i$$

Donde:

- LLD<sub>k,i</sub>: demanda en la actividad i, por trabajo tipo k
- $\alpha_{k,i}$ : participación de la categoría de trabajo k, en la demanda total de trabajo de la actividad i en el año base
- w<sub>i</sub>: salario promedio pagado en la actividad i
- w<sub>k,i</sub>: salario pagado en la actividad i a trabajadores de la categoría ocupacional k
- LD<sub>i</sub>: demanda total de trabajo en la actividad i
- $\rho_i$ : elasticidad de sustitución constante en la actividad i.

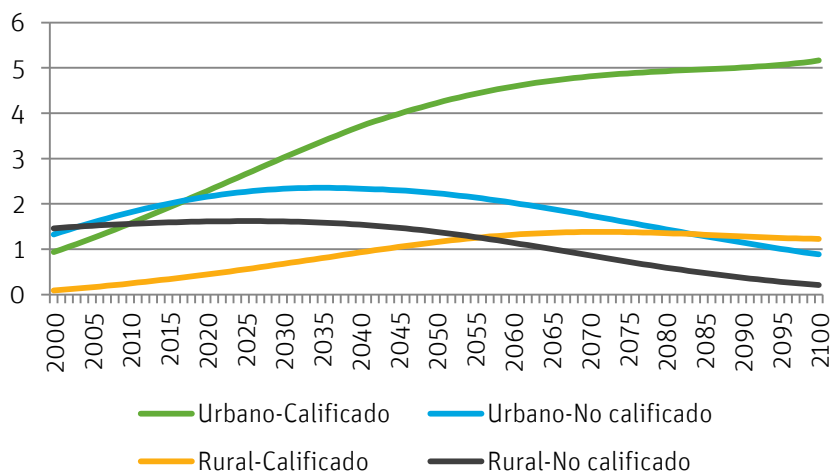
De acuerdo con esta función, las empresas que operan en la rama de actividad i contratarán más trabajadores de la categoría laboral k, en la medida en que el salario pagado a estos trabajadores (w<sub>k,i</sub>) sea menor que el salario promedio pagado en esta rama de actividad (w<sub>i</sub>).

Finalmente, en equilibrio se verifica que la oferta de trabajo es igual a la demanda, para cada categoría ocupacional y para cada rama de actividad:

$$LLS_{k,i} = LLD_{k,i}$$

El gráfico 6 muestra el comportamiento del empleo de acuerdo con las proyecciones realizadas mediante el modelo. Se observa que para 2100 la población ocupada no calificada, urbana y rural, tiende a disminuir debido a que, para dicho año, la mayor parte de la población boliviana será calificada, es decir, tendrá al menos 8 años de educación formal. Por otro lado, la población calificada, tanto urbana como rural, tiende a aumentar, aunque el incremento de la población urbana es mayor que el de la rural, debido a la creciente migración campo-ciudad.

**Gráfico 6**  
*Trabajadores por categoría ocupacional (millones de personas)*



Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Proyecciones macroeconómicas

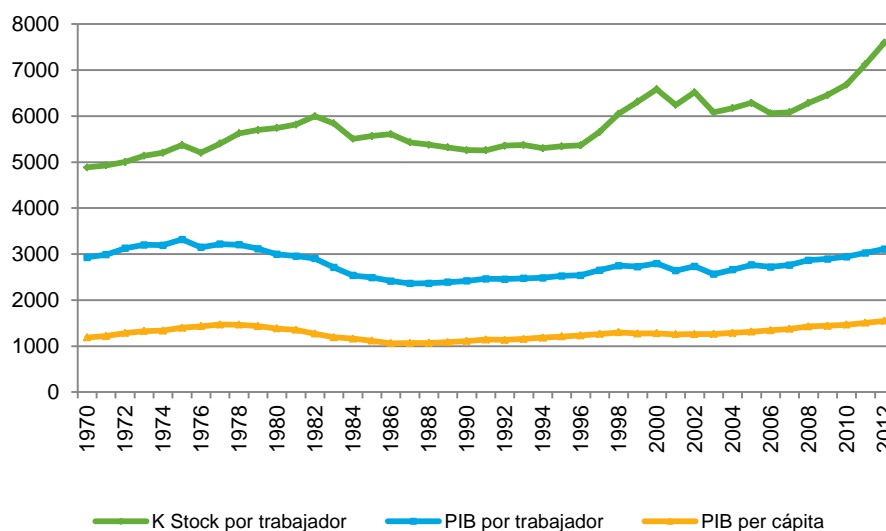
Sobre la base de los supuestos sobre cambios estructurales discutidos previamente, y las proyecciones de población y deforestación analizadas, se realizaron las proyecciones macroeconómicas preliminares correspondientes al escenario base, utilizando para este efecto el MEGC. A continuación se reportan algunos de los resultados obtenidos.

### Crecimiento del PIB per cápita

Bolivia ha mostrado históricamente tasas muy bajas de crecimiento del PIB per cápita, por lo que el ingreso per cápita se ha mantenido históricamente en niveles muy bajos y estancados. El gráfico 7 muestra que el PIB per cápita ha fluctuado apenas por encima de los US\$1.000, expresado en dólares constantes de 2007, para el período de 1970 a 2008.

Una de las causas principales para que el ingreso per cápita se mantuviera durante tanto tiempo estancado en niveles tan bajos ha sido el hecho que las tasas de inversión han sido históricamente bajas: de alrededor del 14% del PIB en promedio. Esto ha traído como consecuencia que los niveles de capitalización de la economía se mantengan también bajos y estancados. El gráfico 7 muestra que el nivel de profundización del capital de la economía, que es la cantidad de capital existente por trabajador, ha fluctuado entre US\$5.000 y US\$6.500, expresados en dólares constantes de 2007, durante el período que abarca desde 1970 hasta 2008. Esto a su vez se ha traducido en bajos niveles de productividad por trabajador, los cuales para este período también se han mantenido estancados en niveles bajos, fluctuando entre US\$2.400 y US\$3.300 por trabajador.

*Gráfico 7  
Profundización del capital, productividad del trabajo y PIB per cápita  
(dólares de EE.UU. de 2007)*



Fuente: Estimaciones propias en base a información del INE.

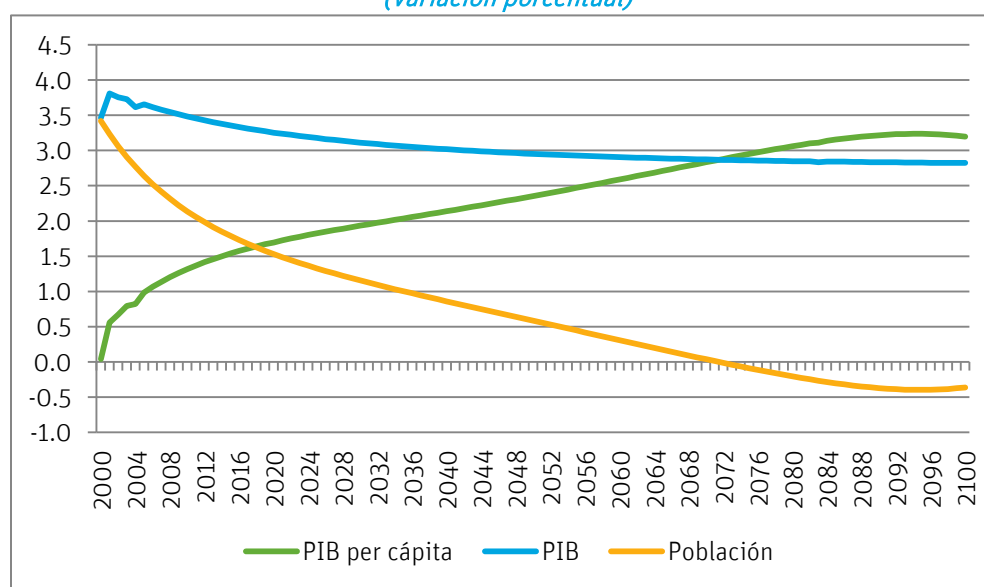
Para el período de 1970 a 2008, el PIB per cápita en Bolivia solamente creció a una tasa promedio de 0,5% por año. Parte de este bajo crecimiento se explica también por los numerosos shocks que enfrentó la economía



en algunos períodos, como a principios de la década de 1980 o a finales de la década de 1990 y principios de la década de 2000.

Las proyecciones sobre el crecimiento del PIB per cápita realizada mediante BOLIXXI muestra que la tasa de crecimiento aumentará a través del tiempo de 2% por año al principio del periodo de proyección hasta 3% al final del periodo (véase el gráfico 8). El hecho que esta tasa tienda a aumentar a través del tiempo se debe también al comportamiento proyectado de la población, la cual tiende a crecer a tasas decrecientes, e incluso negativas, como se expuso anteriormente. Las tasas de crecimiento proyectadas están por encima de las tasas históricas, por lo que se espera que a futuro el país no se mantenga en una situación de estancamiento y pueda alcanzar un crecimiento estable y sostenido, que le permita lograr mayores niveles de bienestar.

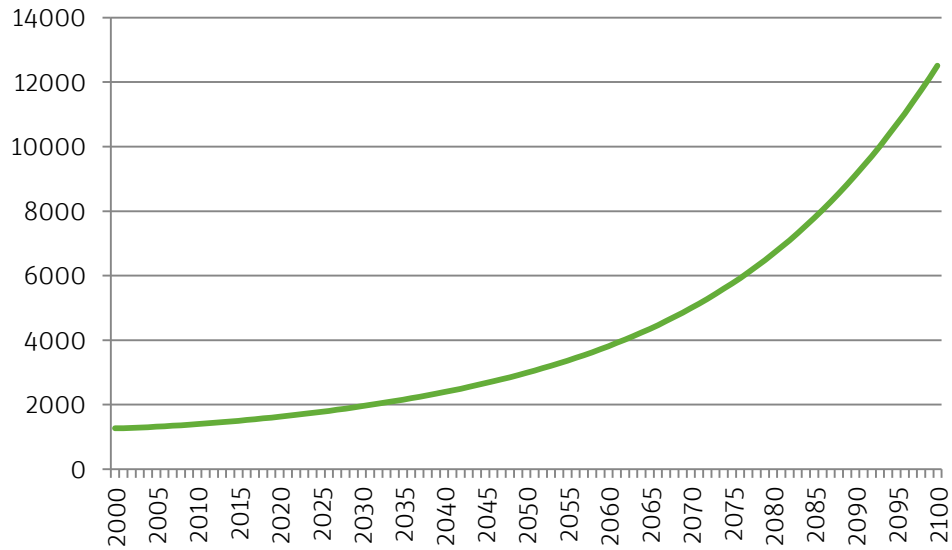
**Gráfico 8**  
*Tasa de crecimiento del PIB, PIB per cápita y población proyectada (variación porcentual)*



Fuente: Elaboración propia en base a información del INE y proyecciones realizadas con BOLIXXI.

El gráfico 9 muestra que, a las tasas de crecimiento proyectadas, el PIB per cápita para el año 2100 ascendería a US\$12.000 por habitante, nivel que supera en 9,0 veces al observado en 2010, que fue de solo US\$1.394, todo expresado en US\$ de 2007.

*Gráfico 9*  
*PIB per cápita proyectado (dólares de EE.UU. de 2007)*

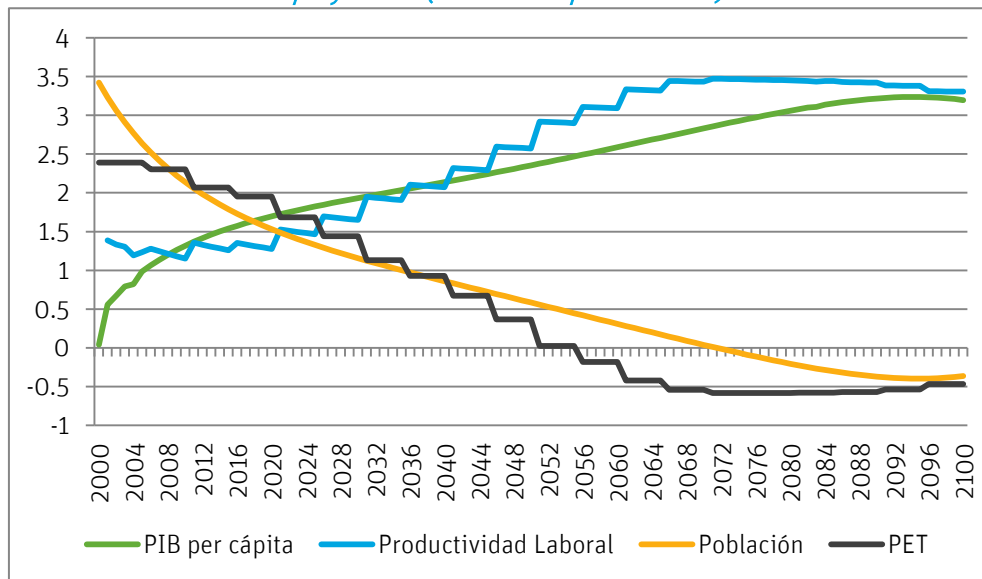


Fuente: Elaboración propia en base a información del INE y proyecciones realizadas con BOLIXXI.

Las tasas de crecimiento del PIB per cápita proyectadas son el resultado de las tasas de crecimiento del PIB resultantes de la simulación de BOLIXXI y de las tasas de crecimiento de la población proyectadas por la CEPAL. En cuanto a las tasas de crecimiento del PIB, estas se sitúan entre el 3,5% y el 2,8% para todo el período de la proyección (gráfico 10), cifras totalmente alcanzables tomando en cuenta que durante el período 1970-2008 el PIB creció en promedio a una tasa anual del 2,9%.

Por otra parte, la tasa de crecimiento de la población presenta la tendencia descrita anteriormente, de tasas decrecientes hasta el año 2071 y negativas hasta el año 2100. Es este comportamiento de la población el que incide fuertemente en el aumento de la tasa de crecimiento del PIB per cápita a través del tiempo.

**Gráfico 10**  
**Crecimiento del PIB per cápita, productividad laboral y población proyectado (variaciones porcentuales)**



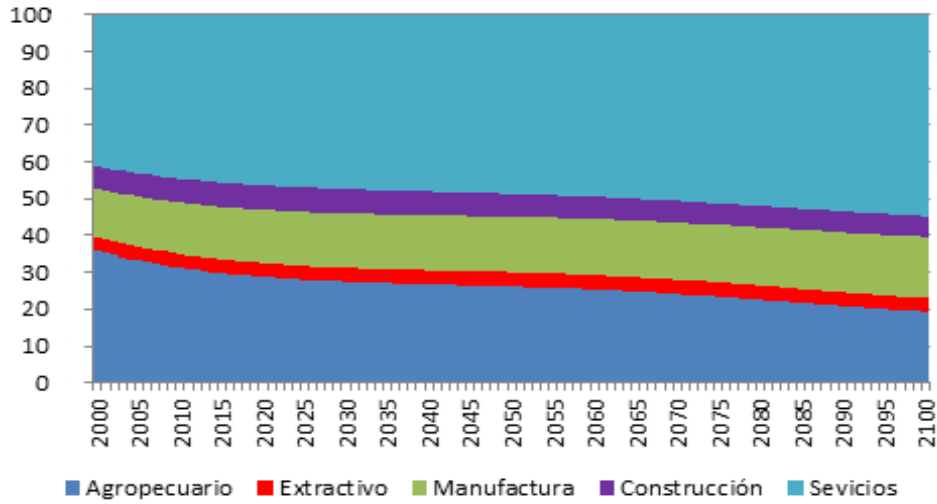
Fuente: Elaboración propia en base a información del INE y proyecciones realizadas con BOLIXXI.

El gráfico 10 muestra que en una primera etapa, el crecimiento del PIB per cápita se basa en una mayor tasa de crecimiento de la población en edad de trabajar (PET), en relación con la población total. El país se beneficia durante este periodo del denominado “bono demográfico,” dada la alta proporción de la población joven existente en la actualidad. Durante este periodo, la productividad laboral crece a una tasa menor con respecto a la del PIB per cápita. En el largo plazo, la tasa de crecimiento de la PET cae por debajo de la tasa de crecimiento de la población total, a medida que la población envejece. Durante este periodo, el crecimiento del PIB per cápita pasa a depender principalmente del aumento en la productividad laboral, cuya tasa se sitúa por encima de la tasa de crecimiento del PIB per cápita.

### Empleo, ingresos laborales y consumo de los hogares urbanos y rurales

Las tendencias demográficas y de crecimiento analizadas en las secciones precedentes tienden a producir cambios en la estructura del empleo. De acuerdo a las proyecciones realizadas mediante el BOLIXXI, el empleo en las actividades agropecuarias, incluyendo agricultura, ganadería y silvicultura, se reducirá de 31,2% en 2010 a 19,4% en 2100, mientras que el empleo en el sector de servicios, incluyendo energía eléctrica, agua, transporte, y otros servicios, aumentará de 44,6% del empleo total en 2010 a 54,7% en 2100. El empleo en el sector de la manufactura aumentará de 14,0% en 2010 a 16,6% en 2100, mientras que el de la construcción caerá de 6,5% a 5,6%. Finalmente, el empleo en los sectores extractivos de minería e hidrocarburos mantendrán su participación en el empleo en 3,7% del total (gráfico 11).

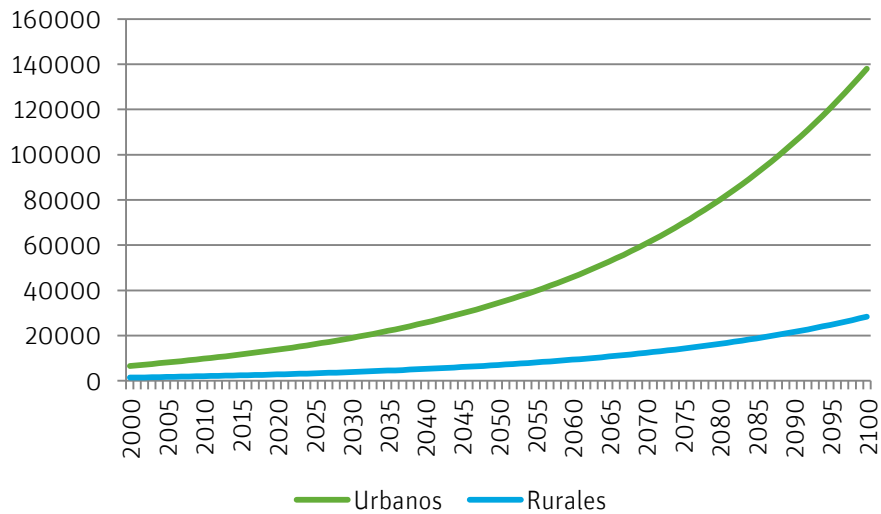
**Gráfico 11**  
*Estructura del empleo a nivel nacional (porcentaje de la población ocupada)*



Fuente: Elaboración propia en base a proyecciones realizadas con BOLIXXI.

También se observan cambios en la estructura y nivel de ingresos laborales. El ingreso corriente fue calculado en base a los ingresos laborales de los hogares, urbanos y rurales. Los ingresos laborales de cada categoría de hogar fueron calculados en forma directa por el modelo, donde aparecen separados los ingresos de cada una de las categorías ocupacionales. La estimación de los ingresos laborales para los hogares urbanos y rurales, excluyendo el excedente bruto de explotación que es la retribución al capital, aparece en el gráfico 12.

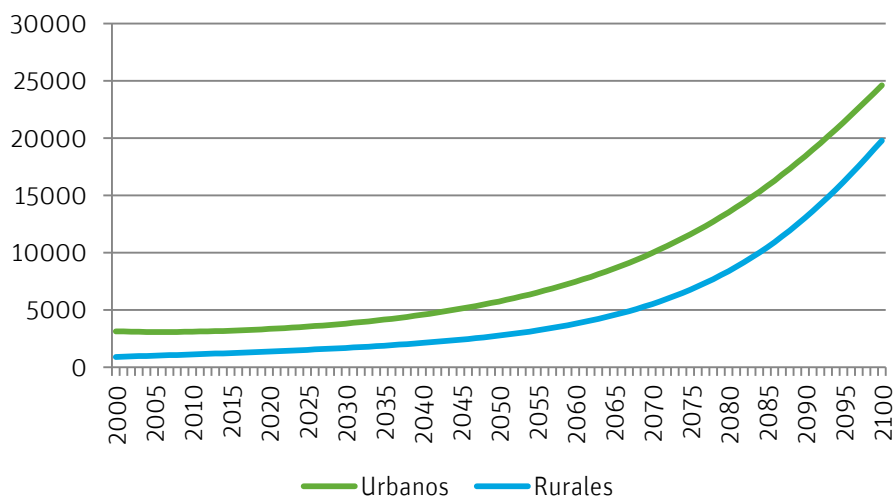
**Gráfico 12**  
*Ingresos laborales totales, urbano y rural (Millones de dólares de EE.UU. de 2007)*



Fuente: Elaboración propia en base a proyecciones realizadas con BOLIXXI.

Como puede observarse, los hogares urbanos reciben una proporción mucho mayor del ingreso laboral que los hogares rurales, debido a que existe un mayor número de trabajadores en el área urbana en relación al área rural, y también a las diferencias de ingresos existente entre trabajadores urbanos y rurales. Para el año 2010, los hogares urbanos concentraban el 83% del ingreso laboral total. De acuerdo a las proyecciones realizadas, para el año 2100 la participación del ingreso en los hogares urbanos se mantiene en esos niveles. Esto se debe a que a pesar que la población urbana será la gran mayoría de la población en el 2100, los ingresos laborales per cápita entre hogares urbanos y rurales tenderán a igualarse a través del tiempo (Gráfico 13). En 2010 el ingreso promedio por trabajador urbano es 2,8 veces mayor al ingreso promedio por trabajador rural y para el año 2100 esta relación se reduce a 1,2.

**Gráfico 13**  
*Ingreso Laboral Por Trabajador Urbano y Rural en Bolivia a 2100 (dólares de EE.UU. de 2007)*



Fuente: Elaboración propia en base a proyecciones realizadas con BOLIXXI.

Las proyecciones del consumo de los hogares, tanto a nivel nacional como desagregados para los hogares urbano y rural, fueron realizadas sobre la base de las proyecciones de ingresos, también a partir de las simulaciones de BOLIXXI. El consumo nominal de los hogares ( $NC_{HH}$ ) se calcula como una función de los ingresos disponibles del hogar ( $YD_{HH}$ ) y de una medida del ingreso permanente, dada en este caso por la riqueza o el patrimonio neto de los hogares en el período t-1 ( $WTH_{HH(t-1)}$ ).

$$NC_{HH} = s_1 \cdot YD_{HH} + s_2 \cdot WTH_{HH(t-1)}$$

La asignación del consumo nominal entre los diferentes tipos de bienes se realiza a través de una función basada en un Sistema Lineal de Gasto (LES, por sus siglas en inglés: *Linear Expenditure System*).

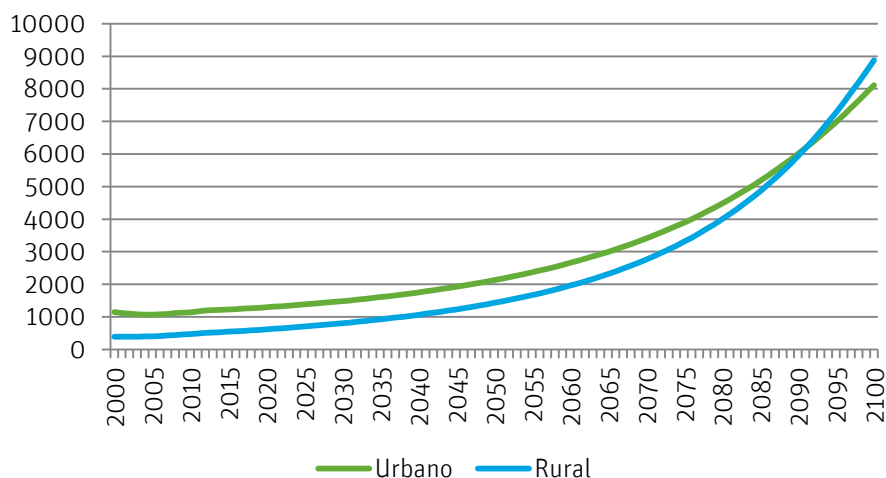
$$C_{i,HH} = \Theta_{i,HH} + \mu_{i,HH} \cdot ((NC_{HH} - \sum PD_i \cdot \Theta_{i,HH}) / PD_i)$$

Donde  $\Theta_{i,h}$  es el nivel base de consumo de bienes y servicios i; y  $\mu_{i,HH}$  constituye las participaciones en el presupuesto marginal.

De acuerdo a las proyecciones realizadas, el consumo per cápita, tanto urbano como rural, muestra una tendencia ascendente a través del tiempo y la brecha existente entre ambos tiende a disminuirse a través del tiempo, e

incluso al final del periodo de proyección, el consumo rural por habitante supera al consumo urbano por habitante (gráfico 14).

**Gráfico 14**  
*Consumo per cápita urbano y rural (dólares de EE.UU. de 2007)*



Fuente: Elaboración propia en base a proyecciones realizadas con BOLIXXI.

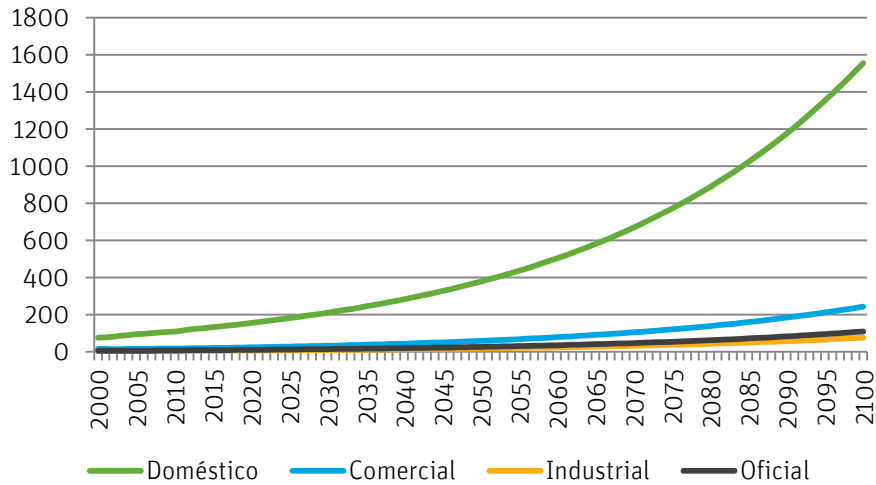
### Consumo de agua

Como se explicó anteriormente, en BOLIXXI se incluyó como rama de actividad separada al sector de procesamiento y distribución de agua potable. De acuerdo a datos oficiales publicados por el Instituto Nacional de Estadísticas, la distribución y consumo de agua en las ciudades capitales para el año 2010 alcanzó a 138,5 millones de metros cúbicos (m<sup>3</sup>). Esta cifra incluye el consumo doméstico (79% del consumo total), comercial (12,5%), industrial (3,3%) y oficial (5,2). Estos datos están referidos a las ciudades capitales de departamento, ya que solamente éstas son abastecidas por empresas de agua, para las cuales se cuenta con cifras oficiales.

Las proyecciones de consumo doméstico resultantes de las simulaciones del MEGC están asociadas al consumo de los hogares, los cuales son un componente de la demanda final. De acuerdo con estas proyecciones, el consumo doméstico de agua se incrementaría de 109 millones de m<sup>3</sup> en 2010 a 1.555 millones de m<sup>3</sup> en el año 2100. Las demás categorías de consumo están asociadas a la demanda intermedia de otras actividades económicas, como la industria manufacturera, el comercio y los servicios de la administración pública. Estos datos se refieren a las ciudades capitales de departamento, ya que solamente estas son abastecidas por empresas de agua, para las cuales se cuenta con cifras oficiales.

El BOLIXXI proyecta las diferentes categorías de consumo de acuerdo a los desempeños sectoriales donde se realiza el consumo (e.g. industria, servicios, etc.). El consumo doméstico es proyectado en base al comportamiento seguido por el consumo privado. Como puede observarse en el Gráfico 15, el consumo industrial de agua es el que presenta el mayor crecimiento, ya que el consumo en 2100 es mayor en 16,9 veces al consumo en 2010. El consumo oficial aumenta 15,2 veces, el comercial en 14,1 y el doméstico en 14,2 veces.

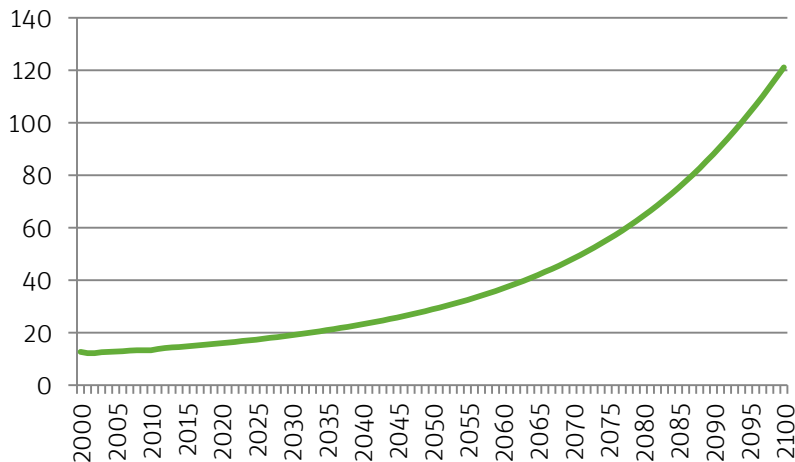
**Gráfico 15**  
*Consumo de agua por tipo de consumo (millones de metros cúbicos)*



Fuente: Elaboración propia en base a proyecciones realizadas con BOLIXXI.

En términos per cápita el consumo total de agua para el año 2010 fue de 13,3 metros cúbicos a nivel nacional. De acuerdo a las proyecciones realizadas por BOLIXXI, el consumo de agua crecería a 121,1 metros cúbicos por habitante, lo que representa un incremento de 9,0 veces, que es superior al incremento en el consumo. Este incremento permitirá aumentar significativamente la cobertura de este servicio entre la población boliviana, tanto en el área urbana como rural (Gráfico 16).

**Gráfico 16**  
*Consumo de agua per cápita (metros cúbicos por habitante)*



Fuente: Elaboración propia en base a proyecciones realizadas con BOLIXXI.

### 4.3 Uso de la tierra, deforestación y actividad agrícola

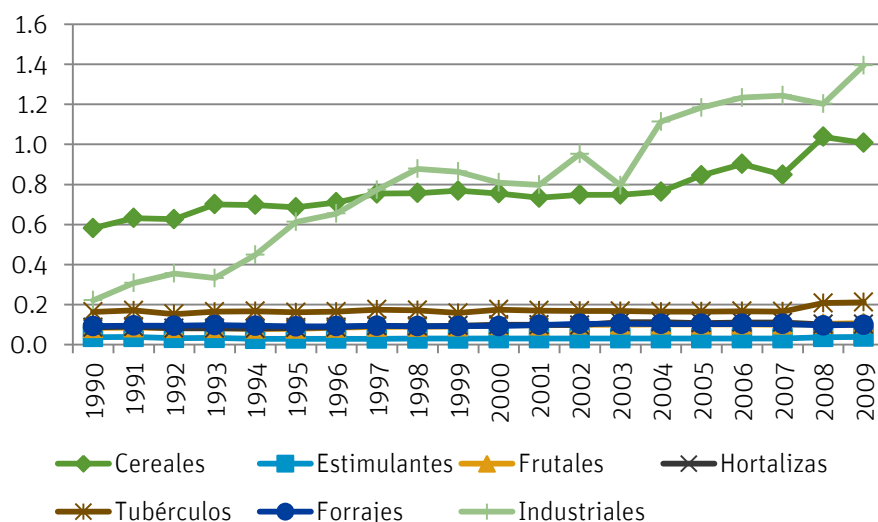
Otro de los aspectos fundamentales incluido en el diseño del escenario base dentro de BOLIXXI fue el comportamiento de la deforestación durante el horizonte de tiempo que se analiza en este estudio. Se

adoptaron las proyecciones de deforestación realizadas en Andersen (2014), por lo que en el modelo se estableció el vínculo existente entre producción agropecuaria, área sembrada y deforestación.

La deforestación ocurrida en Bolivia en los últimos años ha estado asociada a la expansión de la frontera agrícola, la cual a su vez ha dependido de la expansión de la producción de productos industriales y de cereales. El área sembrada de productos agrícolas industriales (soya, girasol, etc.) ha experimentado el mayor incremento en los últimos 19 años, puesto que se ha expandido de 221.700 hectáreas en 1991 a 1,4 millones de hectáreas en 2009. La superficie sembrada de cereales por su parte creció de 527.800 hectáreas en 1990 a 1,0 millón de hectáreas en 2009. Ambos tipos de cultivos representaron el 81,1% del área sembrada para 2009 (gráfico 17).

El resto de los productos agrícolas (frutales, estimulantes, hortalizas, tubérculos y forrajes) solo representa un 18,9 del área sembrada para ese año, cifra que ha permanecido prácticamente constante a través del tiempo. Lo anterior muestra que no todos los productos agrícolas han contribuido de igual manera a la expansión de la frontera agrícola y por lo tanto a la deforestación.

**Gráfico 17**  
*Superficie cultivada por productos (millones de hectáreas)*



Fuente: Elaboración propia en base a información del INE.

Para el cálculo del área deforestada, se utilizó el balance del área de tierra boscosa disponible en Bolivia. De esta forma, el área total de tierra disponible en el país que tiene el potencial de ser utilizada para actividades agropecuarias es igual al área cultivada en el período t, más el área abandonada por los productores agropecuarios debido a su agotamiento y depreciación, más el área que permanece como bosque. Es decir:

$$AT_t = B_t + C_t + A_t$$

Donde:

$AT_t$ : área total cultivable existente en Bolivia (constante para cualquier t)

$B_t$ : área de bosques existente en el período t

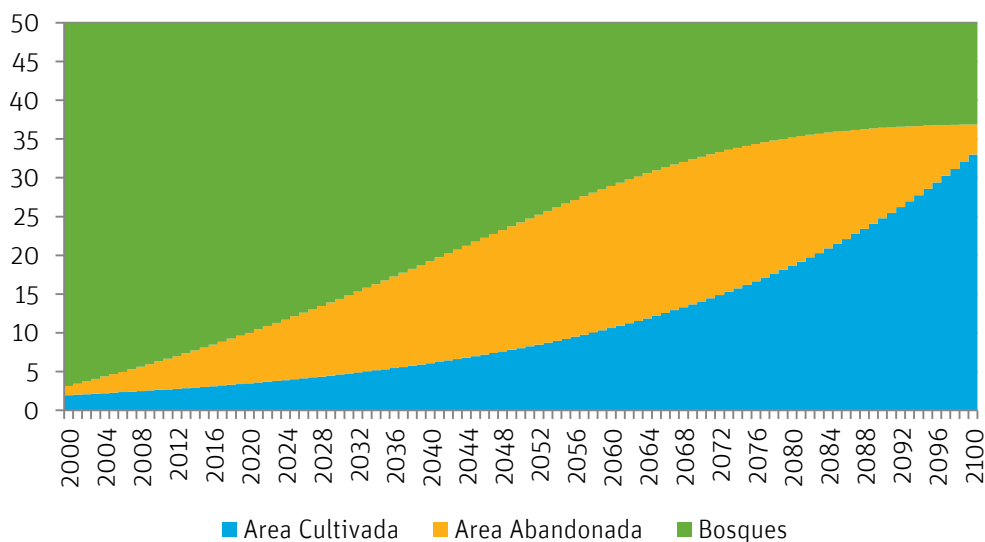
$C_t$ : área cultivada en el período t



$A_t$ : área abandonada existente en el período  $t$

Esta ecuación, que aparece en el gráfico 18, se resuelve de la siguiente manera: el área total disponible ( $AT_t$ ) está dada exógenamente y permanece fija para todo el período de las proyecciones. Dicha área es igual a 50 millones de hectáreas, lo que equivale a la mitad de la superficie total del país. No toda esta área tiene aptitud para la agricultura, debido a problemas de pendientes fuertes, inundaciones regulares, suelos no adecuados, áreas protegidas, y otros. Sin embargo, en el pasado estas razones no han sido suficientes para prevenir la conversión de bosque a usos agropecuarios.

**Gráfico 18**  
*Superficie cultivada, área abandonada y bosques (millones de hectáreas)*



Fuente: Elaboración propia en base a información del INE.

El área cultivada  $C_t$ , que es la variable que se refiere a la utilización de la tierra para las actividades agropecuarias en la producción del período, se calcula a partir de las elasticidades área cultivada/producción agropecuaria para cada uno de los sectores agropecuarios identificados en el modelo ( $\eta_i$ ). Estas elasticidades fueron estimadas econométricamente a partir de información disponible publicada por el INE. Es decir:

$$C_t = \mu \cdot X_t^{\eta_i}$$

El Cuadro 1 presenta estas elasticidades, así como la información sobre la producción, la superficie sembrada y los rendimientos para los diferentes tipos de productos agrícolas: cereales, estimulantes, frutales, hortalizas, tubérculos, forrajes, e industriales, como promedio anual para el periodo 2000-2010. Estos productos abarcan el 100% de la superficie sembrada; de ellos, los más importantes son los productos industriales, con el 44,2% del área total sembrada, y los cereales con 34,6%. Sin embargo, los mayores rendimientos corresponden a frutales (9,3 TM por hectárea), tubérculos (7,4), industriales (6,4) y forrajes (3,3). Los productos industriales presentan las elasticidades más altas de expansión de la superficie sembrada con relación a la producción con elasticidades iguales a 1,6, lo que muestra que la expansión de la producción de estos cultivos ha requerido la incorporación en forma más que proporcional, de superficie de tierra adicional, por lo que el rendimiento ha tendido a reducirse a través del tiempo. Los demás tipos de productos presentan elasticidades área sembrada-producción menores a la unidad, lo que implica que las variaciones en la producción de estos productos, hacia arriba o hacia abajo, se ha

dado a través de cambios en el rendimiento, habiendo variado la superficie sembrada relativamente poco a través del tiempo.

*Cuadro 1*  
*Producción, superficie sembrada y rendimientos de los principales productos agrícolas Promedio 2000-2010*

Cultivo	Producción (miles TM)	Área Sembrada (miles de hectáreas)	Área Sembrada (%)	Rendimiento (TM/ Hectárea)	Elasticidad Superficie-Producción
Cereales	1.652,9	838,9	34,6	1,97	0,43
Estimulantes	29,7	32,6	1,3	0,91	0,72
Frutales	933,8	100,6	4,1	9,28	0,54
Hortalizas	356,3	105,4	4,3	3,38	0,45
Tubérculos	1.253,0	176,4	7,3	7,10	0,08
Forrajes	332,6	100,7	4,1	3,30	0,55
No Industriales	4.558,3	1.354,4	55,8	3,37	0,53
Industriales	6.825,8	1.072,8	44,2	6,36	1,05
<b>Total</b>	<b>11.384,1</b>	<b>2.427,2</b>	<b>100,0</b>	<b>4,69</b>	<b>0,81</b>

Fuente: Elaboración propia en base a información del INE.

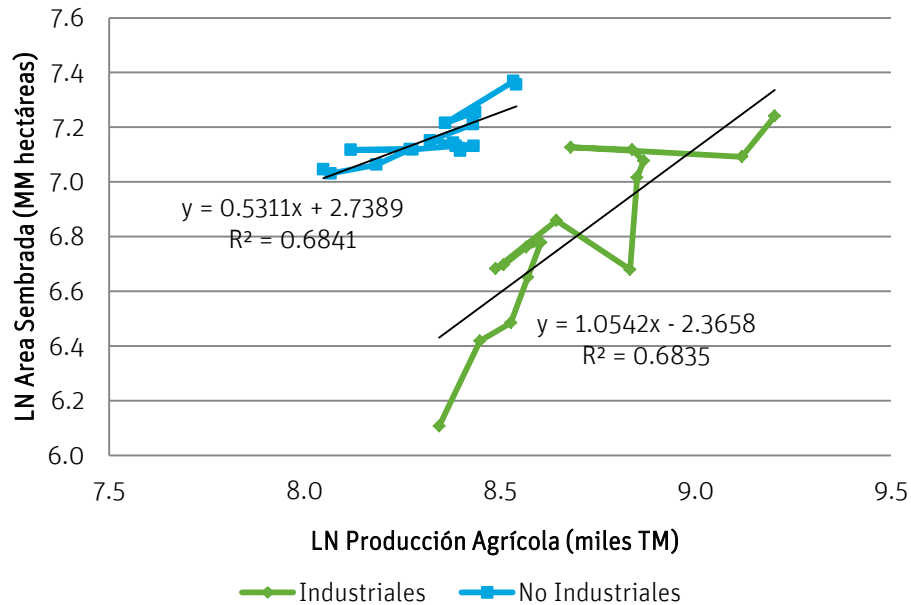
Con el objetivo de incorporar estos hechos estilizados dentro de BOLIXXI, la producción agropecuaria fue agrupada en categorías, sobre la base de la tecnología imperante en su producción: actividades agrícolas tradicionales (frutales, estimulantes, hortalizas, tubérculos, forrajes y cereales, excluida la producción de trigo y sorgo) y agricultura industrial (industriales, trigo y sorgo), para lo cual se utilizaron precios constantes de 1999 con el objeto de valorar la producción y poder de esta forma agregarla, de modo de obtener series de producción constantes para la agricultura tradicional e industrial.

En base a esta clasificación se estimaron las elasticidades área sembrada-producción para ambos grupos de agricultura, las cuales miden el cambio porcentual en la superficie sembrada que ocurre ante cambios porcentuales en la producción. Los valores obtenidos para estas elasticidades son de 1,05 para los productos industriales y de 0,53 para los productos agrícolas tradicionales.

El gráfico 19 muestra las series obtenidas para la agricultura tradicional e industrial, así como también las elasticidades estimadas a partir de ellas. Estas elasticidades fueron introducidas en el modelo, lo cual permitió proyectar el área cultivada para ambas categorías de productos agrícolas, y para la agricultura en su conjunto.

Gráfico 19

Producción y área sembrada para productos agrícolas industriales y tradicionales



Fuente: Elaboración propia en base a información del INE.

Para calcular el área deforestada y abandonada se adoptó el supuesto de que el área deforestada acumulada ( $D_t$ ) en el período  $t$  es igual a la superficie cultivada ( $C_t$ ) más la superficie abandonada ( $A_t$ ) existente en ese período. Es decir

$$AT_t - B_t = D_t = C_t + A_t$$

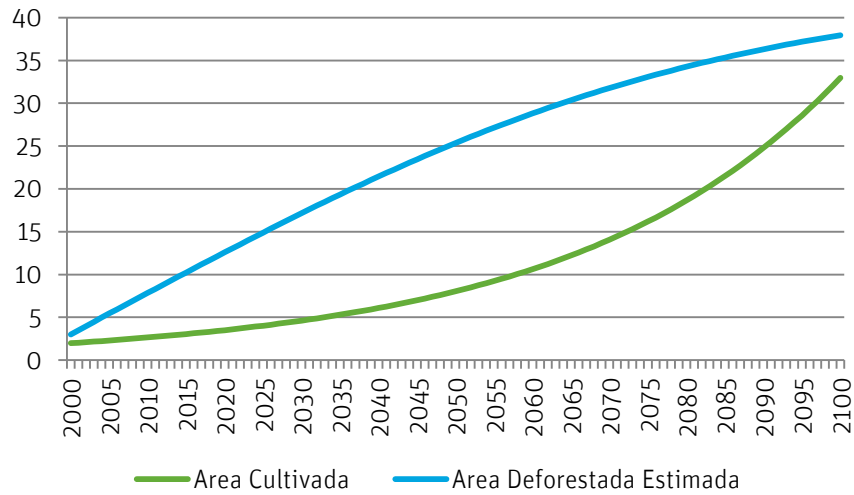
Por otra parte, el área deforestada ( $D_t$ ) fue relacionada con el área cultivada, asumiendo que la principal causa para que exista deforestación es la ampliación de la frontera agrícola. De esta forma, se estimó una función de causalidad entre el área cultivada en el período  $t$  ( $C_t$ ) y el área deforestada acumulada para ese mismo período ( $D_t$ ).

$$D_t = f(A_t)$$

Esta función se estimó a partir de las proyecciones de área cultivada resultantes del MEGC y las proyecciones de deforestación realizadas por Andersen (2014). Se utilizó una función logística, que refleja adecuadamente esta relación. Los resultados de la proyección aparecen en el gráfico 20.

Gráfico 20

Proyecciones de área sembrada total y área deforestada (millones de hectáreas)

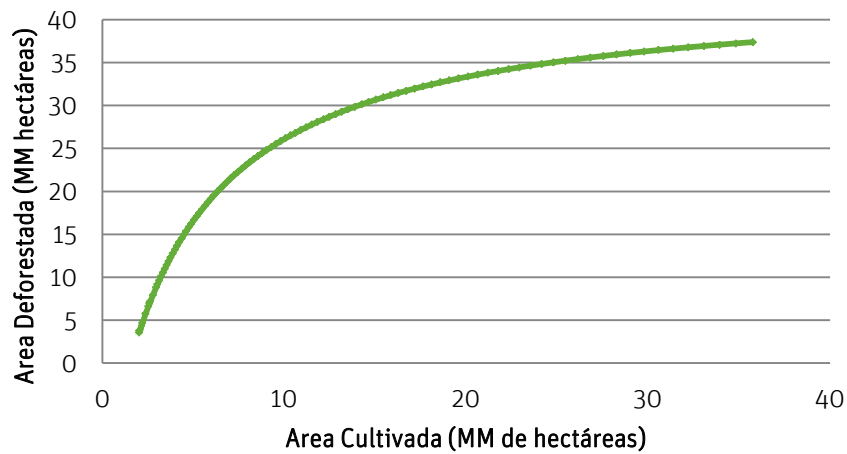


Fuente: Elaboración propia en base a información de Andersen (2014).

La relación proyectada entre la superficie sembrada y el área deforestada aparece en el gráfico 21, el cual muestra que la superficie total sembrada para el año 2100 alcanzaría a 32,9 millones de hectáreas, mientras que el área deforestada sería de 37,4 millones. Inicialmente, la expansión de la frontera agrícola estaría asociada a una mayor deforestación. Sin embargo, en la medida en que el área deforestada se aproxime al máximo disponible de bosque en el país, los incrementos adicionales en el área sembrada tendrían un menor efecto sobre la deforestación, e incluso en algún momento sería mayor el área recuperada que el área deforestada, con lo que la tasa de abandono de tierra por parte de los productores agrícolas se tornaría negativa.

Gráfico 21

Proyecciones de área sembrada total y área deforestada acumulada (millones de hectáreas)

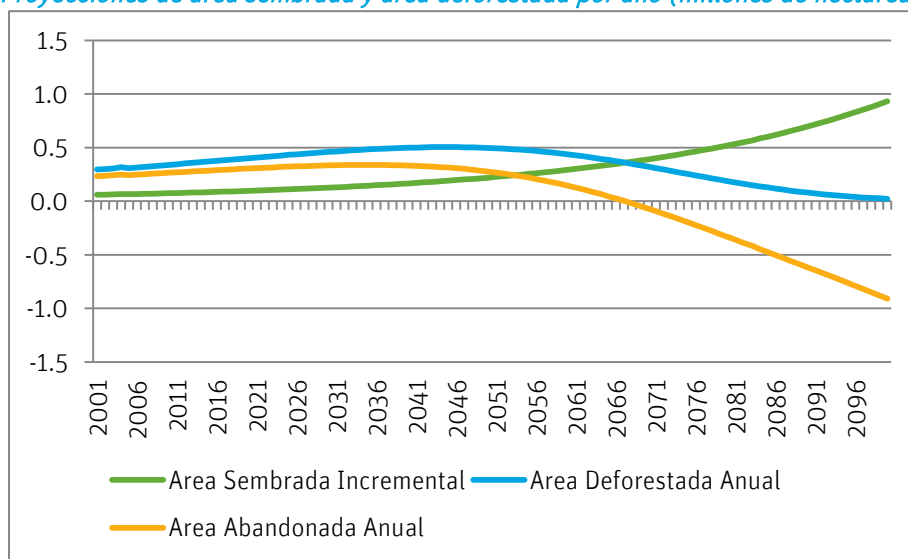


Fuente: Elaboración propia en base a información de Andersen (2014).

El gráfico 22 muestra las variaciones anuales en el área cultivada, deforestada y abandonada. Como puede observarse, al principio del período analizado, los incrementos en el área cultivada traen como consecuencia incrementos en el área deforestada. Durante este período inicial, no existe una restricción significativa para incrementar la superficie de tierra disponible para la siembra. La superficie abandonada también se incrementa significativamente, dado que el costo de deforestación es bajo, y los productores no tienen un gran incentivo para recuperar la tierra o para realizar una agricultura más sostenible.

Sin embargo, al final del período de simulación el costo de deforestar es mayor, debido a que la superficie de bosque disponible para deforestación se ha reducido significativamente. Por lo tanto, el costo de oportunidad más alto obliga a los productores a recurrir a las áreas de terreno que habían sido previamente deforestadas y abandonadas.

**Gráfico 22**  
*Proyecciones de área sembrada y área deforestada por año (millones de hectáreas)*



Fuente: Elaboración propia en base a información de Andersen (2014).

#### 4.4 Emisión de gases de efecto invernadero

BOLIXXI también permite realizar proyecciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Estas se efectuaron utilizando la información sobre emisiones publicadas en un estudio que llevó a cabo el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2009). De acuerdo con este estudio, las emisiones de GEI en Bolivia se habrían incrementado de 28.700 Giga-gramos en el año 2000 a 51.300 Giga-gramos para 2004 (véase el cuadro 2).

*Cuadro 2*  
*Emisiones por fuente (Giga-gramos de CO<sub>2</sub> por año)*

Sectores	2000	2002	2004
Energía Termo-eléctrica	5.116	8.650	9.189
Industria Manufacturera	617	619	784
Agricultura	684	987	1.333
Cambio en el Uso de la Tierra	22.297	33.629	40.077
Total	28.714	43.885	51.383

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2009).

La mayor parte de las emisiones y su aumento se explica por el factor de uso de la tierra y de cambio en el uso de la tierra (LULUCF, por sus siglas en inglés: *Land Use, Land Use Change and Forestry*), el cual ha hecho crecer las emisiones de 22.300 Giga-gramos de CO<sub>2</sub> en 2000 a 40.100 Giga-gramos de CO<sub>2</sub> en 2004. Este factor está básicamente asociado a la deforestación, como principal componente para explicar los cambios en el uso de la tierra y, por lo tanto, en la emisión.

Los otros factores que inciden en la emisión son los asociados a la producción industrial, agrícola y también a la generación de energía. Este último factor es importante para explicar las emisiones y su crecimiento, especialmente aquella vinculada a la utilización de combustibles fósiles.

A partir de esta información, se calcularon coeficientes que vinculan la emisión de gases de cada uno de estos sectores a la producción para el caso de los sectores de energía, industria y agrícola. En el caso de la emisión resultante del LULUCF, se utilizó un coeficiente que vincula la emisión con la deforestación ocurrida en un año determinado. El cuadro 3 muestra los coeficientes utilizados para cada uno de los sectores.

*Cuadro 3*  
*Coefficientes de emisión/producción (Giga-gramos de CO<sub>2</sub> por millón de US\$ de 2007)*

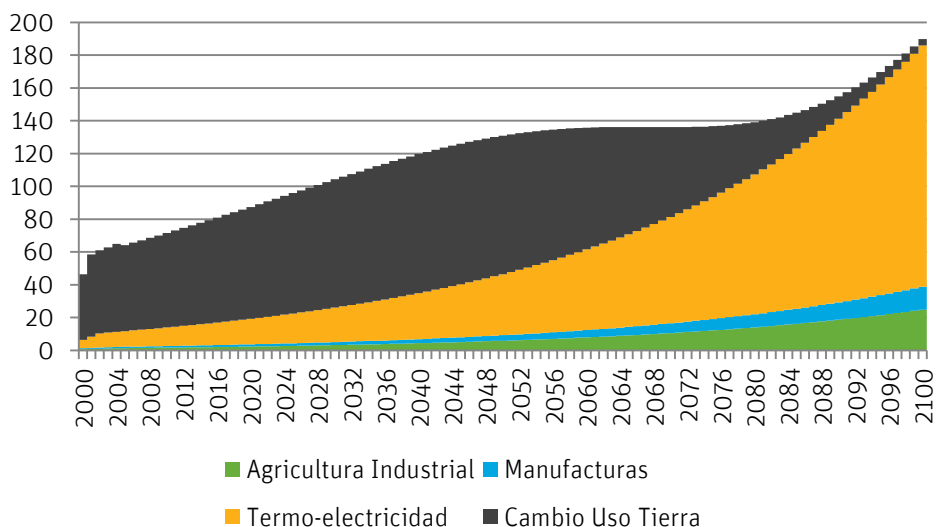
Sectores	2000	2002	2004
Energía Termo-eléctrica	13,70	20,65	21,57
Industria Manufacturera	0,04	0,04	0,07
Agricultura	0,85	1,15	1,46
Cambio en el Uso de la Tierra (Gg por hectárea deforestada)	0,16	0,14	0,17

Fuente: Estimaciones propias basadas en información del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2009).

Para realizar las proyecciones referidas al escenario base, se tomó el coeficiente del año 2004, por ser éste el último valor disponible. El coeficiente utilizado para las proyecciones de emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la deforestación fue de 170 TM por hectárea deforestada. De acuerdo con dichas proyecciones, la emisión de CO<sub>2</sub> en Bolivia se incrementaría de 71.600 Giga-gramos en el año 2010 a 189.700 Giga-gramos en 2100. Esto representa un incremento de 2,6 veces en la emisión de CO<sub>2</sub> durante el periodo de proyección.

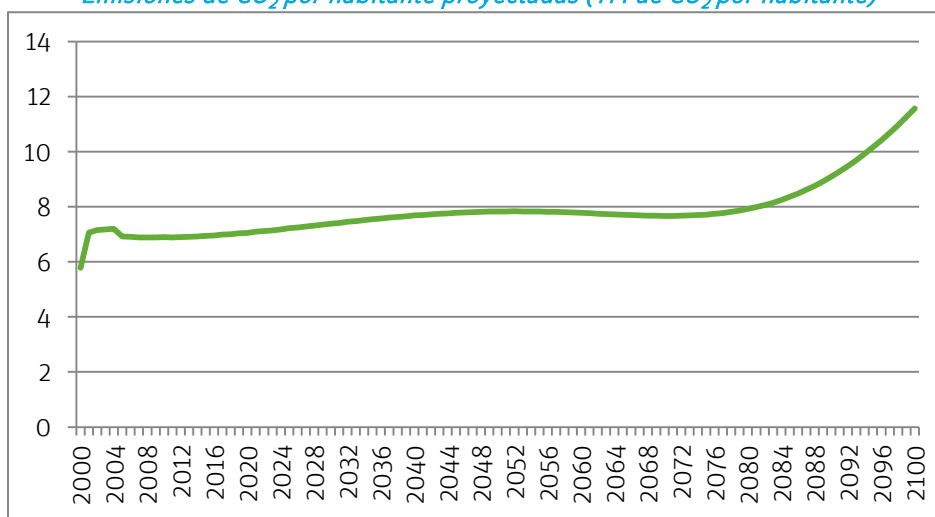
Inicialmente, el factor que contribuye más a la emisión de CO<sub>2</sub> es LULUCF, debido a la elevada deforestación que ocurre en los primeros años de la proyección (gráfico 23). En los años finales, cuando se reduce el nivel de deforestación, este factor también reduce su importancia en la emisión de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, al final del período comienzan a cobrar importancia otros factores, como la producción de energía a partir de combustibles fósiles, los cuales generan un aumento significativo de las emisiones. Como resultado de este proceso, la emisión por habitante aumentará de 6,9 TM por habitante en 2010 a 11,6 TM por habitante en 2100 (gráfico 24).

**Gráfico 23**  
*Emisiones de CO<sub>2</sub> proyectadas por sector (miles de Giga-gramos de CO<sub>2</sub>)*



Fuente: Proyecciones realizadas con BOLIXXI.

**Gráfico 24**  
*Emisiones de CO<sub>2</sub> por habitante proyectadas (TM de CO<sub>2</sub> por habitante)*



Fuente: Proyecciones realizadas con BOLIXXI.

## 5. Escenarios A2 y B2

Para la construcción de los escenarios A2 y B2, que incluyen los efectos del cambio climático sobre la economía boliviana, se tomaron como punto de partida los impactos directos del cambio climático estimados en los estudios sectoriales para agricultura, biodiversidad, agua, generación de energía eléctrica y salud realizados en este proyecto (BID/CEPAL, 2014). La magnitud de los impactos estimados en los estudios aparece resumida en el cuadro 4.

*Cuadro 4: Impactos directos del cambio climático en el periodo 2010-2100*

Impacto	Valor Presente		Valor Presente	
	(millones de dólares de 2007)		(% del PIB del escenario base)	
	A2	B2	A2	B2
Pérdida de infraestructura pública por precipitaciones fuertes	32.309	12.801	0,65	0,26
Pérdida de productividad agropecuario por cambios climáticos, eventos extremos y desertificación causado por el cambio climático	35.107	17.944	0,71	0,36
Pérdidas de productividad laboral y gasto pública por cambios en prevalencia de malaria, dengue, EDAs y IRAs	1.262	-202	0,03	-0,00
Pérdidas en la generación de energía hidroeléctrica	1.817	1.981	0,04	0,04
Pérdidas en la disponibilidad de agua	10.724	4.300	0,22	0,09
Otras pérdidas/ganancias	X	X	X	X
Pérdidas totales	81.219	36.822	1,63	0,74

Fuente: Estudios sectoriales del proyecto ERECC-Bolivia.

Nota: El Valor Presente está calculado usando una tasa de descuento de 0,5%.

Las pérdidas directas que produce el cambio climático en el escenario A2 llegarían a US\$81.219 millones (en US\$ constantes de 2007). Medidos en términos de Valor Presente Neto (VPN) usando una tasa de descuento de 0,5%, esto equivale a 1,63% del VPN del PIB del escenario base para el periodo 2010-2100. En el escenario B2, el VPN de las pérdidas llegaría a US\$36.822 millones, equivalente a 0,74% del VPN del PIB del escenario base.

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

También son importantes los impactos resultantes de las pérdidas de infraestructura, cuyo monto en VPN equivale respectivamente al 0,65% y 0,26% del VPN del PIB del escenario base. Estas pérdidas comprenden los daños en la infraestructura del país, como ser carreteras, puentes, escuelas, etc., debido a las precipitaciones pluviales fuertes.

Otro tipo de pérdidas de menor magnitud corresponde a la caída en la productividad laboral y gasto público por cambios en prevalencia de malaria, dengue, Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA) e Infecciones



Respiratorias Agudas (IRA), los daños en la generación de energía hidroeléctrica y las pérdidas en la disponibilidad de agua. De acuerdo a los estudios sectoriales, la magnitud de estas pérdidas, medidas en términos de VPN como % del VPN del escenario base, serían en total de 0,29% en el escenario A2 y de 0,13% en el escenario B2.

Para la modelación de estos impactos a través del MEGC, se separaron los *shocks* de producción de los *shocks* de infraestructura, ya que éstos en esencia son diferentes y afectan la economía a través de distintos mecanismos. Los *shocks* de producción representan pérdidas del flujo de producción, como ser la pérdida de una cosecha debido a los efectos de las sequías o inundaciones, mientras que los *shocks* de infraestructura son pérdidas del *stock* de capital público, como ser carreteras, puentes, vías férreas, etc., debido a derrumbes, inundaciones, y otros desastres naturales causados por el cambio climático.

Además de estos *shocks*, en ambos escenarios, A2 y B2, se incluyó una intervención de política de reconstrucción, consistente en un aumento en la inversión pública que compensara exactamente las pérdidas de infraestructura, de tal forma que la inversión neta del gobierno se mantuviera igual a la del escenario base. En las siguientes secciones se explica cómo fueron introducidos al modelo los dos tipos de *shocks* más la intervención de política de reconstrucción, en la construcción de los escenarios A2 y B2.

## 5.1 Shocks de producción

Las pérdidas de producción estimadas en los estudios sectoriales y que fueran resumidas en el cuadro 4, fueron asignadas a los sectores productivos de la economía boliviana expuestos a los efectos del cambio climático: agricultura tradicional, agricultura industrial, ganadería, silvicultura, caza y pesca, energía hidroeléctrica y agua.

El efecto de cambios en productividad agrícola considerando sustitución de cultivos y fertilización de CO<sub>2</sub> fue distribuido con dos tercios al sector de Agricultura Tradicional y un tercio al sector de Agricultura Industrial, reflejando su participación actual en el PIB agrícola.

El efecto de inundaciones más frecuentes fue asignado también a los sectores Agricultura Tradicional y Agricultura Moderna, mientras que el efecto de reducción de agua para riego fue asignado exclusivamente al sector de Agricultura Tradicional.

El efecto de reducción de la biodiversidad debido al cambio climático fue distribuido entre los sectores Agricultura Tradicional, Ganadería y Silvicultura, y Caza y Pesca, de acuerdo con sus contribuciones al PIB el año 2010.

El efecto de reducción en la disponibilidad de agua fue distribuido asignando un 90% al sector de Agricultura Tradicional (por reducciones en riego) y 10% al sector de Agua Potable.

Finalmente, el efecto de reducción en la producción de energía eléctrica por reducciones en agua para las estaciones hidroeléctricas fue asignado en su totalidad al sector de energía hidroeléctrica.

Las pérdidas en el sector de salud no se incluyeron en el MEGC por ser relativamente pequeñas.

*Cuadro 5: Impactos sectoriales directos de pérdidas de producción por el cambio climático (2010-2100)*

Sectores	VPN Pérdidas Producción (MM US\$ de 2007)		VPN como % VPN PIB Total Escenario base		VPN como % VPN PIB Sectorial Escenario base	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2
	Agricultura Tradicional	26.431	11.501	0,53	0,23	8,76
Agricultura Industrial	12.633	8.730	0,25	0,18	12,51	8,65
Ganadería	4.429	1.231	0,09	0,02	3,72	1,03
Silvicultura, Caza y Pesca	1.265	352	0,03	0,01	3,38	0,94
Energía Hidroeléctrica	1.817	1.981	0,04	0,04	3,47	3,78
Agua	1.072	430	0,02	0,01	6,69	2,68
Total	47.648	24.224	0,96	0,49	0,96	0,49

Fuente: Estimación propia.

Nota: El Valor Presente está calculado usando una tasa de descuento de 0,5%.

El cuadro 5 presenta el resumen de los efectos de producción directos del cambio climático para cada uno de los sectores afectados. Los sectores que asumen las mayores pérdidas, en los escenarios A2 y B2, son Agricultura Moderna y Agricultura Tradicional.

La forma en que estos *shocks* fueron hechos operacionales en el MEGC se basa en la propiedad de homogeneidad de las funciones de Elasticidad de Sustitución Constante (CES) utilizadas como funciones de producción sectoriales en el MEGC. Es decir, que si cada uno de los diferentes factores de producción de la función CES es multiplicado por un factor  $\lambda$ , la producción total  $Q$  también será multiplicada por el mismo factor  $\lambda$ .

Dada la función de producción sectorial:

$$Q = [\alpha K^{1+\Omega} + \beta L^{1+\Omega} + (1-\alpha-\beta)M^{1+\Omega}]^{1/(1+\Omega)}$$

Al multiplicar los factores de producción  $K$ ,  $L$  y  $M$  por un parámetro  $\lambda$ , la producción total  $Q$  también resulta multiplicada por este factor.

$$Q = [\alpha(\lambda K)^{1+\Omega} + \beta(\lambda L)^{1+\Omega} + (1-\alpha-\beta)(\lambda M)^{1+\Omega}]^{1/(1+\Omega)}$$

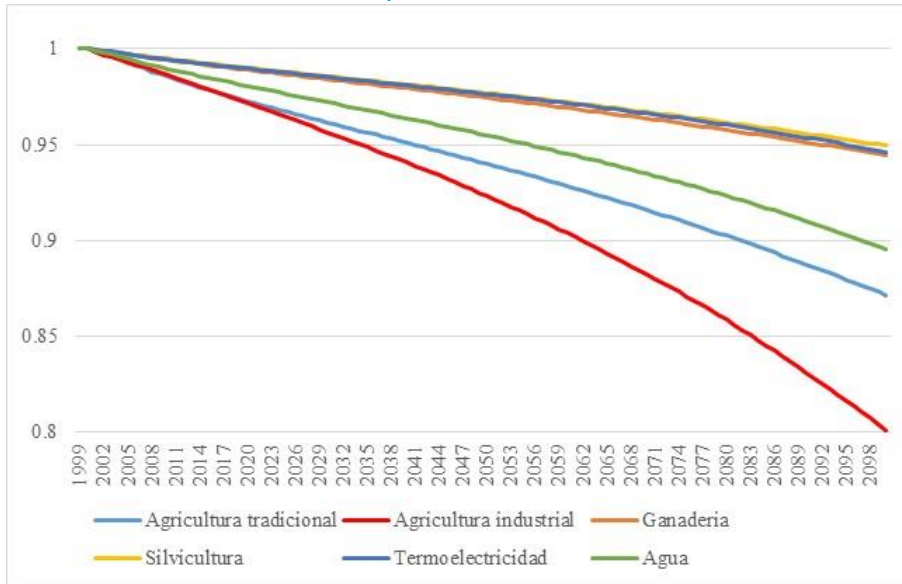
Factorizando  $\lambda$  se obtiene:

$$Q = \lambda \cdot [\alpha K^{1+\Omega} + \beta L^{1+\Omega} + (1-\alpha-\beta) M^{1+\Omega}]^{1/(1+\Omega)}$$

El factor  $\lambda$  constituye el porcentaje que representa el nivel de producción  $Q$  resultante una vez aplicados los efectos directos de pérdida de producción por el cambio climático, en relación a la producción del escenario base. Estas pérdidas de producción constituyen caídas temporales en la productividad de los factores y no pérdidas de *stock* de capital, como es el caso de los *shocks* de infraestructura. Los valores de  $\lambda$  fueron calculados sobre la base de las pérdidas estimadas en los estudios sectoriales.

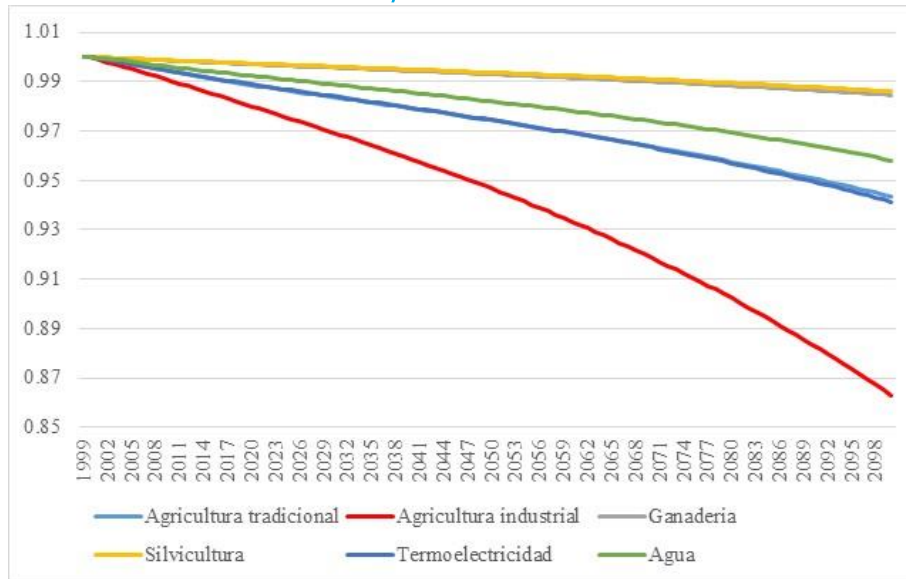
Los gráficos 25 y 26 presentan los valores de  $\lambda$  para cada uno de los sectores de producción, correspondientes a los escenarios A2 y B2, respectivamente.

**Gráfico 25**  
**Escenario A2: Parámetro  $\lambda$ , por año y sector, para los sectores directamente afectados por el cambio climático**



Fuente: Estudios sectoriales ERECC-Bolivia.

**Gráfico 26**  
**Escenario B2: Parámetro  $\lambda$ , por año y sector, para los sectores directamente afectados por el cambio climático**



Fuente: Estudios sectoriales ERECC-Bolivia.

Como puede observarse, el sector de Agricultura Industrial (AI) es el que recibe los mayores impactos directos de producción en ambos escenarios (A2 y B2), ya que el nivel de producción del sector cae para el año 2100 a un 80,1% de la producción del escenario base para el escenario A2 y a un 86,3% para el escenario B2.

## 5.2 Shocks de Infraestructura

Las pérdidas de infraestructura pública son acumulativas, a diferencia de los otros *shocks* que ‘solamente’ afectan a la producción anual, y operan a través del *stock* de capital del gobierno que comprende carreteras, puentes, escuelas, hospitales, etc. Un deterioro de la infraestructura pública afectará no solamente a los sectores más expuestos a los efectos del cambio climático, sino a todos los sectores de la economía, ya que éstos, por ejemplo, impiden el libre tránsito a través del territorio nacional y la llegada de los bienes y servicios a los mercados.

Este tipo de *shock* fue introducido al MEGC a través de las funciones de producción sectoriales, mediante el incremento de la tasa de depreciación del *stock* capital del sector público. Es decir, en la función de producción CES.

$$Q = [\alpha K^{1+\Omega} + \beta L^{1+\Omega} + (1-\alpha-\beta)M^{1+\Omega}]^{1/(1+\Omega)}$$

El *stock* de capital  $K$  es igual a la suma del capital privado ( $K_p$ ) más el capital público ( $K_g$ ):

$$K = K_p + K_g$$

El *stock* de capital público se determina a su vez:

$$K_g = K_{g-1} (1-d) + I_g$$

donde:

$K_{g-1}$  = *stock* de capital público en el periodo anterior

$d$  = tasa de depreciación del *stock* de capital

$I_g$  = inversión del gobierno.

Al aumentar la tasa de depreciación del *stock* de capital, cae la inversión neta y la producción en el largo plazo. Los valores absolutos de estos *shocks* corresponden a las “Pérdidas de infraestructura pública por precipitaciones fuertes” reportados en el cuadro 4. Estos valores fueron expresados en términos de tasas de depreciación incrementales para ser introducidos al MEGC ( $d' = d + \Delta d$ ). La tasa de depreciación en el escenario base es 2%.

Las tasas de depreciación incrementales tienden a crecer en el tiempo en ambos escenarios, lo que refleja que los efectos negativos del cambio climático sobre la infraestructura pública tienden a ser mayores a medida que pasan los años. En el escenario, A2 la tasa de depreciación incremental llega a ser 1,7% para el año 2100 y 0,5% para el escenario B2 (gráfico 27).

Gráfico 27

Escenarios A2 y B2: tasas de depreciación del stock de capital público ( $d'$ ) equivalentes a la depreciación más las pérdidas de infraestructura



Fuente: Calculado por los autores en base a Arenas (2014).

### 5.3 Política de reconstrucción

El tercer tipo de *shock* simulado a través del MEGC consistió en un aumento en la inversión pública para reponer el deterioro del *stock* de capital público, de tal forma que la inversión neta y el *stock* de capital público ( $K_g$ ) en los escenarios A2 y B2, fueran iguales a los del escenario base. Es decir:

$$K_g = K_{g-1}(1-d) + I_g = K_{g-1}(1-d') + I_g'$$

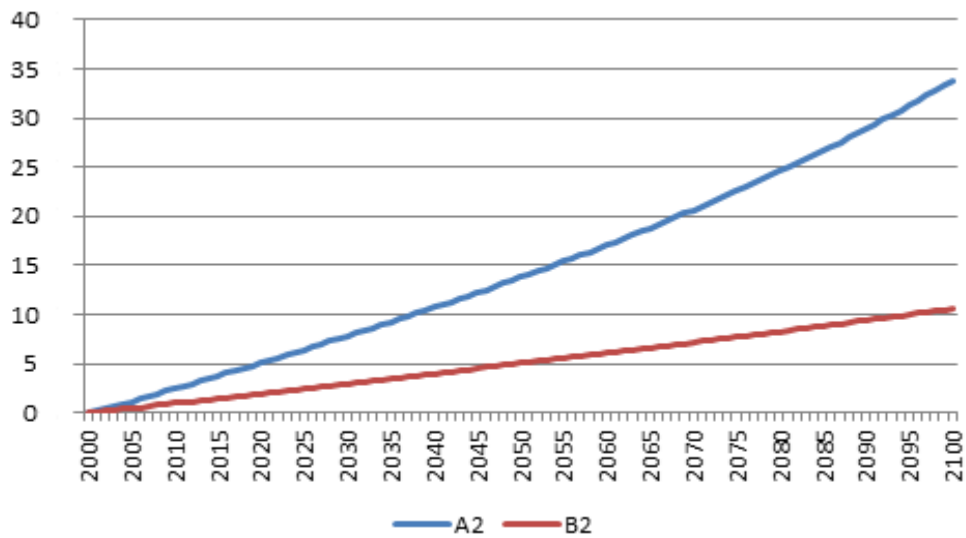
Simplificando se obtiene:

$$\Delta I_g = \Delta d \cdot K_1$$

La inversión adicional requerida para compensar las pérdidas de infraestructura es considerable. Como se observa en el gráfico 28, en el escenario A2 la inversión del gobierno requerida llega a ser hasta un 34% superior a la del escenario base para el año 2100. En el escenario B2, ésta es mayor en 11% a la del escenario base al finalizar el periodo de simulación.

Gráfico 28

Escenario A2 y B2: Inversión pública adicional requerida para recuperar las pérdidas de infraestructura pública(% en relación a inversión pública escenario base)



Fuente: Calculado por los autores.

Los efectos esperados de esta política de reconstrucción son que al compensar el gobierno las pérdidas de infraestructura, se reduzcan los efectos que sobre la producción tendrían los daños en la infraestructura resultantes del cambio climático. Los costos esperados de esta última política son un mayor déficit fiscal y endeudamiento público, y un efecto de desplazamiento de la inversión privada (*crowding-out*), por lo que se espera que los efectos de la reconstrucción no compensen totalmente los efectos de pérdida de PIB resultantes de los shocks de infraestructura.

## 6. Resultados obtenidos en los escenarios base, A2 y B2

Los resultados obtenidos a través del MEGC para los escenarios A2 y B2 permiten evaluar en detalle los efectos del cambio climático sobre diversas variables macroeconómicas y sectoriales. En las siguientes secciones se analizan estos efectos sobre variables tales como: PIB y crecimiento del PIB, PIB sectoriales, balance fiscal, deuda pública, balance ahorro-inversión, tasa de inflación, distribución del ingreso, emisión de CO<sub>2</sub> y deforestación.

### 6.1 Impactos sobre el PIB

Las pérdidas resultantes de los *shocks* de cambio climático, estimadas a través del MEGC, aparecen resumidas en el cuadro 6. En el escenario A2, los efectos directos de producción, medidos como el VPN de las pérdidas de producción en relación con el VPN de la producción del escenario base ( $\Delta\text{VPN}/\text{VPN}_{\text{BASE}}$ ), alcanzan a 0,96%. Estos efectos son los que fueron determinados en los estudios sectoriales. Si sumamos a éstos los efectos indirectos de producción calculados mediante el MEGC, que se transmiten a los demás sectores a través del consumo intermedio y del ingreso, las pérdidas suben a un 3,69%. Si agregamos además los efectos directos e indirectos del daño de la infraestructura, que incluyen los calculados en los estudios sectoriales y los resultados del MEGC, las pérdidas llegan a 7,80%. Finalmente, si incluimos además los efectos directos e indirectos de la inversión pública adicional para reponer los daños en la infraestructura calculados a través del MEGC, las pérdidas de PIB se reducen a 4,75%.

En el escenario B2 las pérdidas de producción directas son de 0,49%, las pérdidas totales de producción (directas e indirectas) llegan a 1,81%, y las pérdidas totales (incluyendo las de infraestructura) llegan a 3,29%. Al incluir los efectos de la inversión pública adicional, las pérdidas se reducen a 2,18%.

*Cuadro 6: Impactos totales del cambio climático sobre el PIB (2010-2100)*

Sectores	VPN Pérdidas Producción (MM US\$ de 2007)		VPN como % VPN PIB Total escenario base	
	A2	B2	A2	B2
Pérdidas directas de producción	47.648	24.224	0,96	0,49
Pérdidas totales de producción	183.321	89.975	3,69	1,81
Pérdidas totales (producción e infraestructura)	387.353	163.347	7,80	3,29
Pérdidas totales con reconstrucción	236.012	108.477	4,75	2,18

Fuente: Estimación propia.

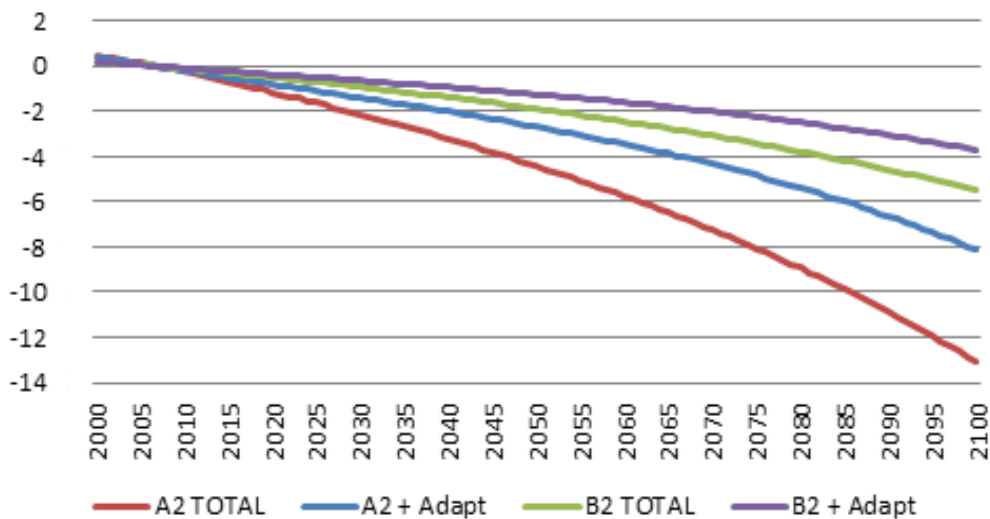
Nota: El Valor Presente está calculado usando una tasa de descuento de 0,5%.

Una política alternativa recomendable sería generar un escenario de adaptación, mediante el cual las inversiones públicas aumenten en forma precautoria y/o planificada (mediante canalizaciones pluviales y defensas). A nivel municipal, se deberían crear unidades de manejo de riesgos, las cuales se encargarían de anticipar y prevenir los impactos de los shocks de cambio climático. Por tanto el impacto directo (exógeno al modelo) será menor, causando que los impactos de equilibrio general y finales también sean menores.

El gráfico 29 presenta a través del tiempo las desviaciones del PIB para los escenarios A2 y B2, con respecto al PIB del escenario base. Debido a los efectos acumulados a través de los años, el PIB en el escenario A2 llega a ser 13,1% menor al PIB del escenario base para el año 2100. La desviación promedio es de 5,6%. El incremento en la inversión pública para compensar las pérdidas de infraestructura reduce la caída para el año 2100 a 8,1% y la promedio a 3,4%. En el escenario B2, la caída del PIB con relación al PIB del escenario base llega a ser de

3,7% para el año 2100 y de 2,4% en promedio. La caída se reduce, cuando se produce el incremento de la inversión pública, a 2,7% para el 2100 y a 1,6% en promedio.

**Gráfico 29**  
**Escenarios A2 y B2: desviación del PIB con respecto al PIB del escenario base (porcentaje)**



Fuente: Estimado por los autores a través del MEGC.

Es interesante notar que aunque el incremento en la inversión pública en ambos escenarios compensa exactamente las pérdidas de infraestructura pública, las pérdidas del PIB debidas a este último factor no son completamente compensadas y revertidas. Esto es así porque la inversión pública tiene un efecto de desplazamiento parcial de la inversión privada, por lo que el *stock* de capital físico total de la economía (público más privado) no retorna al nivel existente antes del *shock*.

El gráfico 30 muestra el comportamiento de las tasas de crecimiento del PIB para los escenarios A2 y B2 en comparación con la tasa de crecimiento del escenario base. Como puede verse, los efectos son mayores al final del periodo de análisis, cuando los efectos directos de producción e infraestructura del cambio climático son mayores. Los valores generados por el MEGC son absolutamente razonables, dado que la magnitud de los *shocks* tiende a incrementarse a través del tiempo.

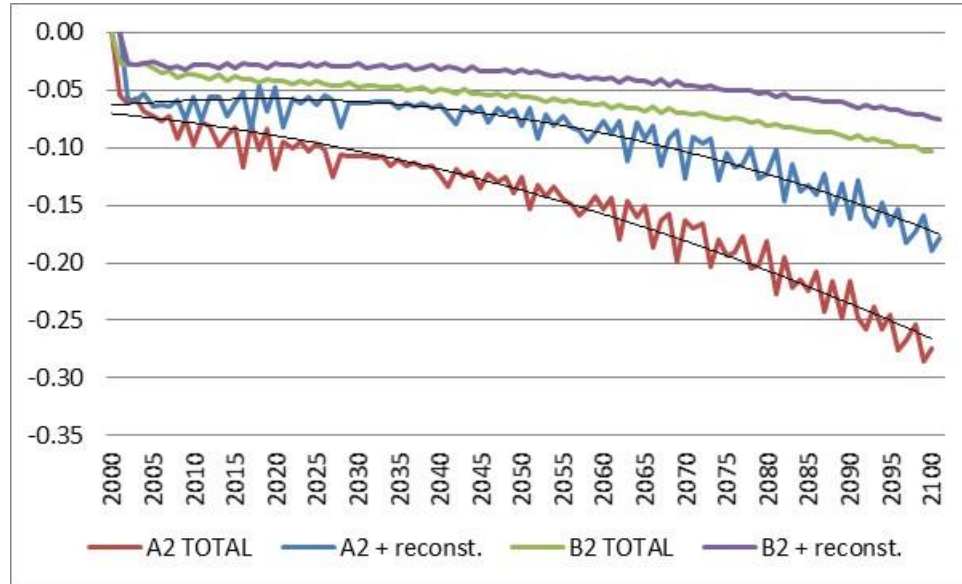
En el escenario A2, la tasa de crecimiento promedio para el periodo 2010-2100 es menor en 0,16% con respecto a la tasa de crecimiento promedio del escenario base. Esta diferencia se reduce a 0,09% cuando se incrementa la inversión pública para compensar las pérdidas de infraestructura. La desviación en la tasa de crecimiento llega a ser como máximo 0,27% inferior a la tasa de crecimiento de la base, lo que ocurre el año 2100. Al aplicarse el incremento de la inversión pública esta desviación se reduce a solo 0,18%.

En el escenario B2 la tasa de crecimiento promedio es menor en 0,06% con respecto al escenario base y en 0,04% cuando se aumenta la inversión pública. En este escenario, la tasa de crecimiento llega a ser como máximo 0,10% inferior a la tasa del escenario base para 2100, la cual se reduce a 0,08% cuando se incrementa la inversión pública.



El gráfico 30 también muestra que cuantos mayores sean los *shocks* de cambio climático sobre la economía, como es el caso del escenario A2, mayor tiende a ser la volatilidad en la tasa de crecimiento del PIB.

Gráfico 30  
Tasa de crecimiento del PIB (desviación en relación al escenario base)

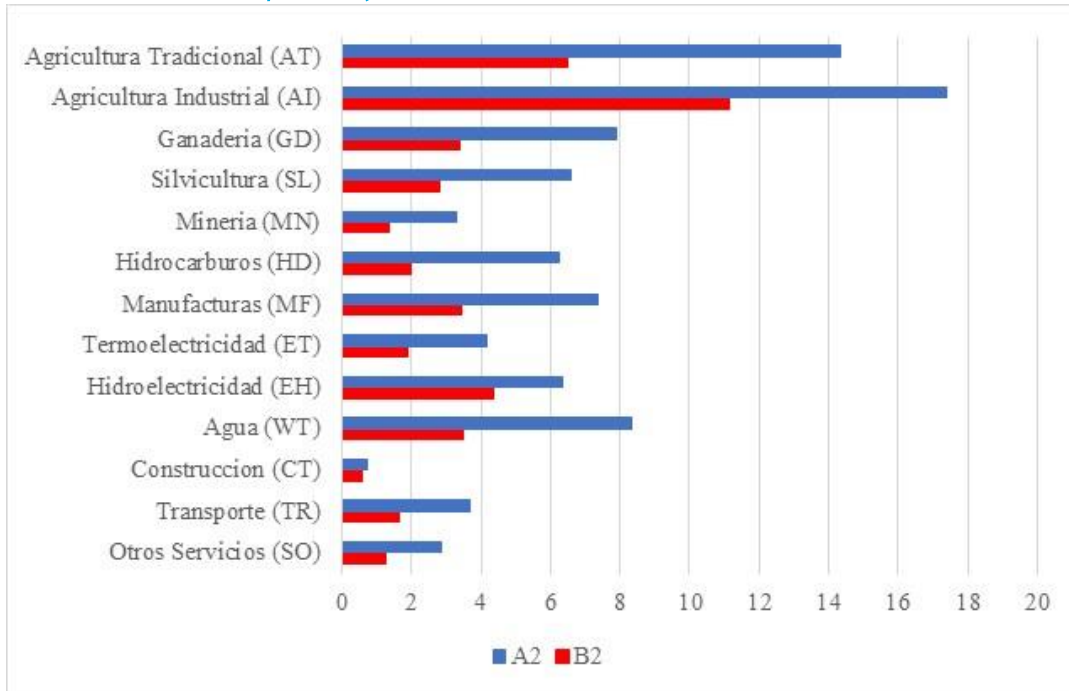


Fuente: Estimado por los autores a través del MEGC.

## 6.2 Impactos sectoriales

Las pérdidas sectoriales totales netas resultantes de los *shocks* de cambio climático, incluyendo las pérdidas de producción e infraestructura más las políticas de incremento en la inversión pública, afectan principalmente a los sectores directamente expuestos a estos efectos. En ambos escenarios, los sectores que reciben los mayores impactos directos de producción debido al cambio climático, son también los que presentan los mayores impactos indirectos y totales (gráfico 31). La agricultura industrial (AI) es el sector que experimenta los mayores impactos netos, *i.e.* 17,1% y 11,0% del PIB sectorial en los escenarios A2 y B2, respectivamente. La agricultura tradicional (AT) también experimenta impactos significativos, de 14,0% y 6,3% del PIB sectorial para ambos escenarios.

*Gráfico 31*  
*Escenario A2 y B2: Pérdidas totales incluyendo reconstrucción*  
*(porcentaje VPN/VPN PIB sectorial escenario base)*



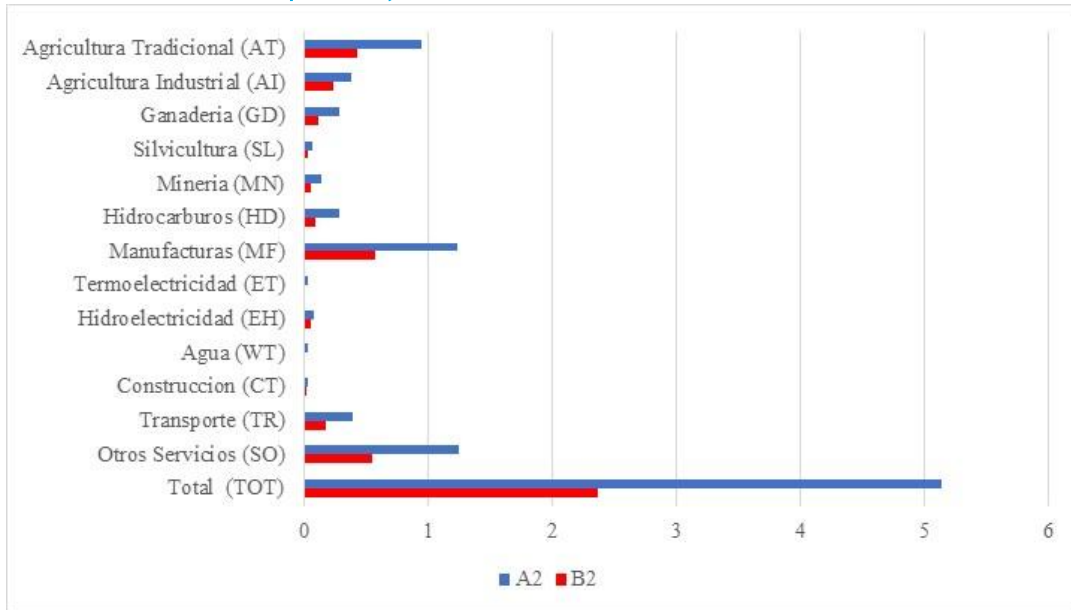
Fuente: Estimado por los autores a través del MEGC.

Los otros sectores directamente expuestos al cambio climático experimentan pérdidas relativamente más bajas, como: ganadería (GD), con pérdidas de 7,5 y 3,2% del PIB del sector para el escenario A2 y B2; silvicultura (SL), con pérdidas de 6,2 y 2,6%; energía hidroeléctrica (EH), con pérdidas de 6,0 y 4,2%; y finalmente agua (WT) con pérdidas de 8,0 y 3,3% del PIB sectorial.

La industria manufacturera (MF) es el sector que, no estando directamente expuesto a los efectos del cambio climático, experimenta las mayores pérdidas de PIB sectorial, como consecuencia de los efectos indirectos que se transmiten al sector a través de la caída en la provisión de insumos, menor demanda debido a la caída de ingresos y daños en la infraestructura que afecta las actividades de este sector. Las pérdidas de este sector alcanzan a 7,0% y 3,3% del PIB sectorial para los escenarios A2 y B2.

Al evaluar los impactos sectoriales con respecto al PIB total (gráfico 32), se observa que el sector que experimenta las mayores pérdidas es el de la industria manufacturera, que como se dijo anteriormente, sin estar expuesto a los efectos directos experimenta mayores pérdidas debido a los factores de insumo, demanda e infraestructura. Las pérdidas de este sector alcanzan a 1,17 y 0,55% del VPN del PIB total del escenario base, para los escenarios A2 y B2 respectivamente. Otros sectores que también muestran pérdidas importantes, sin estar directamente expuestos a los efectos del cambio climático, son transporte y servicios. Finalmente, la agricultura moderna, agricultura tradicional y ganadería presentan también pérdidas netas significativas.

**Gráfico 32**  
**Escenario A2 y B2: pérdidas totales incluyendo reconstrucción**  
**(porcentaje VPN/VPN PIB total escenario base)**



Fuente: Estimado por los autores a través del MEGC.

### 6.3 Impactos macroeconómicos

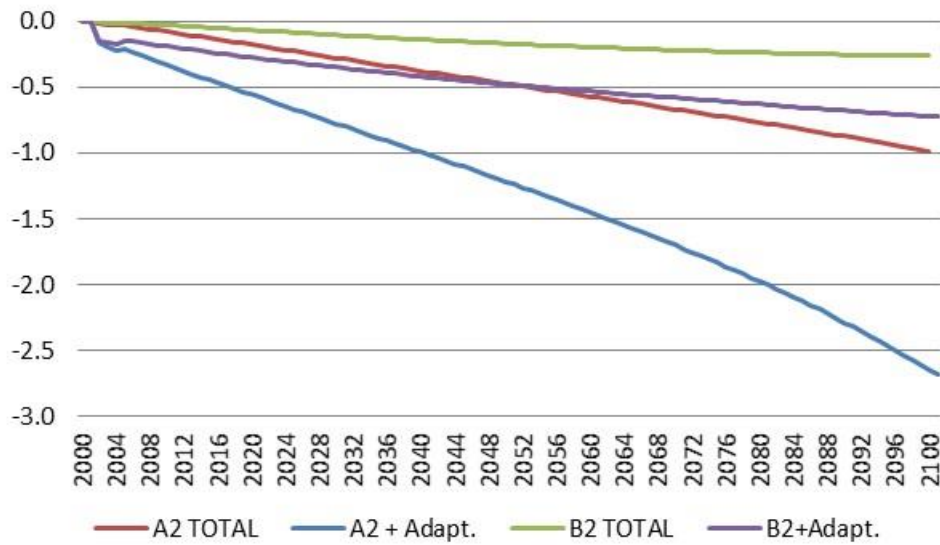
El cambio climático también genera efectos macroeconómicos importantes. En esta sección se analizan los efectos que éste tiene sobre el balance fiscal, la deuda pública, el balance ahorro-inversión, y la inflación y distribución del ingreso.

#### Balance fiscal

El balance fiscal experimenta un aumento en el déficit (o una caída en el superávit) debido a la caída de los ingresos y de las recaudaciones. En el escenario A2, incluyendo solamente los efectos de pérdidas de producción e infraestructura, el deterioro del balance fiscal sube constantemente hasta un 0,98% del PIB para el año 2100 (gráfico 33). Al aplicarse la política de incremento de la inversión pública para reponer las pérdidas de infraestructura, el deterioro del balance fiscal llega a 2,68% del PIB en 2100. En el escenario B2, la desviación del balance fiscal alcanza a 0,26% del PIB de 2100 como resultado de los *shocks* de cambio climático y a 0,72% del PIB cuando además se aumenta la inversión pública.

Gráfico 33

Escenario A2 y B2: Balance fiscal (porcentaje del PIB – desviación escenario base)



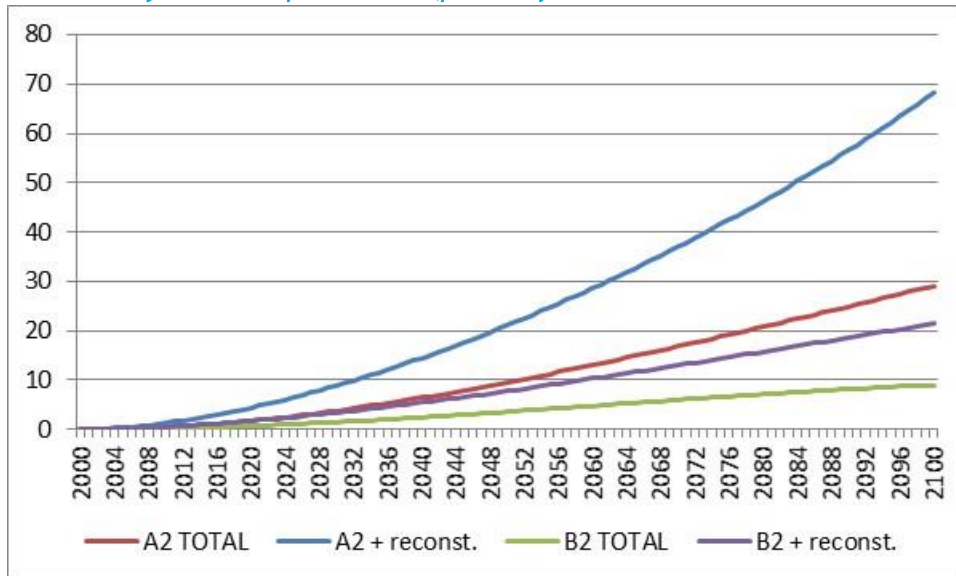
Fuente: Estimado por los autores a través del MEGC.

### Deuda pública

El impacto que el cambio climático tiene sobre el balance fiscal también afecta en forma significativa el nivel de endeudamiento público (gráfico 34), lo que dependerá a su vez de la forma en la que el déficit es financiado.

Gráfico 34

Escenario A2 y B2: Deuda pública neta (porcentaje del PIB – desviación escenario base)



Fuente: Estimado por los autores a través del MEGC.

Como se explicó en secciones previas, el cierre a nivel macroeconómico en el MEGC se da a través del sector privado, siendo el sector externo y el sector gobierno esencialmente exógenos. Por lo tanto, el mayor déficit fiscal resultante de los shocks y de la intervención de política de reconstrucción se financia básicamente a

través de mayor ahorro y menor inversión por parte del sector privado. Esto permite al sector financiero disponer de más recursos que pueden ser canalizados al sector público para financiar el mayor déficit. En el largo plazo, esto se traduce en un mayor nivel de endeudamiento público proveniente de fuentes internas, sin afectarse el nivel de endeudamiento externo.

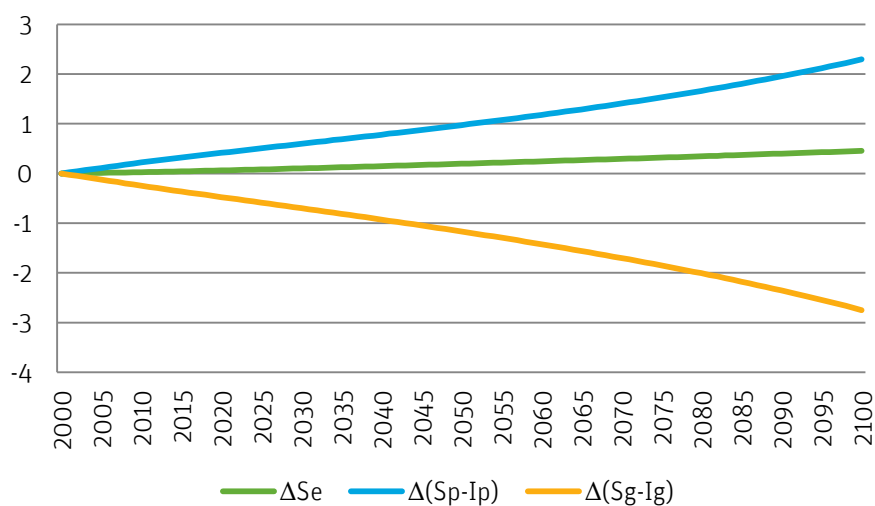
En el escenario A2, la deuda pública aumenta continuamente en relación a la del escenario base, llegando en 2100 a un nivel mayor en 29,1% del PIB con respecto al nivel alcanzado en el escenario base para ese año. Si se aplica la política de incremento en la inversión pública, el nivel de deuda pública es mayor para ese año, en 68,2% del PIB con respecto al escenario base.

En el escenario B2 los efectos sobre el endeudamiento público son más moderados. Con los impactos de los *shocks* de cambio climático, la deuda aumenta hasta alcanzar un nivel superior en 9,0% del PIB en el año 2100 con respecto al nivel alcanzado para ese año en el escenario base. Con la expansión de la inversión pública, el nivel de deuda es superior en 21,4% del PIB.

### Balance ahorro-inversión

El deterioro que se produce en el balance fiscal como consecuencia de los efectos del cambio climático y de las políticas de reconstrucción, tiene un impacto sobre el balance externo y sobre el balance del sector privado. En el escenario A2, que incluye la expansión de la inversión pública, el mayor déficit fiscal genera un déficit externo (en cuenta corriente de la balanza de pagos) moderadamente superior, el cual llega a ser 0,45% del PIB superior al nivel del escenario base para el año 2100 (gráfico 35). Esto refleja el limitado margen de ajuste del MEGC vía sector externo. El mayor ajuste se da vía balance del sector privado. El sector privado genera un mayor excedente, que para el año 2100 es superior en 2,29% del PIB, con relación al escenario base. Este excedente se genera a través de un mayor ahorro privado (caída del consumo), pero principalmente mediante una caída en la inversión privada (*crowding-out*).

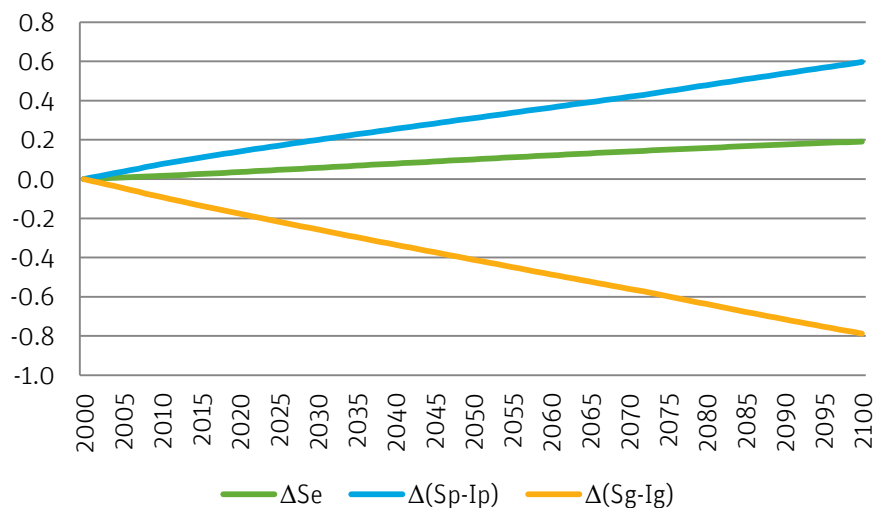
**Gráfico 35**  
**Escenario A2 + Reconstrucción: Balance Ahorro-Inversión**  
**(porcentaje del PIB - desviaciones del escenario base)**



Fuente: Estimado por los autores a través del MEGC.

El ajuste es similar en el escenario B2, pero en magnitudes menores (gráfico 36). El déficit en cuenta corriente ( $S_e$ ) solo se incrementa en 0,19% para el año 2100, mientras que el balance del sector privado ( $S_g-I_g$ ) sube en 0,60% del PIB para ese año.

**Gráfico 36**  
**Escenario B2 + Reconstrucción: Balance Ahorro-Inversión**  
**(porcentaje del PIB - desviaciones del escenario base)**

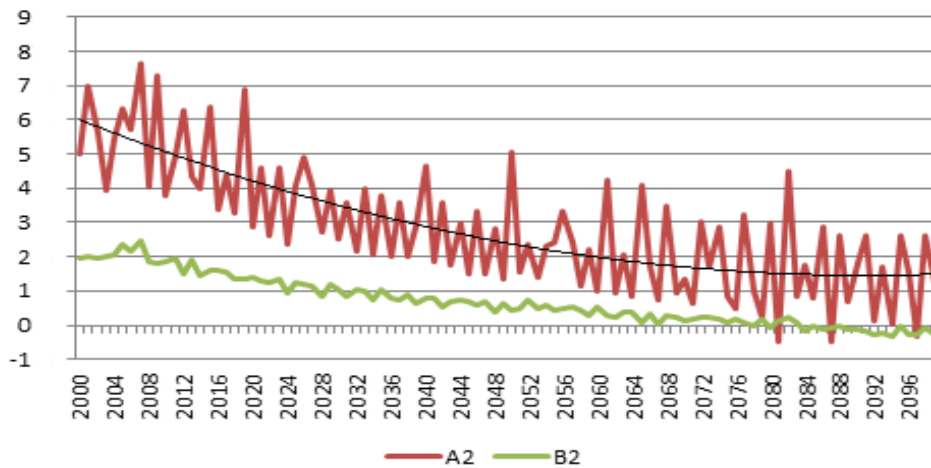


Fuente: Estimado por los autores a través del MEGC.

### Inflación

Los *shocks* de cambio climático tienden a aumentar la tasa de inflación como consecuencia de la contracción en la oferta agregada (gráfico 37). En el escenario A2, la desviación promedio de la tasa de inflación en relación a la del escenario base es de 2,58% y ésta tiende a ser mayor al principio y menor al final del periodo de simulación. En este escenario, también aumenta la volatilidad de la inflación debido a que los *shocks* de cambio climático sobre la economía son de mayor magnitud.

**Gráfico 37**  
**Escenario A2 y B2: tasa de inflación**  
*(variación porcentual anual – desviación escenario base)*



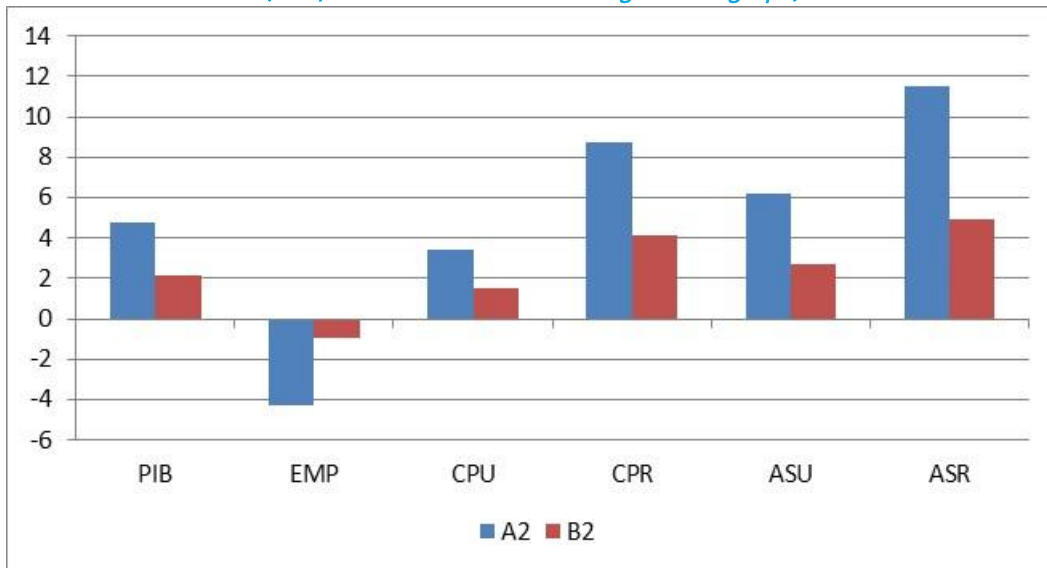
Fuente: Estimado por los autores a través del MEGC.

La tasa de inflación sigue la misma tendencia en el caso del escenario B2, aunque en niveles más moderados y de menor volatilidad. La desviación promedio de la tasa de inflación con respecto a la tasa del escenario base es de 0,57%.

### Impactos distributivos

Los *shocks* de cambio climático también generan efectos distributivos importantes. El gráfico 38 muestra las pérdidas de ingreso porcentuales de cada grupo socioeconómico en relación con los ingresos de cada grupo en el escenario base, para los escenarios A2 y B2 (incluyendo la política de incremento en la inversión pública). Los ingresos del sector empresarial corporativo (EMP) y de cuenta propia urbanos (CPU) caen relativamente poco, e incluso los ingresos del sector empresarial aumentan cuando se aplica la expansión de la inversión pública como política de reconstrucción. Los sectores más afectados son los asalariados rurales (ASR), debido a la caída de la agricultura industrial. Las pérdidas de este sector alcanzan a 11,5 y 4,9% de sus ingresos en el escenario base, para los escenarios A2 y B2. Los asalariados urbanos (ASU) también tienen pérdidas importantes, por la caída en el Sector de Manufactura, equivalentes a 6,2 y 2,7% de sus ingresos de la base para los escenarios A2 y B2. Finalmente, los trabajadores por cuenta propia rurales (CPR) experimentan pérdidas por la caída de la agricultura tradicional, equivalentes a 8,7 y 4,2%.

**Gráfico 38**  
**Escenarios A2 y B2: Pérdidas de ingreso por grupo social**  
**(VPN/VPN escenario base del ingreso del grupo)**

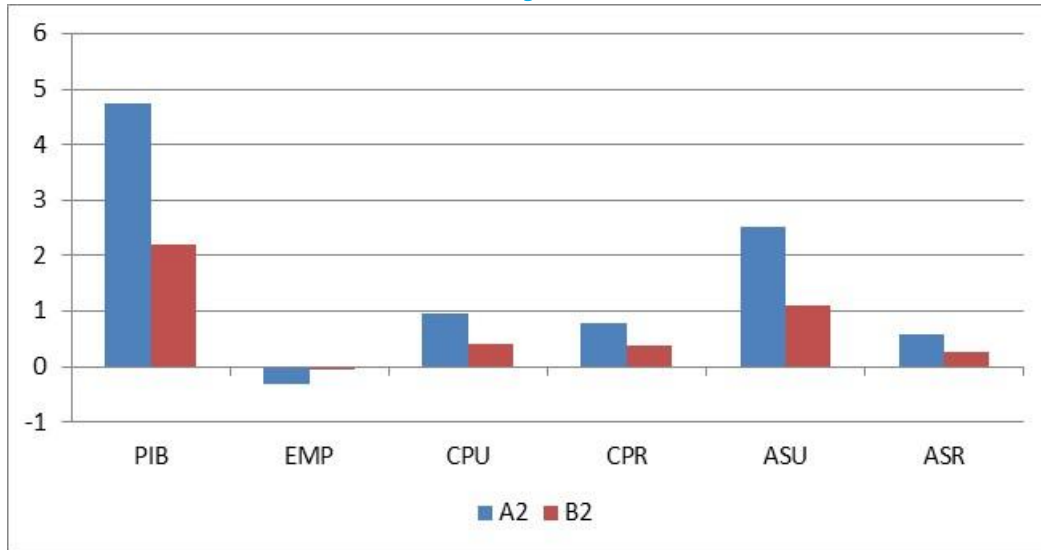


Fuente: Estimado por los autores a través del MEGC.

El gráfico 39 presenta las pérdidas de ingreso de los diferentes grupos socioeconómicos como porcentaje del ingreso total (PIB total) del escenario base. Es interesante ver que, en términos absolutos, el sector que experimenta las mayores pérdidas de ingreso es el de asalariados urbanos (ASU), principalmente como resultado de la caída del PIB de la industria manufacturera, la cual, como pudo verse en el gráfico 32, es el sector que experimenta las mayores pérdidas de PIB en términos absolutos. En segundo lugar, el grupo social más afectado por el cambio climático es el de trabajadores por cuenta propia urbanos (CPU), dado que son también los sectores de transporte y servicios los que experimentan pérdidas importantes de PIB (gráfico 32). Paradójicamente, los grupos de trabajadores por cuenta propia (CPR) y asalariados (ASR) rurales presentan pérdidas menores, ya que los sectores en los que estos grupos perciben principalmente sus ingresos, *i.e.* agricultura tradicional, agricultura moderna, ganadería y silvicultura, caza y pesca, no experimentan pérdidas muy elevadas en términos absolutos.



*Gráfico 39*  
*Escenarios A2 y B2: Pérdidas de ingreso por grupo social*  
*(VPN/VPN escenario base del ingreso total (PIB) de la economía)*



Fuente: Estimado por los autores a través del MEGC.

## 6.4 Impactos medioambientales

También se espera que el cambio climático tenga impactos sobre el medioambiente. El MEGC hace estimaciones sobre estos impactos en relación con la deforestación de bosques y la emisión de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>). A continuación se discuten los resultados obtenidos.

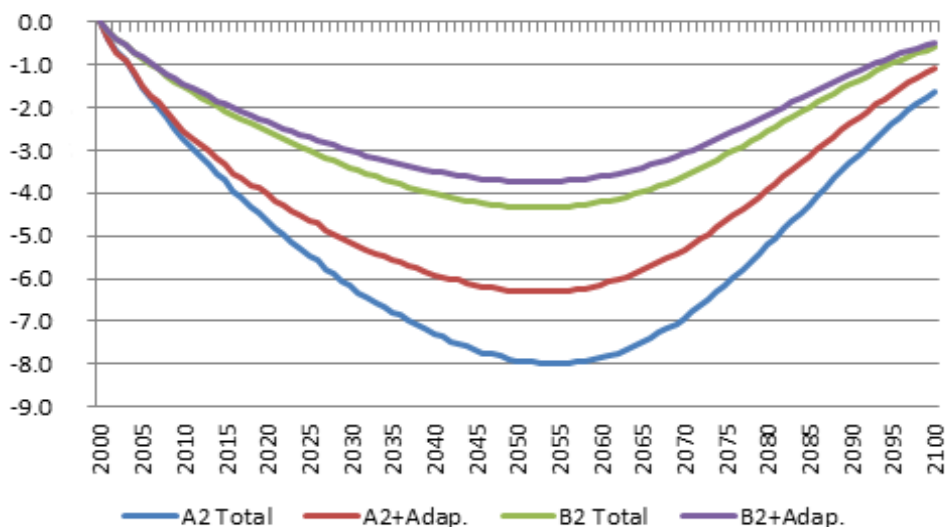
### Deforestación

El gráfico 40 presenta la desviación porcentual en la deforestación acumulada con respecto a la del escenario base. En ambos escenarios se registra una caída en la deforestación como consecuencia de la menor actividad productiva que se genera como resultado de las pérdidas por el cambio climático.

En el escenario A2, la caída en la deforestación es mayor, llegando el área deforestada a ser 8,0% menor a la del escenario base a la mitad de periodo de proyección. La diferencia se reduce a 1,6% al final del periodo (año 2100) debido a que para ese año la deforestación en este escenario es mayor que la del escenario base. Las diferencias son menores en el caso del escenario con expansión de la inversión pública, ya que la variación máxima en este caso es de 6,3% a mitad del periodo y de 1,1% al final del mismo.

En el escenario B2, la reducción en la deforestación con respecto al escenario base es menor, debido a los menores efectos sobre la actividad productiva que se asumen en este caso. En este escenario, la diferencia máxima de la deforestación llega a ser de 4,3% a mitad del periodo y se reduce a 0,6% para el año 2100. Cuando se aplica la política de expansión de la inversión pública, la diferencia máxima se reduce a 3,7% a mitad del periodo y a 0,5% al final del mismo.

*Gráfico 40  
Escenarios A2 y B2: Área deforestada acumulada  
(desviación % con respecto al escenario base)*



Fuente: Estimado por los autores a través del MEGC.

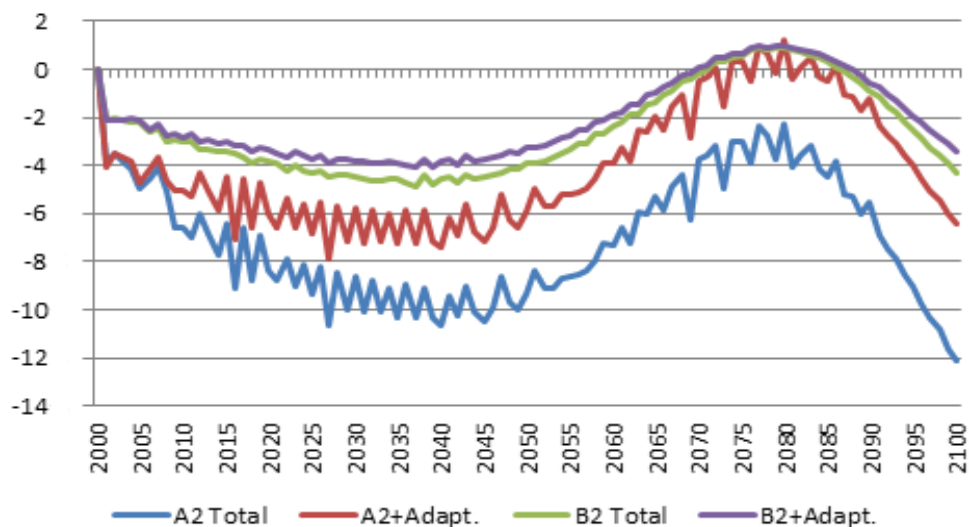
## Emisiones de CO<sub>2</sub>

Los efectos del cambio climático sobre la emisión de gases de efecto invernadero siguen un comportamiento algo similar al de la deforestación. El menor nivel de actividad inducido por el cambio climático también reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación a la base. Sin embargo, estas desviaciones siguen un comportamiento especial (gráfico 41). Las emisiones en los escenarios de cambio climático inicialmente tienden a ser menores a las del escenario base, debido a la menor deforestación y menor actividad de los otros sectores asociados a las emisiones, i.e. agricultura, industria y termo-electricidad. Estas desviaciones llegan a un máximo alrededor de la mitad del periodo de simulación (2050). A partir de ese año, la diferencia se reduce al caer el nivel de emisiones atribuibles a la deforestación, continuando esta tendencia hasta aproximadamente el año 2080. Finalmente, la diferencia en las emisiones vuelve a aumentar, cuando las emisiones atribuibles a los sectores de agricultura, industria y electricidad se vuelven más preponderantes y disminuye la importancia de las emisiones atribuibles a la deforestación.

En el escenario A2, la caída de las emisiones llega a un máximo de 10,6% con respecto al escenario base a la mitad del periodo de proyección. Posteriormente esta diferencia se reduce a 3% para el año 2076 y vuelve a aumentar a 12% al final del periodo. Este ciclo de diferencias de las emisiones con respecto al escenario base es menor cuando se aplica la expansión de la inversión pública, y también en los escenarios B2, con y sin expansión de la inversión pública.

Gráfico 41

Escenarios A2 y B2: Emisiones de CO<sub>2</sub> (desviación % con respecto al escenario base)



Fuente: Estimado por los autores a través del MEGC.

## 7. Conclusiones y comentarios finales

A modo de comentarios finales, deseamos resaltar los siguientes puntos:

La metodología utilizada en este estudio para evaluar los efectos del cambio climático sobre la economía boliviana en el largo plazo, ha permitido tener una visión más detallada y rica sobre cómo los *shocks* de cambio climático se transmiten a las diferentes áreas y sectores de la economía en el largo plazo.

Quedó en evidencia que el cambio climático tiene un efecto negativo sobre el crecimiento de la economía, no solamente por los efectos directos sobre los sectores de actividad expuestos al cambio climático, sino también a través de los efectos indirectos sobre otros sectores de la economía, que se transmiten a través de diversos mecanismos: provisión de insumos, pérdidas de infraestructura, menor demanda por la caída de los ingresos. La política de gobierno de expansión de la inversión pública para recuperar la infraestructura dañada, tiende a revertir parcialmente las pérdidas de producto.

También ha quedado en evidencia la importancia de los efectos dinámicos del cambio climático sobre la economía, los cuales tienden a acumularse en el tiempo, y en un periodo lo suficientemente largo pueden alcanzar magnitudes considerables. Las pérdidas de ingreso en un periodo determinado implican menores niveles de inversión, lo cual se traslada a los periodos sucesivos, lo que dificulta que la economía retorne a los niveles de producto que se habrían alcanzado de no haberse producido los *shocks*.

Los *shocks* de cambio climático también tienen el efecto de deteriorar las finanzas públicas y aumentar el endeudamiento externo neto. La caída en el nivel de actividad reduce los ingresos fiscales y por tanto aumenta el déficit o reduce el superávit. Los efectos fiscales pueden ser mayores si el gobierno expande la inversión pública con el objeto de reponer las pérdidas de infraestructura.

El mayor déficit tiene un efecto sobre el equilibrio externo y el balance del sector privado. Al existir un sector externo inflexible en el MEGC, el ajuste macroeconómico se da en última instancia a través de un mayor superávit del sector privado, ya sea a través de mayor ahorro (menor consumo) o de menor inversión.

Los *shocks* de cambio climático tendrían, de acuerdo con los resultados obtenidos en los escenarios simulados, el efecto positivo de reducir la deforestación y las emisiones de gases de efecto invernadero, como resultado de los menores niveles de producción.

Los MEGC han demostrado ser una herramienta muy valiosa para estudiar los efectos del cambio climático en el largo plazo en toda su magnitud y riqueza. Es importante seguir desarrollando y perfeccionando el uso de esta herramienta para tener una mayor percepción sobre el impacto real que este fenómeno podría tener sobre las economías en desarrollo. Las simulaciones analizadas en el presente documento sugieren que los efectos indirectos y dinámicos del cambio climático son entre dos y cuatro veces mayores que los efectos directos. Ignorando estos efectos indirectos y dinámicos resultaría en una subestimación muy grave de los impactos totales del cambio climático.

## 8. Referencias

- Agenor, P., R., & P. Montiel (1999). *Development Macroeconomics*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press,
- 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. 2014. *La economía del cambio climático en Bolivia: Impactos sobre la Biodiversidad*. C.E. Ludeña y L. Sanchez-Aragon (eds), Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 192, Washington, DC.
- Andersen, L.E., L.C. Jemio, H. Valencia. 2014. *La economía del cambio climático en Bolivia: Impactos en el sector Agropecuario*. C.E. Ludeña y L. Sanchez-Aragon (eds), Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 191, Washington, DC.
- Andrade, M.F. 2014. *La economía del cambio climático en Bolivia: Validación de Modelos Climáticos*. C.E. Ludeña y L. Sanchez-Aragon (eds), Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 184, Washington, DC.
- Arenas, J.C. 2014. La economía del cambio climático en Bolivia: Impactos de eventos extremos sobre Infraestructura y producción Agropecuaria. C.E. Ludeña y L. Sanchez-Aragon (eds), Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 190, Washington, DC.
- BID y CEPAL. 2014. *La Economía del Cambio Climático en el Estado Plurinacional de Bolivia*. C.E. Ludeña, L. Sanchez-Aragon, C. de Miguel, K. Martínez, y M. Pereira (eds). Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 220 y Naciones Unidas LC/W.627.
- Calvo Cárdenas, N. 2014. *La economía del cambio climático en Bolivia: Cambios en la Demanda Hídrica*. C.E. Ludeña y L. Sanchez-Aragon (eds), Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 187, Washington, DC.
- CEPAL (1999). “Efectos macroeconómicos del fenómeno el niño de 1997-1998: Su impacto en las economías andinas.” CEPAL, febrero.
- CEPAL (2010). “La Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe. Síntesis 2010,” Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- IPCC (2007). Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- 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,
- Machicado, C.G. 2014. *La economía del cambio climático en Bolivia: Impactos en Hidroenergía*. C.E. Ludeña y L. Sanchez-Aragon (eds), Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 193, Washington, DC.
- Molina Tejerina, O.J., P.G. de Ferrari Patton. 2014. *La economía del cambio climático en Bolivia: Impactos en Salud*. C.E. Ludeña y L. Sanchez-Aragon (eds), Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 194, Washington, DC.
- Ontiveros Mollinedo, M.A. *La economía del cambio climático en Bolivia: Impactos en los Recursos Hídricos*. C.E. Ludeña y L. Sanchez-Aragon (eds), Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 186, Washington, DC.
- Pyatt, G., & J., Round (1977). “Accounting and Fixed Multipliers in a Social Accounting Matrix Framework, in Pyatt and Round”. *Social Accounting Matrices: A Basis for Planning*, The World Bank, Washington, D.C., USA.

Schuschny A. (2005). "Tópicos sobre el Modelo de Insumo-Producto: teoría y aplicaciones". Serie: Estudios estadísticos y prospectivos 37, División de Estadísticas y Proyecciones Económicas, CEPAL, Santiago de Chile.

## Anexo 1: Características adicionales de BOLIXXI

En este anexo se analizan algunos aspectos importantes de la estructura del modelo, sobre todo en lo que se refiere a la estructura productiva y la distribución del ingreso entre las diferentes categorías ocupacionales identificadas en el modelo.

### A1.1. Sectores productivos

Con el objetivo de medir los efectos del cambio climático sobre la economía, BOLIXXI incluye una detallada desagregación de los sectores productivos de la economía boliviana, de tal modo que el modelo permita evaluar la forma en que el cambio climático afecta cada sector productivo en particular. No todas las ramas de actividad de la economía serán afectadas de la misma manera ni en la misma magnitud. En el cuadro A1 se detallan las ramas de actividad incluidas en el modelo.

*Cuadro A1.1*  
*Actividades productivas incluidas en el MEGC*

Sector	PIB		Exportaciones (millones US\$)	Empleo		Productividad (PIB/Empleo)
	(millones Bs.)	(%)		(miles personas)	(%)	
Agricultura Tradicional	2.999	6,9	42,8	1.027,5	28,2	2,9
Agricultura Industrial	927	2,1	84,5	302,0	8,3	3,1
Productos Pecuarios	1.588	3,7	17,9	108,6	3,0	14,6
Silvicultura, Caza y Pesca	429	1,0	6,9	14,7	0,4	29,2
Hidrocarburos	1.514	3,5	79,4	4,7	0,1	322,1
Minería	1.831	4,2	236,6	47,8	1,3	38,3
Industria Manufacturera	7.362	17,0	542,8	414,6	11,4	17,8
Energía Termoeléctrica	317	0,7	0,0	3,4	0,1	93,2
Energía Hidroeléctrica	541	1,3	0,0	3,0	0,1	180,3
Agua	166	0,4	0,0	2,2	0,1	75,5
Construcción	1.924	4,5	0,0	212,6	5,8	9,0
Transporte y Comunicaciones	4.676	10,8	85,2	180,9	5,0	25,8
Otros Servicios	18.951	43,8	185,9	1.315,4	36,2	14,4
<b>Total Actividades</b>	<b>43.225</b>	<b>100,0</b>	<b>1.282</b>	<b>3.637</b>	<b>100,0</b>	<b>11,9</b>

Fuente: Elaboración propia en base a información de Cuentas Nacionales y Encuestas de Hogares.

Nota: Información correspondiente a la Matriz de Contabilidad Social de 1999.

El cuadro A1.1 muestra que las actividades agropecuarias participan con aproximadamente un 14% del PIB. Debido a la importancia del sector agropecuario en la transmisión de los efectos del cambio climático, en BOLIXXI esta actividad ha sido desagregada en cuatro grupos: agricultura tradicional, agricultura industrial, ganadería y silvicultura, caza y pesca.

El peso de las actividades agropecuarias en el empleo es también significativo, especialmente en el caso de la agricultura tradicional, que comprende el 28,2% del empleo total. De la misma manera, la productividad de los trabajadores del sector agrícola tradicional es la más baja de todos los sectores incluidos en BOLIXXI.

Otro sector que tiene una gran incidencia en el PIB total es el sector de servicios, el cual incluye una gran variedad de actividades, entre ellas: comercio, restaurantes y hoteles, servicios financieros, servicios de la

administración pública, propiedad de la vivienda, servicios sociales, comunales y personales, etc. Esta categoría representa un 43,8% del PIB y agrupa a un 36,2% de la población ocupada.

La industria manufacturera también tiene una significativa ponderación en el PIB (17%) y agrupa una amplia variedad de actividades, entre ellas: la producción de alimentos, bebidas y tabaco, textiles y prendas de vestir, productos de cuero, productos de madera, productos de refinación de petróleo, productos minerales no metálicos y otras industrias de manufacturas. Las actividades de la industria manufacturera absorben a un 11,4% de la población ocupada del país. La productividad de la industria boliviana es baja, lo que demuestra que ese trata esencialmente de un sector intensivo en trabajo y que tiene un bajo nivel de capital por trabajador.

## A1.2. Distribución del ingreso

El MEGC utilizado en este estudio incluye una significativa desagregación de grupos socioeconómicos que participan en el mercado laboral y en la distribución del ingreso. El objetivo es medir en detalle los efectos distributivos del cambio climático, y de las políticas aplicadas para reducir sus efectos.

De esta forma, la Matriz de Contabilidad Social (MCS), que se emplea como base para la construcción del MEGC, incluye diferentes criterios para desagregar a la fuerza laboral, de acuerdo con características que son importantes para determinar las diferencias de ingresos laborales existentes. Estas características son:

- Rama de actividad económica en la cual trabajan y obtienen sus ingresos.
- Área geográfica de residencia (urbana-rural).
- Categoría ocupacional de los trabajadores (asalariados-no asalariados). Un trabajador es considerado como asalariado si corresponde a las categorías de obrero, empleado, patrón o socio que recibe remuneración y empleada(o) del hogar de la Encuesta de Hogares. Por otra parte, será no asalariado si corresponde a las categorías de trabajador por cuenta propia, patrón o empleador que no recibe remuneración, trabajador familiar o aprendiz sin remuneración, incluidas en la Encuesta de Hogares.
- Grado de calificación de los trabajadores (calificados-no calificados). Un trabajador es considerado calificado cuando ha completado al menos la enseñanza secundaria.

Dado que el año base de BOLIXXI y de la MCS fue 1999, se utilizó la Encuesta de Hogares correspondiente a ese año para obtener la estructura de la distribución de ingreso del modelo.

La EH para 1999 muestra que la población económicamente activa (PEA) para ese año fue de 3,8 millones de personas, de las cuales 2,2 millones (57% del total) se encontraban en el área urbana y 1,6 millones (43%) en el área rural (cuadro A1.2).

Existen importantes diferencias entre las características de la fuerza laboral urbana y rural que aparecen en la Encuesta de Hogares y que fueron incorporadas en la MCS. En primer lugar, el nivel de ocupación es más alto en el área rural que en el área urbana, ya que la tasa de desocupación rural es de solo el 0,4% de la PEA, mientras que en el área urbana llega al 7,2%. A nivel nacional, la tasa de desempleo es del 4,3% de la PEA.

Segundo, a nivel nacional la mayor parte de la PEA se considera no calificada. En efecto, de los 3,8 millones de personas que conforman la PEA, 2,8 millones (75% del total) corresponde a la categoría de no calificados, mientras que solamente 0,9 millones son calificados. Existe una mayor concentración de trabajadores calificados en el área urbana, ya que un 40,9% de la PEA urbana es considerada como calificada, mientras que en el área rural este porcentaje es de solo un 4,7%.



*Cuadro A1.2*  
*Estructura de la población económicamente activa (PEA), Encuesta de Hogares de 1999*  
*(miles de Personas)*

Segmento de la Población	Población Económicamente Activa	Población Ocupada	Población Desocupada	Tasa de Desempleo (%)
Urbana	2.173,0	2.017,0	156,0	7,2
Calificada	891,0	825,0	66,0	7,4
No Calificada	1.282,0	1.192,0	90,0	7,0
Rural	1.628,0	1.621,0	7,0	0,4
Calificada	77,0	77,0	0,0	0,0
No Calificada	1.551,0	1.544,0	7,0	0,5
Total Nacional	3.801,0	3.638,0	163,0	4,3
Calificada	968,0	902,0	66,0	6,8
No Calificada	2.833,0	2.736,0	97,0	3,4

Fuente: Elaboración propia en base a la Encuesta de Hogares de 1999.

También en base a los datos de la Encuesta de Hogares de 1999, se observa que de los 3,6 millones de ocupados existentes ese año, 2,5 millones (68% del total de la población ocupada) correspondían a la categoría de no asalariados, mientras que solamente 1,1 millones (32%) son considerados asalariados (cuadro A1.3). Además, existe una mayor concentración de asalariados en el área urbana, ya que un 48,9% de la población ocupada urbana es asalariado. En el área rural, este porcentaje asciende solamente al 9,9%, y el 90,1% de la población ocupada es no asalariado.

*Cuadro A1.3*  
*Estructura de la población ocupada, Encuesta de Hogares de 1999*  
*(miles de trabajadores)*

Segmento de la Población	Calificados	No Calificados	Total
Urbano	825	1.192	2.017
Asalariados	404	584	987
No Asalariados	421	609	1.030
Rural	77	1.544	1.621
Asalariados	8	153	161
No Asalariados	69	1.391	1.460
Total Nacional	902	2.736	3.638
Asalariados	411	737	1.148
No Asalariados	490	2.000	2.490

Fuente: Elaboración propia en base a la Encuesta de Hogares de 1999.

Las categorías laborales identificadas en la Encuesta de Hogares presentan diferencias de ingresos, las cuales deben verse reflejadas en el modelo. De acuerdo con los datos obtenidos a partir de la Encuesta de Hogares de 1999, el grupo ocupacional que presenta los mayores ingresos lo constituye el de asalariados urbanos calificados, que en promedio obtienen un ingreso anual de Bs. 23.527 por trabajador (US\$4.042 de ese año), mientras que la categoría laboral con menores ingresos la constituyen los no asalariados rurales no calificados, que perciben ingresos anuales que en promedio alcanzan a Bs. 1.641 por trabajador (US\$283 de ese año) (cuadro A1.4).

*Cuadro A1.4*  
*Ingresos promedio anuales de la población ocupada, Encuesta de Hogares de 1999 (pesos bolivianos)*

Segmento de la Población	Calificados	No Calificados	Total
Urbano	18.337	8.663	12.618
Asalariados	23.527	11.114	16.189
Rural	9.971	2.355	2.716
Asalariados	18.116	8.783	9.225
No Asalariados	9.075	1.648	2.000
Total Nacional	17.624	5.104	8.206
Asalariados	23.427	10.630	15.214
No Asalariados	12.758	3.068	4.976

Fuente: Elaboración propia en base a la Encuesta de Hogares de 1999.

En base a la información sobre empleo e ingresos obtenida a partir de la Encuesta de Hogares de 1999, se calcularon la curva de Lorenz y el coeficiente de Gini para medir el grado de desigualdad en la distribución del ingreso laboral entre las diferentes categorías de trabajadores identificadas e incluidas en la MCS y en BOLIXXI. A partir de la información tabulada en el cuadro A1.5, se obtiene un coeficiente de Gini de 0,46.

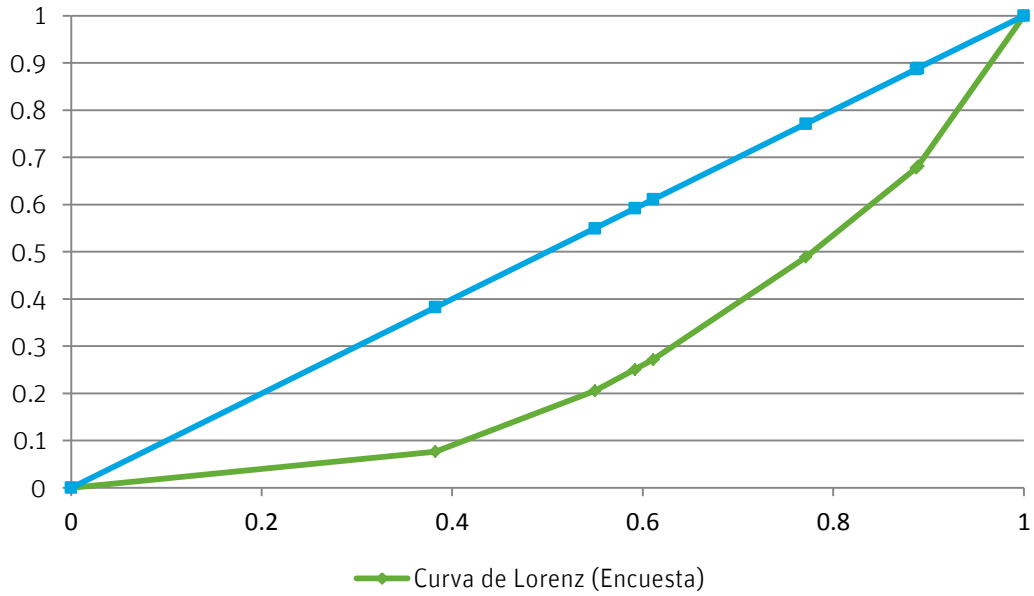
*Cuadro A1.5*  
*Cálculo de la curva de Lorenz y del coeficiente de Gini para la población ocupada, Encuesta de Hogares de 1999*

Segmento de la Población	Ingreso Promedio Mensual	No. Personas	%	Porcentaje Acumulado	Ingresos Totales	%	Porcentaje Acumulado
No Asal Rurales No Calificados	137	1.391	0,382	0,382	190.972	0,077	0,077
Asal. Rurales No Calificados	526	609	0,167	0,550	320.288	0,129	0,206
No Asal. Urbanos No Calificados	732	153	0,042	0,592	112.033	0,045	0,251
Asal. Urbanos No Calificados	756	69	0,019	0,611	52.350	0,021	0,272
No Asal Rurales Calificados	926	584	0,160	0,771	540.461	0,217	0,489
Asal. Rurales Calificados	1.114	421	0,116	0,887	468.944	0,188	0,677
No Asal. Urbanos Calificados	1.510	8	0,002	0,889	11.501	0,005	0,682
Asal. Urbanos Calificados	1.961	404	0,111	1,000	791.308	0,318	1,000

Fuente: Estimaciones propias en base a la Encuesta de Hogares de 1999.

La Curva de Lorenz asociada a la información sobre distribución del ingreso que se presenta en el cuadro A1.5 aparece en el gráfico A1.1.

*Gráfico A1.1  
Curva de Lorenz para la población ocupada,  
Encuesta de Hogares de 1999*



Fuente: Estimaciones propias en base a la Encuesta de Hogares de 1999.

## Anexo 2: Ecuaciones de BOLIXXI

### A2.1 Notación básica

i) Sectores productivos:

- notación general (i o j)
- notación individual: agricultura tradicional (AT), agricultura industrial (AI), arroz (AZ), soya (SY), minería (MN), hidrocarburos (HD), manufactura (MF), construcción (CT), servicios modernos (SM) y servicios informales (SI).

ii) Factores de producción:

- notación general (f)
- notación individual: trabajo (LB), utilidades no corporativas (NC), utilidades corporativas (CP).

iii) Instituciones:

- notación general (k)
- notación individual: hogares (HH), empresas corporativas (EC), empresas públicas (EP) y gobierno (GB).

iv) Instituciones financieras:

- notación general (k)
- notación individual: Banco Central (BC), bancos comerciales (BP) bancos especializados (BE) y fondos de pensiones (FP).

v) Resto del mundo (RM).

### A2.2 Ecuaciones del modelo

El modelo comprende 407 ecuaciones que resuelven 407 variables endógenas. Las ecuaciones son las siguientes:

#### **1. Balances de oferta y demanda**

$$X_i \equiv XD_i + E_i$$

La producción por rama de actividad ( $X_i$ ) es igual a la absorción interna ( $XD_i$ ) más las exportaciones ( $E_i$ ) (para todos los sectores productivos [10]).

$$XD_i \equiv \sum a_{i,j} \cdot X_j + \sum C_{i,k} + G_i + \sum \lambda_{i,k} \cdot IR_k + \Delta SK_i$$

Especificación de la absorción interna (para t.s.p. [10]).

$$E_i = E_{i0} \cdot (PE_i/PD_i)^{\eta_i}$$

Las exportaciones son sensibles a cambios en los precios relativos.  $E_{i0}$  es el nivel de exportaciones en el año base y  $\eta_i$  son las elasticidades de exportación (para todos los sectores [10]).

$$\text{IMP} \equiv \sum M_j + \sum C_{m,k} + \sum \lambda_{m,k} \cdot IR_k + \Delta SK_m$$

Absorción interna de productos importados (1).

## 2. Ecuaciones de precios para todos los sectores

$$P_j = (\text{PD}_j \cdot X_{D_j} + \text{PE}_j \cdot E_j) / X_j$$

Precio compuesto (para t.s.p. [10]).

$$\text{PE}_j = e \cdot \text{PW}_j$$

Precios de exportación (para t.s.p. [10]).

$$\text{PD}_{MP} = (1 + t_m) \cdot m_{MP} \cdot e \cdot \text{PW}_{MP}$$

Precio doméstico de importación (1).

## 3. Capital corporativo y no corporativo

$$\text{KC} = K_{EC} + K_{EP} + K_{GB}$$

El capital corporativo se define como aquel perteneciente a las compañías, empresas públicas y gobierno (1).

$$\text{KU} = K_{HH} + K_{GB}$$

El capital no corporativo es aquel que pertenece a los hogares, aunque la inversión del gobierno puede contribuir a incrementar la productividad de este sector (1).

## 4. Ajuste de precios y cantidades

Existen dos tipos de sectores productivos en el modelo (esto es: sectores con funciones de producción y sectores con precios fijados vía la regla del *mark-up*), cada uno de ellos con sus propias reglas de ajuste.

En cada una de estas categorías de actividades productivas, intervienen diferentes factores de producción: entre ellos, insumos intermedios nacionales e importados (M), trabajo (L), capital corporativo (KC) y no corporativo (KU). Cada uno de estos factores tiene su propio precio específico; esto es: precios de insumos nacionales ( $\text{PD}_j$ ), de insumos importados ( $e \cdot \text{PW}_{MP}$ ), tasa de salarios ( $w$ ), tasa de rentabilidad del capital corporativo ( $rc_j$ ) y tasa de rentabilidad del capital no corporativo ( $ru_j$ ).

El sistema de ecuaciones especificado para cada sector debe resolver las cantidades (X) y precios (P) para los bienes y servicios producidos, y los precios y cantidades para cada uno de los factores de producción demandados. Algunas de estas variables son determinadas fuera del sistema en alguna otra parte del modelo; en todos los casos, KC y KU son determinados dentro de los balances de acumulación de los agentes; el tipo de cambio (e) es una variable exógena de política, los precios externos de los insumos importados ( $\text{PW}_{MP}$ ) son variables exógenas y la tasa de salario es determinada en el mercado laboral (ver la sección 4). Las variables que son determinadas dentro del sistema de ecuaciones de los sectores productivos son: producción y precios ( $X_j$  y  $P_j$ ), empleo ( $L_j$ ) e insumos intermedios ( $M_j$ ) utilizados, y la rentabilidad sectorial del capital corporativo ( $rc_j$ ) y no corporativo ( $ru_j$ ).

#### 4.1 Sectores con funciones de producción

En los sectores con funciones de producción, hay sustitución entre los factores de producción. Esto se especifica mediante una función de sustitución de elasticidad constante (CES). La función CES comprende un sistema consistente de ecuaciones, incluidas la función de costos CES y las funciones de demanda individuales de factores productivos e insumos que son derivadas al aplicar el lema de Shepard (Varian, 1984:54-57), que sostiene que la relación de factores utilizados como insumos es igual a la derivada parcial de la función de costos.

En términos del modelo CEG que se trata en este documento, la función de costos CES, junto con las funciones de demanda, determinan  $P_j$  y  $X_j$ , mientras que las funciones de demanda individual determinan  $ru_j$ ,  $rc_j$ ,  $L_j$  y  $M_j$ .

$$P_j = \{(1+tx_i) \cdot [\sum (PD_i/P_j^{p_i}) \cdot a_{i,j} + \beta_{CP,j} \cdot (rc_j \cdot P_j)^{1-p_j} + \beta_{UP,j} \cdot (ru_j \cdot P_j)^{1-p_j} + \beta_{LB,j} \cdot (w)^{1-p_j} + a_{MP,j} \cdot (PD_{MP})^{1-p_j}]\}^{1/(1-p_j)}$$

Función de costos CES para los sectores con función de producción (7).

$$KU = \beta_{UP,j} \cdot (ru_j)^{p_j} \cdot X_j$$

Demanda de capital no corporativo (donde:  $\beta_{UP,j}$  es la ponderación de las utilidades no corporativas en el valor de la producción del sector  $j$ ;  $ru_j$  es la rentabilidad del capital no corporativo en la actividad  $j$ , y  $p_j$  es la elasticidad de sustitución CES en la función de producción del sector  $j$ ) (7).

$$KC = \beta_{CP,j} \cdot (rc_j)^{p_j} \cdot X_j$$

Demanda de capital corporativo en el sector  $j$  (7).

$$L_j = \beta_{LB,j} \cdot (w/PD_j)^{p_j} \cdot X_j$$

Demanda de trabajo en el sector  $j$  (7).

$$M_j = a_{MP,j} \cdot (PD_{MP}/PD_j)^{p_j} \cdot X_j$$

Demanda de insumos importados en el sector  $j$  (donde  $a_{MP,j}$  es el coeficiente de insumo-producto para insumos importados en el sector  $j$ ) (7).

$$\Gamma_j = (rc_j \cdot KC + ru_j \cdot KU) / (KC + KU)$$

Rentabilidad total del capital físico en el sector  $j$  como un promedio ponderado de  $ru_j$  y  $rc_j$  (7).

$$(\tau_j / ((1+\tau_j) = [\Gamma_j \cdot (1+tx_i)] \cdot [(KU+KP)/X_j])$$

Determinación de la tasa de *mark-up* en el sector  $j$  (7).

#### 4.2 Sectores mark-up

El ajuste en los sectores con *mark-up* en principio tiene lugar mediante cambios en los niveles de producción ( $X_j$ ); por lo tanto, los precios son determinados siguiendo la regla del *mark-up*.

$P_j = (1+tx_i_j).(1+\tau_j).[\sum PD_{i,a_{i,j}} + w.b_j]$  Funciones precio para los sectores con *mark-up* (3).

$L_j = \beta_{LB,j} \cdot X_j$  Demanda de mano de obra en el sector j (3).

$M_j = a_{MP,j} \cdot X_j$  Demanda e insumos intermedios importados (3).

$\Gamma_j = (\tau_j / ((1+\tau_j).(1+tx_i_j))) \cdot (X_j / (KU+KP))$  Rentabilidad del capital físico total en el sector j (4).

$ru_j = \frac{[(\phi_{u,j} \cdot KU) / (\phi_{u,j} \cdot KU + \phi_{c,j} \cdot KC)]}{[(KU+KC)/KU] \cdot \Gamma_j}$  Determinación de la rentabilidad sectorial del capital no corporativo (donde  $\phi_{u,j}$  es el coeficiente utilidades/capital no corporativos en el sector j) (4).

$rc_j = \frac{[(\phi_{c,j} \cdot KC) / (\phi_{u,j} \cdot KU + \phi_{c,j} \cdot KC)]}{[(KU+KC)/KC] \cdot \Gamma_j}$  Determinación de la rentabilidad del capital corporativo (4).

## 5. Distribución del ingreso

### 5.1 Distribución factorial del ingreso

$Y_{LB} = \sum w.L_j + e.NFP$  Ingreso del factor trabajo (salarios y remesas del exterior) (1).

$Y_{UP} = \sum (ru_j \cdot P_j \cdot KU)$  Ingreso por utilidades no corporativas (1).

$Y_{CP} = \sum (rc_j \cdot P_j \cdot KC)$  Ingreso por utilidades corporativas (1).

### 5.2 Distribución institucional del ingreso

$GY_k = [\gamma_k \cdot K_k / (\sum \gamma_k \cdot K_k)] \cdot Y_{CP}$  La distribución de las utilidades corporativas a las instituciones k (k = EC y EP) se realiza de acuerdo con sus respectivas dotaciones de capital físico (donde  $\gamma_k$  es la relación utilidades/capital para el agente k) (2).

## 6. Tasas de retorno para los diferentes activos

En el modelo se identifican cinco tipos de activos/pasivos, cada uno de ellos con una tasa de retorno distinta (excepto el circulante): (1) capital físico (K); (2) activos y pasivos del gobierno (incluidos los bonos y letras del gobierno, depósitos en él y créditos del Banco Central); (3) circulante (billetes y monedas) (CU); (4) activos y pasivos privados (incluidos los depósitos en y los créditos del sistema financiero privado; y (5) activos y pasivos externos (incluidos los depósitos en el exterior y la deuda externa).

Con el objeto de “calibrar” el modelo, las rentabilidades de los distintos activos y pasivos se expresan como *índices*, el valor de los cuales en el año base es igual a uno; por lo tanto:

### 6.1 Tasas de rentabilidad básicas

$$rpc_c = [1 + ((\sum rc_j.P_j)/\sum P_j)] / [1 + ((\sum rcO_j.PO_j)/\sum PO_j)]$$

Rentabilidad del capital físico corporativo (1).

$$rpc_u = [1 + ((\sum ru_j.P_j)/\sum P_j)] / [1 + ((\sum ruO_j.PO_j)/\sum PO_j)]$$

Rentabilidad del capital físico no corporativo (1).

$$rg = (1+ia)/(1+ia0)$$

Rentabilidad de los activos y pasivos del sector público (bonos y letras del gobierno, créditos del Banco Central) (ia = tasa de interés administrada) (1).

$$rp = (1+i)/(1+i0)$$

Rentabilidad de los activos y pasivos privados (depósitos en y créditos de los bancos comerciales) (i = tasa de interés determinada en el mercado) (1).

$$re = (1+i^*)/(1+i0^*)$$

Rentabilidad de los activos y pasivos externos (esto es: depósitos en el exterior, reservas bancarias y deuda externa) (1).

### 6.2 Asignación de las tasas de retorno básicas a las distintas transacciones financieras y al capital físico

$$rf_{RM,k} = (e/e_{t-1}).re$$

El tipo de cambio oficial (e) se aplica a todos los pasivos externos de todas las agentes (por ejemplo, deuda externa) (9).

$$rf_{k,RM} = (e/e_{t-1}).re$$

y para los activos externos de todos los agentes (reservas bancarias, depósitos en el exterior) (8).



$$rf_{ks,k} = rg$$

rg se aplica a los pasivos de las instituciones gubernamentales (por ejemplo, certificados de depósito del Banco Central, letras del gobierno) (ks = GB y BC) (16).

$$rf_{k,kx} = rp$$

rp se aplica a los pasivos de las instituciones privadas no financieras y financieras (por ejemplo, depósitos bancarios) (kx = HH, EC y EP, BP, BE y FP) (48).

$$rk_{HH} = rpc_u$$

la tasa de retorno del capital no corporativo se aplica a la inversión de los hogares en capital físico (1).

$$rk_{kk} = rpc_c$$

la tasa de retorno del capital corporativo se aplica para la inversión de las compañías, empresas públicas y el gobierno (3).

### 6.3 Rentabilidad promedio ponderada del portafolio de cada uno de los agentes

$$ra_{kw} = [\sum \alpha_{kw,k} \cdot (rf_{kw,k})^{\sigma_k}]^{(1/\sigma_k)}$$

Rentabilidad ponderada del portafolio de las instituciones financieras y del sector externo (kw = RM, BC, BP, BE y FP) (5).

$$ra_{kd} = [\sum \alpha_{kd,k} \cdot (rf_{kd,k})^{\sigma_k} + \alpha_{k,K} \cdot (rk_{kd})^{\sigma_k}]^{(1/\sigma_k)}$$

Rentabilidad promedio del portafolio de las instituciones no financieras (kd = HH, EC, EP y GB) (4).

## 7. Balances de acumulación sectoriales comunes

Todos los agentes económicos mantienen un balance entre sus stocks, por un lado de sus activos, y por el otro de sus pasivos y patrimonio neto.

$$ASS_k \equiv LBT_k + WTH_k$$

Balance (8).

Los distintos comportamientos de los agentes en sus procesos de acumulación se modelan al diferenciarse la forma en la que cierran los distintos balances de acumulación de los agentes. Para aquellos sectores en los cuales el enfoque de “inversión determina el ahorro” se aplica (compañías, empresas públicas y el gobierno),  $ASS_k$  es determinado completamente por los agentes (dentro de su balance de acumulación); esto implica que al menos una de las variables en el lado derecho del balance de acumulación ( $LBT_k$ ) será el cierre del balance. Contrariamente, para el ajuste del balance de los hogares, donde rige el principio de “ahorro determina la inversión”,  $LBT_{HH}$  es determinado fuera del control de los hogares (esto es: en el balance de otros agentes); por lo tanto, una de las variables dentro de  $ASS_{HH}$  debe ser la que cierre el balance de los hogares (es decir: la inversión de HH).

## 7.1 Cierres de los balances para las instituciones no financieras ( $kd = HH, EC, EP$ y $GB$ )

### 7.1.1 Activos

$$ASS_{kd} \equiv \sum AA_{kd,l} + KN_{kd} \quad \text{Estructura de activos (4).}$$

$$KN_{kd} \equiv KN_{kd(t-1)} + IN_{kd} + STK_{kd} \quad \text{Definición del capital físico en términos nominales (4).}$$

$$IN_{kd} \equiv \sum (\lambda_{i,k} \cdot PD_{kd}) \cdot IR_{kd} \quad \text{Inversión en términos nominales (4).}$$

$$K_{kd} \equiv (1-dr) \cdot K_{kd(t-1)} + IR_{kd} \quad \text{Stock de capital físico mantenido por cada agente al final del período (dr = tasa de depreciación) (4).}$$

### 7.1.2 Pasivos

$$LBT_{kd} \equiv \sum AA_{K,kd} \quad \text{Estructura de pasivos (4).}$$

### 7.1.3 Patrimonio neto

$$WTH_k \equiv WTH_{k(t-1)} + SV_k + REV_k \quad \text{Definición de patrimonio neto (4).}$$

$$REV_k = \frac{(e - e_{t-1})}{e_{t-1}} \cdot \sum (AA_{k,L(t-1)} - AA_{L,k(t-1)}) \quad \text{Revalorización del patrimonio de los HH, EC, EP y GB (4).}$$

## 7.2 Cierres de los balances para las instituciones financieras ( $k = BC, BP, BE$ y $FP$ )

### 7.2.1 Activos

$$ASS_{kb} \equiv \sum AA_{kb,K} \quad \text{Estructura de activos (4).}$$

### 7.2.2 Pasivos

$$LBT_{kb} \equiv \sum AA_{K,kb} \quad \text{Estructura de pasivos (4).}$$

### 7.2.3 Patrimonio neto

$$WTH_{kb} \equiv WTH_{kb(t-1)} + REV_{kb} \quad \text{Definición de patrimonio neto (4).}$$

$$REV_{kb} = ((e - e_{t-1}) / e_{t-1}) \cdot \Sigma(AA_{kb,L(t-1)} - AA_{L,kb(t-1)})$$

Revalorización neta de los *stocks* de activos y pasivos de las instituciones financieras k (4).

### 7.3 Sector externo

#### 7.3.1 Activos

$$ASS_{RM} \equiv \Sigma AA_{RM,I}$$

Estructura de activos (1).

#### 7.2.2 Pasivos

$$LBT_{RM} \equiv \Sigma AA_{I, RM}$$

Estructura de pasivos (1).

#### 7.2.3 Patrimonio neto

$$WTH_{RM} \equiv WTH_{RM(t-1)} + SAV_{RM} + REV_{RM}$$

Definición de patrimonio neto (1).

$$REV_{RM} = ((e - e_{t-1}) / e_{t-1}) \cdot \Sigma(AA_{RM,L(t-1)} - AA_{L,RM(t-1)})$$

Revalorización de los activos y pasivos externos (1).

## 8. Balance de los hogares (HH)

### 8.1 Ingresos y ahorro de los hogares

$$GY_{HH} = \Omega_{LB,HH} \cdot Y_{LB} + Y_{UP} + DIV_{HH} + CT_{GB,HH}$$

Ingreso bruto de los hogares, incluidos el ingreso salarial, las utilidades no corporativas, las utilidades distribuidas (DIV) y las transferencias corrientes recibidas (CT<sub>GB,HH</sub>) del gobierno (1).

$$YD_{HH} = (1 - tx_{d,HH}) \cdot GY_{HH} - CT_{HH,EC}$$

Ingreso disponible de los hogares después de impuestos y transferencias corrientes a las compañías (CT<sub>HH,EC</sub>) (esto es: pago de intereses) (1).

$$CT_{HH,EC} = rf_{EC,HH} \cdot \xi_{h,EC} \cdot AA_{BP,HH(t-1)}$$

Pago de intereses de los hogares a las compañías por concepto de deudas contraídas (es decir: con los bancos privados) (1).

$$SH_{HH} = \Lambda_1 \cdot YD_{HH} - \Lambda_2 \cdot (WTH_{HH(t-1)} + REV_{HH})$$

Ahorros de los hogares, determinados como un intento de ajuste incompleto por parte de los hogares de adaptar su patrimonio neto a una proporción  $\Lambda_1$  de sus ingresos disponibles ( $\Lambda_1 > 0$ ; y  $\Lambda_2 < 0$ ) (1).

$$NC_{HH} = YD_{HH} - SH_{HH}$$

Consumo nominal de los hogares como una función de su ingreso disponible (1).

$$C_{i,HH} = \Theta_{i,HH} + \mu_{i,HH} \cdot ((NC_{HH} - \sum PD_i \cdot \Theta_{i,HH}) / PD_i)$$

Función de demanda tipo LES (incluido el consumo de bienes importados), donde:  $\Theta_{i,h}$  es el nivel base de consumo de bienes y servicios  $i$ ; y  $\mu_{i,HH}$  son las participaciones en el presupuesto marginal (8).

## 8.2 Determinación del portafolio

$$AA_{HH,k} = \alpha_{HH,k} \cdot (rf_{HH,k} / ra_{HH})^\sigma \cdot ASS_{HH}$$

Los hogares pueden determinar la composición de sus activos. La demanda de activos financieros de los HH se determina mediante este conjunto de ecuaciones. La demanda de activos físicos de los hogares es implícitamente determinada y no necesita ser especificada explícitamente (9).

## 9. Balance de las compañías (EC)

El comportamiento del balance de acumulación de las compañías depende en forma crítica de su acumulación de capital físico, que está determinada por la función demanda de inversión de las ECs ( $IR_{EC}$ ) que depende del nivel de actividad económica (el factor acelerador).

### 9.1 Ingreso y ahorro de las compañías

$$YBT_{EC} = GY_{EC} + CT_{HH,EC} + CT_{EP,EC} + CT_{GB,EC} - DIV_{HH} - CT_{EC,RM}$$

Ingreso de las compañías antes de impuestos (1)

$$DIV_{HH} = \zeta_{HH} \cdot GY_{EC}$$

Dividendos distribuidos a los hogares, como función de las utilidades brutas de las compañías (1).

$$CT_{EC,RM} = rf_{RM,EC} \cdot \xi_{EC,RM} \cdot \sum AA_{RM,kc(t-1)}$$

Pago de intereses debido a la deuda externa de las compañías (1).

$$SV_{EC} = YBT_{EC} - txd_{EC} \cdot GY_{EC}$$

Ahorro de las compañías (1).

## 9.2 Determinación del portafolio de las compañías

$$AA_{EC,k} = (\alpha_{EC,k}/\alpha_{EC,k}).(rf_{EC,k}/rk_{EC})^\sigma \cdot ASS_{EC}$$

Las corporaciones pueden determinar la composición de sus activos. La demanda de activos financieros de las EC se determina mediante este conjunto de ecuaciones. La demanda de activos físicos de las corporaciones es implícitamente determinada y no necesita ser especificada explícitamente (9).

## 10. Balance de acumulación de las empresas públicas (EP)

Como en el caso de las compañías, el comportamiento del balance de acumulación de las empresas públicas depende en forma crucial de la inversión de las EP y de su acumulación de capital físico.

### 10.1 Ingreso y ahorro de las empresas públicas

$$YBT_{EP} = GY_{EP} + e.CT_{RM,EP} - CT_{EP,HH} - CT_{EP,RM}$$

Ingreso de las EP antes de impuestos (1).

$$CT_{EP,EC} = rf_{BP,EP} \cdot \xi_{EP,EC} \cdot \Sigma \Sigma AA_{kc,kg}$$

Las transferencias corrientes de las empresas estatales (esto es: empresas públicas y Banco Central [kg]) a las compañías (es decir: empresas y bancos privados [kc]) comprenden principalmente el pago de intereses (1).

$$CT_{EP,RM} = rf_{RM,EP} \cdot \xi_{EP,RM} \cdot \Sigma AA_{RM,kg}$$

El pago de intereses debido a la deuda externa de las empresas públicas (1).

$$SV_{EP} = YBT_{EP} - txd_{EP} \cdot GY_{EP}$$

Ahorro de las empresas públicas (1).

### 10.2 Demanda de inversión

$$IR_{EP} = \overline{IR}_{EP}$$

La función de inversión para las EP está dada por la inversión programada para las empresas públicas como parte de la política pública (1).

### 10.3 Determinación del portafolio de las empresas públicas

$$AA_{EP,k} = (\alpha_{EP,k}/\alpha_{EP,k}).(rf_{EP,k}/rk_{EP})^\sigma \cdot KN_{EP}$$

La estructura de portafolio financiero de las EP se determina en función del *stock* de capital físico de las mismas ( $KN_{EP}$ ) (8).

## 11. Balance del gobierno

Como en los dos casos anteriores, el balance de acumulación del gobierno está determinado por el comportamiento de la inversión y de la acumulación de capital físico.

### 11.1 Ingresos y ahorro del gobierno

$$SV_{GB} = GRV - GEX$$

Los ahorros del gobierno se determinan como la diferencia entre sus ingresos y gastos corrientes (1).

$$\begin{aligned} GRV = & \sum (tx_{ij} / (1 + tx_{ij})) \cdot P_j \cdot X_j \\ & + tx_{m.cif.e.P^*} \cdot M \\ & + tx_{d_{HH}} \cdot GY_{HH} + tx_{d_{EC}} \cdot GY_{EC} \\ & + tx_{d_{EP}} \cdot GY_{EP} + e \cdot CT_{RM,GB} \end{aligned}$$

Ingresos del gobierno (1).

$$\begin{aligned} GEX = & PD_{SM} \cdot G + CT_{GB,HH} \\ & + CT_{GB,EC} + CT_{GB,RM} \end{aligned}$$

Gastos del gobierno (1).

$$CT_{GB,HH} = \Psi_{HH} \cdot PD_{SM} \cdot G$$

Transferencias corrientes a los hogares (1).

$$CT_{GB,EC} = \Psi_{EC} \cdot PD_{SM} \cdot G$$

Transferencias corrientes a las empresas corporativas (1).

$$CT_{GB,RM} = r_{f_{RM,GB}} \cdot \xi_{GB,RM} \cdot AA_{RM,GB}$$

Pagos de intereses debido a la deuda externa del gobierno (1).

### 11.2 Demanda de inversión

$$IR_{GB} = \overline{IR}_{GB}$$

La función de inversión para el GB está dada por la inversión programada para el gobierno como parte de la política pública (1).

### 11.3 Determinación del portafolio del gobierno

$$AA_{GB,k} = (\alpha_{GB,k} / \alpha_{GB,K}) \cdot (r_{f_{GB,k}} / r_{k_{GB}})^\sigma \cdot KN_{GB}$$

La composición del portafolio de activos del GB se determina en base al nivel de *stock* de capital físico del gobierno ( $KN_{GB}$ ) (9).

## 12. Bancos comerciales (BP)

$$AA_{BP,ka} = \alpha_{BP,ka} \cdot (r_{f_{BP,ka}} / r_{a_{BP}})^\sigma \cdot ASS_{BP}$$

Como fue explicado anteriormente, los BP tienen control sobre todos sus activos excepto sobre el crédito a las compañías ( $AA_{BP,EC}$ ) y al

gobierno ( $AA_{BP,GB}$ ), los cuales son implícitamente determinados en el cierre del balance de acumulación de las EC y del GB. El pasivos de los BP son determinados por decisiones de portafolio de los demás agentes ( $ka =$  todos los agentes excepto EC y GB) (7).

### 13. Bancos especializados (BE)

$$AA_{BE,ka} = \alpha_{BE,ka} \cdot (rf_{BE,ka}/ra_{BE})^\sigma \cdot ASS_{BE}$$

Al igual que los BP, los BE no pueden determinar el nivel de los fondos prestables disponibles, pero sí deciden sobre la estructura de su portafolio. En este sentido, la variable de ajuste es el crédito a los hogares ( $AA_{BE,HH}$ ) ( $ka =$  todos los agentes excepto HH) (8).

### 14. Fondos de pensiones (FP)

$$AA_{FP,kq} = \alpha_{FP,kq} \cdot (rf_{FP,kq}/ra_{FP})^\sigma \cdot ASS_{FP}$$

Los fondos de pensiones invierten su portafolio en activos domésticos (bonos del gobierno, CD del Banco Central, certificados de depósitos) y activos externos. Sin embargo, la colocación de recursos en bonos del gobierno es determinada por este último. (7).

### 15. Banco Central (BC)

$$AA_{BC,kq} = \alpha_{BC,kq} \cdot (rf_{BC,kq}/ra_{BC})^\sigma \cdot ASS_{BC}$$

Como se expuso anteriormente, el BC puede determinar la composición de su portafolio en forma parcial, ya que el crédito al gobierno y a las empresas estatales es determinado previamente dentro del balance de estos agentes. ( $kq =$  HH, EC, BP, BC, BE, FP y RM) (7).

### 16. Balance externo

#### 16.1 Cuenta corriente

$$SV_{RM} = RMRV - RMEX$$

Ahorro externo (saldo en la cuenta corriente de la balanza de pagos) (1).

$$RMRV = m.e.PW_{MP} \cdot IMP + \sum CT_{k,RM} + \Omega_{LB,RM} \cdot Y_{LB}$$

Pagos al resto del mundo (1).

$$RMEX = \sum PE_i \cdot E_i + e.NFP + e.\sum CT_{RM,k}$$

Pagos provenientes del resto del mundo (1).

## 16.2 Cuenta de capital

$$AA_{RM,k} = (e/e_{t-1}) \cdot AA_{RM,k(t-1)} + e \cdot \Delta F_k$$

Los activos del RM equivalen a los pasivos externos de la economía. Los flujos de capitales del período ( $\Delta F$ ) son determinados exógenamente (9).

## 17. Cambio de existencias

$$\Delta SK_i = \Phi_i \cdot X_i$$

Los cambios de *stock* por actividades dependen de los niveles de producción de cada sector ( $i$  = todos los sectores productivos menos las importaciones) (10).

$$\Delta SK_{MP} = \Phi_{MP} \cdot (\Sigma M_j + \Sigma C_{MP,h} + \Sigma \Theta_{MP,k} \cdot IR_k)$$

Los cambios de *stock* para las importaciones dependen del total de importaciones (1).

$$\Delta STK_k = \gamma_k \cdot \Sigma PD_i \cdot SK_i$$

Los cambios de *stock* son asignados a los agentes de acuerdo con una proporción fija  $\gamma_k$  (4).

## 18. Mercado laboral

$$w = cw_0 + cw_1 \cdot CPI - cw_2 \cdot U + cw_3 \cdot w_{t-1}$$

La tasa nominal de salario es una función del índice de precios al consumidor (CPI), la tasa de desempleo ( $U$ ) y la tasa salarial en el período anterior ( $w_{t-1}$ ) (1).

$$TLD = \Sigma \lambda_i \cdot L_i$$

Demanda total de mano de obra (1).

$$TLS = TLS_0 \cdot (1+n)^t$$

Oferta de mano de obra (1).

$$U = (TLS - TLD) / TLS$$

Tasa de desempleo (1).

$$CL = TLS - \Sigma \lambda_{iq} \cdot L_{iq}$$

Oferta de trabajo máxima a los sectores *mark-up* ( $iq$  = sectores con funciones de producción) (1).



## A2.3 Lista de variables, parámetros y coeficientes

### 1. Variables endógenas

Existen 407 variables endógenas:

#### Variable Nro. de casos

$X_i$	10	producción total por actividad.
$XD_i$	10	absorción interna.
$E_i$	10	exportaciones por actividad.
$P_i$	10	precio compuesto por actividad.
$PE_i$	10	precio de exportación por actividad.
$PD_i$	8	precio doméstico por actividad y para bienes importados.
KC	1	<i>stock</i> de capital corporativo.
KU	1	<i>stock</i> de capital no corporativo.
$K_k$	4	<i>stock</i> de capital por agente.
$ru_i$	10	rentabilidad del capital no corporativo por actividad.
$rc_i$	10	rentabilidad del capital corporativo por actividad.
$L_i$	10	empleo por actividad.
$M_i$	10	demanda de insumos importados por actividad.
$\Gamma_i$	10	rentabilidad del capital por actividad.
$\tau_i$	4	tasa de <i>mark-up</i> por actividad.
$Y_f$	3	ingreso total por categoría de factor de producción.
$GY_k$	2	asignación de utilidades corporativas a instituciones.
$rpc_f$	2	rentabilidad por categoría de capital físico.
rg	1	rentabilidad de bonos públicos.
rp	1	rentabilidad de activos domésticos privados.
re	1	rentabilidad de activos externos.
$rf_{k,l}$	81	rentabilidad de activos financieros.
$rk_k$	4	rentabilidad del capital por agente.
$ra_k$	9	rentabilidad promedio del portafolio por agente.
$ASS_k$	9	activos totales por agente.
$LBT_k$	9	pasivos totales por agente.
$WTH_k$	9	patrimonio total por agente.
$KN_k$	4	valor nominal del capital físico por agente.
$AA_{k,l}$	81	activos financieros emitidos por el agente l y demandados por el agente k.
$IN_k$	4	inversión nominal por el agente k.
$IR_k$	4	inversión real por el agente k.
$SV_k$	5	ahorro del agente k.
$REV_k$	9	revalorización neta de activos por agente.
$GY_{HH}$	1	ingresos brutos de los hogares.
$YD_{HH}$	1	ingreso disponible de los hogares.
$NC_{HH}$	1	consumo nominal de los hogares.
$C_{HH,i}$	8	consumo real de bienes y servicios por los hogares.
$YBT_k$	2	ingreso de las compañías antes de impuestos (CR y EP).
$DIV_{HH}$	1	dividendos distribuidos a los hogares.

$CT_{k,l}$	17	transferencias corrientes del agente k al agente l.
$IRF_k$	3	demanda de inversión por agente.
$GRV$	1	ingresos del gobierno.
$GEX$	1	gastos del gobierno.
$G$	1	consumo final del gobierno.
$RMRV$	1	ingresos del resto del mundo.
$RSEX$	1	gastos del resto del mundo.
$\Delta SK_i$	8	variación de inventarios por tipo de bien
$STK_k$	4	variación de inventario por agente.
$w$	1	tasa de salario nominal.
$TLD$	1	demanda total de trabajo.
$TLS$	1	oferta total de trabajo.
$U$	1	tasa de desempleo.

## 2. Variables exógenas

$E$	1	tipo de cambio.
$PW_i$	7	precio mundial de bienes.
$RFA$	1	remesas del exterior.
$ia$	1	tasa de interés de los bonos del gobierno.
$i$	1	tasa de interés interna.
$i^*$	1	tasa de interés externa.
$\Delta F_k$	6	flujo de capitales recibido por el agente $k$ en el período.
$CT_{RM,k}$	1	transferencias corrientes del exterior.
$MIRES$	1	nivel de reservas internacionales mínimo (objetivo).
$K_{k(t-1)}$	4	<i>stock</i> de capital al comienzo del período.
$WTH_{k(t-1)}$	8	patrimonio neto por agente al comienzo del período.
$AA_{RM,k(t-1)}$	6	deuda externa por agente.
$e_{(t-1)}$	1	tipo de cambio en el período anterior.
$IR_{EC(t-1)}$	1	inversión por agente en el período anterior.
$w_{t-1}$	1	salario nominal en el período anterior.

## 3. Parámetros

$\eta_i$	7	elasticidad de exportación por actividad.
$\lambda_{i,k}$	28	coeficientes de inversión por agente y por tipo de bien.
$\rho_i$	2	elasticidad de sustitución constante entre factores de producción entre las actividades con función de producción.
$a_{i,j}$	42	coeficientes de insumo-producto.
$b_i$	6	coeficientes trabajo-producto por rama de actividad.
$tx_i$	6	tasa de impuestos indirectos por actividad.
$\tau_{i0}$	4	tasa de <i>mark-up</i> en el año base en los sectores de <i>mark-up</i> .
$\phi_{u,j}$ y $\phi_{c,j}$	12	coeficientes utilidad-capital para el capital corporativo y no corporativo.
$\gamma_k$	4	coeficiente utilidad-capital por agente económico.
$\alpha_{k,l}$	64	coeficientes de estructura de portafolio por agente económico.
$\sigma_k$	7	elasticidades de sustitución de portafolio por agente económico.
$txd_k$	4	tasa de impuestos al ingreso.
$\Lambda_{h,1}$ y $\Lambda_{h,2}$	2	propensión a ahorrar de los ingresos y de patrimonio para los hogares.
$\Theta_{i,h}$	21	consumo básico de los hogares por tipo de bien.
$\mu_{i,h}$	21	participaciones marginales de presupuesto por tipo de bien.
$\xi_{k,l}$	8	tasa de interés implícita por agente.
$\zeta_h$	3	coeficiente de distribución de utilidades a los hogares.
$\Psi_h$	3	transferencias corrientes a los hogares como porcentaje de los gastos del gobierno.







[www.iadb.org/cambioclimatico](http://www.iadb.org/cambioclimatico)  
Síguenos en twitter @BIDcambioclima