

REVISTA
LATINOAMERICANA
DE

DESARROLLO ECONÓMICO

Latin American Journal of Economic Development

Número 22

Instituto de Investigaciones Socio Económicas
Universidad Católica Boliviana San Pablo

Noviembre 2014

Lykke E. Andersen
Jonah Busch
Elizabeth Curran
Juan Carlos Ledezma
Joaquín Mayorga
Pablo Ruiz

Impactos socioeconómicos y ambientales de compensaciones por la reducción de emisiones de deforestación en Bolivia: resultados del modelo OSIRIS-Bolivia

Lykke E. Andersen
Dorte Verner

Social Impacts of Climate Change in Bolivia: A municipal level analysis of the effects of recent climate change on life expectancy, consumption, poverty and inequality

Carlos Díaz Valdivia

The Role of EU-ETS Mechanism as Environmental Investment Promoter in Europe and Developing Countries

Javier Aliaga Lordemann
Alejandro Herrera Jiménez

Energy-mix Scenarios for Bolivia

Blanca Rivero Lobo
Javier Aliaga Lordemann

Disponibilidad, consumo y utilización biológica de alimentos en Bolivia: análisis y perspectivas (1990-2030)



Revista indexada a Revistas Bolivianas, Latindex y SciELO Bolivia
ISSN: 2074 - 4706

REVISTA LATINOAMERICANA DE

DESARROLLO ECONÓMICO

Latin American Journal of Economic Development

Número 22

Noviembre 2014

Mgr. Marco Antonio Fernández
Rector Nacional

Dr. Jesús Muñoz Díaz
Vicerrector Académico Nacional

Mgr. Marcela Nogales Garrón
Vicerrectora Administrativa Financiera Nacional

Dr. Marcelo Villafani Ibarnegaray
Rector Regional Unidad La Paz

Dr. Alejandro F. Mercado
Decano Facultad de Ciencias Económicas y Financieras

Director IISEC

Javier Aliaga Lordemann, Universidad Católica Boliviana "San Pablo", La Paz - Bolivia, jaliaga@ucb.edu.bo

Editores

Alejandro Herrera, Universidad Católica Boliviana "San Pablo", La Paz - Bolivia, aherreraj@ucb.edu.bo

Horacio Villegas, Universidad de Chile; Universidad Católica Boliviana "San Pablo", La Paz - Bolivia, horaciiovq@gmail.com

Comité Editorial Interno

Alejandro Mercado, Universidad Católica Boliviana "San Pablo", La Paz - Bolivia, amercado@ucb.edu.bo

Enrique García Ayaviri, Academia Boliviana de las Ciencias Económicas, La Paz - Bolivia, psucaj@hotmail.com

Tirza Aguilar, Universidad Católica Boliviana "San Pablo", La Paz - Bolivia, tirza@ucb.edu.bo

Consejo Editorial Internacional

Ángel Mauricio Reyes Ph.D, Universidad de Zaragoza; Asesor del Gobierno de México, México.

Bernardo Fernández Ph.D, Glasgow University; Maestrías para el Desarrollo UCB, Bolivia.

Carlos Gustavo Machicado Ph.D, Universidad de Chile; Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo (INESAD), Bolivia.

Diego Escobari Ph.D, Texas A&M University; Department of Economics - University of Texas - Pan American, Estados Unidos.

Gover Barja Ph.D, Utah State University; Maestrías para el Desarrollo UCB, Bolivia.

Gustavo Canavire Ph.D, Georgia State University, Departamento de Economía - Universidad EAFIT, Colombia.

Mauricio Vargas Ph.D, Universidad de Chile; Fondo Monetario Internacional, Estados Unidos.

Juan Antonio Morales Ph.D, Universidad Católica de Lovaina; Maestrías para el Desarrollo UCB, Bolivia.

Lykke Andersen Ph.D, University of Aarhus; Center for Environmental-Economic Modeling and Analysis (CEEMA-INESAD), Bolivia.

Mauricio Tejada Ph.D, Georgetown University; Departamento de Economía - ILADES-Universidad Alberto Hurtado. Chile.

Miguel Urquiola Ph.D, University of California Berkeley; Department of Economics - Columbia University, Estados Unidos.

Rómulo Chumacero Ph.D, Duke University; Departamento de Economía - Universidad de Chile. Chile.

Sergio Salas Ph.D; University of Chicago; Asesor Ministerio de Hacienda del Gobierno de Chile, Chile.

Werner Hernani Ph.D, University of Pennsylvania; Fundación ARU, Bolivia.

Responsable de edición:

Iván Vargas

Diagramación:

Jorge Dennis Goytia Valdivia

Impresión:



Tiraje: 200 ejemplares

Depósito Legal: 4 - 3 - 76 - 03

ISSN: 2074-4706

Todos los derechos reservados

Instituto de Investigaciones Socio Económicas

Av. 14 de Septiembre N° 5369

Obrajes, La Paz, Bolivia

Tel.: 278 7234. Fax: 2784159

Casilla: 4850. Correo central.

e-mail: iisec@ucb.edu.bo

www.iisec.ucb.edu.bo

CONTENIDO

Presentación..... 5

Lykke E. Andersen, Jonah Busch, Elizabeth Curran, Juan Carlos Ledezma, Joaquín Mayorga y Pablo Ruiz

Impactos socioeconómicos y ambientales de compensaciones por la reducción de emisiones de deforestación en Bolivia: resultados del modelo OSIRIS-Bolivia..... 7

Lykke E. Andersen y Dorte Verner

Social Impacts of Climate Change in Bolivia: A municipal level analysis of the effects of recent climate change on life expectancy, consumption, poverty and inequality..... 49

Carlos Díaz Valdivia

The Role of EU-ETS Mechanism as Environmental Investment Promoter in Europe and Developing Countries..... 85

Javier Aliaga Lordemann y Alejandro Herrera Jiménez

Energy-mix Scenarios for Bolivia 135

Blanca Rivero Lobo y Javier Aliaga Lordemann

Disponibilidad, consumo y utilización biológica de alimentos en Bolivia: análisis y perspectivas (1990-2030)..... 161

Presentación

La relevancia de los aspectos medioambientales en el análisis económico y el impacto del cambio climático sobre la producción y las relaciones socioeconómicas, generan en la actualidad vasta literatura en el campo de la ciencia económica. En consecuencia, el Instituto de Investigaciones Socio-Económicas (IISEC) de la Universidad Católica Boliviana “San Pablo”, tiene la satisfacción de presentar el vigésimo segundo número de la Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico (LAJED), que en este número especial presenta cinco documentos de investigación bajo la temática de cambio climático, medio ambiente y energía.

El documento “Social Impacts of Climate Change in Bolivia: A municipal level analysis of the effects of recent climate change on life expectancy, consumption, poverty and inequality”, analiza evidencia sobre el cambio climático en Bolivia durante los últimos sesenta años. Se realizan estimaciones sobre los probables efectos de estos cambios en los niveles de esperanza de vida y de consumo en los municipios del país. Las simulaciones presentadas por los autores sugieren que el cambio climático del periodo de análisis contribuyó a un aumento de la desigualdad y la pobreza en el país.

Por su parte, el documento “Impactos socioeconómicos y ambientales de compensaciones por la reducción de emisiones de deforestación en Bolivia: resultados del modelo OSIRIS-Bolivia” introduce un modelo econométrico-espacial con el fin de crear una base cuantitativa, capaz de responder a preguntas como: ¿cuántos recursos se necesita para reducir la deforestación en un determinado porcentaje?, ¿cuáles son los potenciales problemas de reducir las emisiones de la deforestación y la degradación de los bosques?

En el documento “The Role of EU-ETS Mechanism as Environmental Investment Promoter in Europe and Developing Countries”, se provee una interpretación alternativa del rol que juega el mercado de bonos de carbono europeo como gestor de inversión privada en medioambiente. Los resultados presentados por el autor muestran que la firma del Protocolo de Kyoto en el año 1997 otorgó incentivos perversos hacia las inversiones privadas en medioambiente hasta el año 2004.

En el documento titulado “Energy Mix Scenarios for Bolivia” se establece que Bolivia no cuenta con autarquía ni seguridad energética plena, puesto que la estructura de la matriz energética nacional estaría desorganizada. Los autores analizan la evolución de la tendencia de la matriz energética de Bolivia y proponen escenarios de mitigación basados en la reducción del consumo de hidrocarburos líquidos y la introducción de energías renovables y medidas de eficiencia energética en el sistema eléctrico nacional.

Finalmente, el documento “Disponibilidad, consumo y utilización biológica de alimentos en Bolivia: análisis y perspectivas (1990-2030)”, evalúa cuatro dimensiones de la seguridad alimentaria para Bolivia. Al comparar la oferta de grupos alimentarios con los requerimientos nutricionales mínimos para la población boliviana, los autores encuentran brechas en los grupos de frutas y verduras, proteínas y carbohidratos.

El IISEC agradece el apoyo y confianza depositados en el equipo de trabajo, por parte de las autoridades nacionales y regionales de la Universidad Católica Boliviana “San Pablo”, en especial al Gran Canciller y Presidente de la Junta Directiva, Mons. Jorge Herbas, al Magnífico Rector Nacional, Marco Antonio Fernández MEE, MM., al Vicerrector Académico Nacional, Dr. Jesús Muñoz, a la Vicerrectora Administrativo Financiera Nacional, Mgr. Marcela Nogales Administrativo-Financiera, al Rector de la Unidad Académica Regional La Paz, Dr. Marcelo Villafani, y al Decano de la Facultad de Ciencias Económicas y Financieras, Dr. Alejandro Mercado. Agradece también a los miembros del Consejo Editorial Internacional y a los miembros de la Academia Boliviana de Ciencias Económicas, de forma especial a su presidente, Dr. Enrique García Ayaviri. Sin duda alguna, el mayor agradecimiento va dirigido a los autores, que con su labor intelectual permiten la publicación de esta revista.

Editor LAJED

Impactos socioeconómicos y ambientales de compensaciones por la reducción de emisiones de deforestación en Bolivia: resultados del modelo OSIRIS-Bolivia

Environmental and socio-economic consequences of forest carbon payments in Bolivia: Results of the OSIRIS-Bolivia model

*Lykke E. Andersen**

*Jonah Busch***

*Elizabeth Curran****

*Juan Carlos Ledezma*****

*Joaquín Mayorga******

*Pablo Ruiz******

Resumen:

Bolivia tiene un gran potencial para mitigar el cambio climático a través de la reducción de la deforestación. Mientras que las posibles complicaciones han sido intensamente debatidas, se ha realizado poco análisis cuantitativo al respecto. Introducimos el modelo OSIRIS-Bolivia, con el fin de crear una base cuantitativa para la toma de decisiones. OSIRIS-Bolivia es una herramienta en Excel capaz de analizar los efectos de los incentivos REDD en Bolivia.

* Directora del Centro de Economía y Medioambiente (CEEMA) del Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo (INESAD) e investigadora y docente de la Universidad Privada Boliviana (UPB). Contact: landersen@inesad.edu.bo.

** Center for Global Development, Washington, DC. Contact: jbusch@cgdev.org.

*** CEEMA-INESAD, San Francisco, USA. Contact: ehcurran@gmail.org.

**** Conservación Internacional – Bolivia. Contact: jledezma@conservation.org.

***** CEEMA-INESAD, La Paz, Bolivia. Contact: jmayorga@inesad.edu.bo.

***** University of California – San Diego, USA. Contact: pruijunco@gmail.com.

Esta herramienta está basada en un modelo econométrico-espacial de la deforestación en el periodo 2001-2005, y usa información sobre cobertura forestal, tasas de deforestación, condiciones geográficas, y causantes de la deforestación, **así** como los costos de oportunidad agrícolas, para más de 120.000 píxeles en todo el país. Se trata de un modelo de equilibrio parcial, en el sentido que toma en cuenta el hecho de que reducciones en la deforestación en un lugar causarán una reducción en la oferta de productos agrícolas, lo que a su vez hará subir los precios agrícolas y aumentará la presión para deforestar en otro lugar (fugas de carbono). El modelo nos puede ayudar a resolver preguntas como: ¿dónde es más probable que funcione REDD?, ¿cuánto dinero necesitamos para reducir la deforestación en cierto porcentaje?, ¿cuáles son los potenciales problemas de REDD?

Palabras clave: Deforestación, REDD, Bolivia, simulación, impactos.

Abstract:

Bolivia has significant potential to abate climate change by reducing deforestation. This opportunity presents economic and environmental tradeoffs. While these tradeoffs have been hotly debated, they have as yet been the subject of little quantitative analysis. We introduce the OSIRIS-Bolivia model to provide a quantitative basis for decision-making. OSIRIS-Bolivia is an Excel-based tool for analyzing the potential effects of incentive payments to reduce emissions from deforestation (REDD) in Bolivia. It is based on a spatial econometric model of deforestation in Bolivia during the period 2001-2005, and uses information on forest cover, deforestation rates, geographical conditions, and drivers of deforestation, including agricultural opportunity costs, for more than 120,000 pixels covering the whole country. OSIRIS-Bolivia is based on a partial equilibrium model in which reductions in deforestation in one region reduce the supply of agricultural products to the domestic market, which in turn causes an increase in the price of agricultural products, making conversion of land to agriculture more attractive and thus stimulating an increase in deforestation in other regions (leakage). The model can help answer questions such as: Where in Bolivia are carbon incentive payments most likely to result in reduced deforestation? Who are most likely to benefit from REDD? How much money will it take to reduce deforestation by a given amount? To what extent might transaction costs or preferences for agricultural income undermine the goals of the REDD program?

Keywords: Deforestación, REDD, Bolivia, simulación, impactos.

Clasificación/Classification JEL: Q21, Q56.

1. Introducción¹

Contando con 57 millones de hectáreas de bosque (FAO, 2010), Bolivia es el séptimo país del mundo en términos de extensión de bosque tropical y uno de los doce países con mayor biodiversidad terrestre (Ibisch y Mérida, 2003). Sin embargo, las tasas de deforestación se han incrementado rápidamente durante las últimas tres décadas, y más de 300.000 hectáreas de bosque se pierden anualmente (Killeen, Calderón, Soria, Quezada, Steining, Harper, Solórzano y Tucker, 2007; FAO, 2010), sobre todo debido a la expansión de la frontera agrícola (Killeen, Guerra, Calzada, Correa, Calderón, Soria, Quezada y Steining, 2008). Además, la tala de árboles (Pacheco, 2010) y los incendios incontrolados están degradando grandes áreas del bosque remanente. Más del 80% de la deforestación y tala en Bolivia es ilegal², contribuyendo poco a los ingresos impositivos del Gobierno (Jemio, 2011), al mismo tiempo que causa mucho daño al medioambiente local y global³, así como a las poblaciones indígenas⁴.

Dado el volumen de gases de efecto invernadero emitidos por la deforestación,⁵ Bolivia ha sido seleccionada tanto por el Programa Colaborativo de las Naciones Unidas para la reducción de las emisiones debidas a la deforestación y degradación de bosques (UN-REDD) como por el Fondo del Banco Mundial para reducir las emisiones mediante la protección de los bosques (FCPF); ambos han comprometido fondos destinados a preparar al país para un mecanismo internacional de incentivos con el objetivo de reducir las emisiones de la deforestación y la degradación de los bosques (REDD+). Asimismo, el país ha recibido fondos sustanciosos de fuentes bilaterales para ayudar en el proceso de preparación de REDD (principalmente de los gobiernos de Alemania, Dinamarca y Holanda).

Bolivia es, en muchos sentidos, un país pionero en iniciativas para reducir la deforestación. El primer intercambio de deuda-por-naturaleza en el mundo tuvo lugar en Bolivia (en

1 Esta investigación fue financiada por Conservación Internacional, la Fundación Gordon y Betty Moore, el programa ESPA (Ecosystem Services for Poverty Alleviation) (NERC grant no. NE/I003185/1), la Iniciativa Think Tank de IDRC, la Fundación de la Familia SWIFT y la Fundación de la FamiliaTrott. El modelo OSIRIS-Bolivia está disponible para descarga en www.conservation.org/OSIRIS.

2 Información de la Autoridad Boliviana de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierras (ABT).

3 La deforestación causa daños globales a través de las emisiones de CO₂ y daños locales a través de la pérdida de biodiversidad y aumento en los incendios (Andersen, 2002; Andersen, 2009).

4 La principal amenaza para las poblaciones indígenas es el asentamiento de colonos, que emplean la deforestación para reclamar los derechos de propiedad sobre las tierras (Roper, 2003).

5 De acuerdo con Ruesch y Gibbs (2008), el contenido medio de carbono medio es de 150 tC/ha, lo cual es equivalente a 550 tCO₂/ha. El uso alternativo de suelo contiene en promedio unos 10 tCO₂/ha, por lo tanto las emisiones anuales de la deforestación alcanzan $(550-10) * 300.000 = 162$ millones tCO₂/año.

1987). Asimismo, en 2005 Bolivia se convirtió en el primer país en conseguir reducciones de emisiones por deforestación verificadas gracias al proyecto voluntario de carbono forestal “Acción Climática Noel Kempff”. Además, más de 15 millones de hectáreas han sido declaradas áreas protegidas nacionales y unas 20 millones de hectáreas han sido registradas a nombre de varios pueblos indígenas (Bolivia, 2009)⁶. Aparte de estas áreas de conservación, existen muchas otras áreas declaradas como áreas protegidas departamentales, municipales y privadas. Además, el país ha participado de forma activa en las negociaciones internacionales de REDD desde su inicio en 2005 y ha sido uno de los primeros países en preparar su Plan de Actividades Preparatorias (R-PIN)⁷, aprobado por el FCPF en París en julio de 2008. Su documento UN-REDD fue aprobado en marzo de 2012 en Nairobi.

Si Bolivia pudiera reducir sus emisiones causadas por deforestación en un 25% respecto a sus niveles actuales, la compensación que podría recibir por su participación en el mecanismo REDD sería substancial. Asumiendo un valor conservador de carbono de 10 US\$/tCO₂, la compensación anual por un 25% de reducción en emisiones sería de más de 400 millones de dólares, superando el producto interno bruto del sector agrícola industrial⁸.

Sin embargo, el mecanismo REDD fue rechazado en la Conferencia Mundial de Pueblos sobre el Cambio Climático y Derechos de la Madre Tierra, celebrada en Cochabamba en abril 2010. El acuerdo popular concluyó proponiendo:

La creación de un mecanismo para la gestión integral y la conservación de los bosques que, a diferencia de REDD-plus, respete la soberanía de los Estados, garantice los derechos y participación de los pueblos indígenas y comunidades dependientes de los bosques, y no esté basado en el régimen del mercado de carbono⁹.

El gobierno de Bolivia ha tomado muy en serio esta declaración, lo cual implica que el proceso de preparación para REDD en Bolivia se ha detenido por el momento. Por ejemplo, en un reciente comunicado del Estado Plurinacional de Bolivia al Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), menciona en el punto 8(e): “en

6 Existe una coincidencia de 2 millones de hectáreas entre territorios indígenas y áreas protegidas.

7 El R-PIN es el primer paso para poder acceder a fondos de FCPF y empezar a preparar el país para un mecanismo REDD.

8 De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística (www.ine.gob.bo), el PIB agrícola industrial en 2010 alcanzó los US\$ 357 millones.

9 <http://www.bolpress.com/art.php?Cod=2010052804>. 22 de marzo de 2012.

todos los actos relacionados con el bosque, se preservará la integridad y la multifuncionalidad de los sistemas ecológicos y no se aplicarán o desarrollarán mecanismos de mercado”¹⁰.

Es evidente que una mayor consulta interna y un profundo análisis sobre REDD son necesarios para entender a fondo los efectos positivos y negativos de REDD en Bolivia. Solamente entendiendo estos efectos es posible tomar una decisión informada y diseñar los mecanismos de tal manera que maximicen los efectos positivos y minimicen los efectos negativos.

La herramienta OSIRIS-Bolivia (Andersen, Busch, Curran, Ledezma y Mayorga, 2012)¹¹ ha sido desarrollada para contribuir al análisis y la discusión de los efectos positivos y negativos del mecanismo REDD en Bolivia. La herramienta interpreta a REDD en su forma original de orientación hacia resultados a través de pagos por reducción de emisiones por deforestación por debajo de un determinado nivel de referencia. La degradación forestal no ha sido incluida en la herramienta, como tampoco otros tipos de incentivos para reducir la deforestación, como contratos de conservación¹² o multas por deforestación ilegal.

Este artículo explica cómo funciona la herramienta OSIRIS-Bolivia y muestra qué tipo de preguntas nos puede ayudar a resolver. Estas preguntas incluyen los costos de reducir la deforestación, los efectos distributivos de REDD, la identificación de los ganadores y perdedores, y el conflicto entre reducir las emisiones y reducir la pobreza. Estos asuntos no son característicos únicamente de Bolivia sino de todos los países con grandes extensiones de bosques.

El artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 explica el modelo OSIRIS-Bolivia. La sección 3 presenta el modelo espacial-económico de las causas de la deforestación que forman la base de OSIRIS. La sección 4 nos muestra el tipo de preguntas que OSIRIS puede ayudar a responder. Finalmente, la sección 5 aporta conclusiones, recomendaciones políticas, y posibles líneas de investigación futuras.

¹⁰ FCCC/AWG/LCA/2011/CRP.23, 4 de Octubre 2011.

¹¹ La herramienta puede descargarse de forma gratuita del sitio web: www.conservation.org/OSIRIS.

¹² Incentivos de conservación en forma de pagos a propietarios de tierra que firman contratos de conservación a largo plazo pueden ser analizados en la herramienta hermana de OSIRIS, CISS-Bolivia (Conservation Incentives Spread Sheet for Bolivia), que puede descargarse también en: www.conservation.org/OSIRIS.

2. El marco OSIRIS para modelar los incentivos de REDD

OSIRIS-Bolivia ha sido adaptado de OSIRIS-Indonesia (Busch, **Lubowski**, Godoy, Juhn, Austin, Hewson, Steininger, Farid y Boltz, 2012), el cual a su vez ha sido adaptado del modelo OSIRIS internacional (Busch, Strassburg, Cattaneo, Lubowski, Bruner, Rice, Creed, Ashton y Boltz, 2009). En este momento, los modelos OSIRIS nacionales son las herramientas económicas más sofisticadas para la evaluación de los potenciales efectos de las políticas REDD. Estos modelos incluyen avances metodológicos con respecto a otros modelos existentes que han tratado de estimar el potencial de reducción de emisiones de REDD.

Para empezar, la mayoría de los estudios anteriores han realizado un supuesto del “coste de oportunidad” determinístico, que establecía que la deforestación sería erradicada por completo allá donde los pagos por carbono potenciales superasen a las rentas netas derivadas de usos de suelo alternativos (Plantinga, Mauldin y Miller, 1999; Grieg-Gran 2006; Kindermann, Obersteiner, Sohngen, Sathaye, Andrasko, Rametsteiner, Schlamadinger, Wunder y Beach, 2008; Busch *et al.* 2009; Butler, Koh y Ghazoul 2009; Venter, Meijaard, Possingham, Dennis, Sheil, Wich, Hovani y Wilson, 2009; Soares-Filho, Moutinho, Nepstad, Anderson, Rodrigues, Garcia, Dietzsch, Merry, Bowman, Hissa, Silvestrini y Maretti, 2010; World Bank Institute, 2011).

En contraste, OSIRIS es capaz de calibrar el impacto marginal de los pagos potenciales por carbono sobre la deforestación usando la relación empírica entre la deforestación observada en un periodo histórico y la variación espacial en los beneficios y costos de convertir la tierra de bosque a agricultura. Al incluir estas “preferencias reveladas o expresas”, es capaz de estimar los pagos potenciales basados en evidencia de decisiones de uso de suelo reales, y tener en cuenta una serie de factores que realmente afectan a los cambios de uso de suelo en la práctica (Stavins 1999; Lubowski *et al.*, Plantinga y Stavins, 2006; Pfaff, Kerr, Lipper, Cavatassi, Davis, Hendy y A. Sánchez-Azofeifa, 2007; Warr y Yusuf, 2011).

En segundo lugar, la mayoría de los estudios previos han modelado los cambios de uso de suelo con un sólo parámetro -el precio del carbono. OSIRIS, por otra parte, es capaz de comparar una gama más amplia de políticas, al tomar en cuenta variaciones tanto en el precio del carbono como en los niveles de referencia subnacionales, y modelando las decisiones de participación para distintas escalas geográficas.

En tercer lugar, considera la “fuga de carbono” causada por la deforestación dentro del país, por la cual la reducción de la deforestación en una región puede causar un aumento en otra

región como causa de las dinámicas del mercado. Este cálculo se asemeja a aquellos realizados en modelos de equilibrio parcial (Borner y Wunder, 2007; Butler *et al.*, 2009) o equilibrio general (Soares-Filho *et al.*, 2010; Murray, 2008) mientras que difiere de otros análisis del coste de oportunidad (Angelsen y Wertz-Kanounnikoff, 2008).

Por último, OSIRIS difiere de anteriores discusiones cualitativas de políticas de incentivos REDD (Pedroni, Dutschke, Streck y Estrada-Porrúa, 2009; Cortez, Saines, Griscorn, Martin, De Deo, Fishbein, Kerkering y Marsh, 2010; FAO 2010) en que es capaz de cuantificar y representar en un mapa los impactos de estas políticas dentro de un país determinado (Busch *et al.* 2012).

OSIRIS-Bolivia ha sido construido a partir de un modelo de deforestación (ecuación 1) que predice la probabilidad de deforestación en cada píxel i en ausencia de REDD basándose en características observables de cada píxel:

$$y_i = \exp(\beta_0 + X_i\beta_1 + \beta_2 \ln(A_i)) + \epsilon \quad (1)$$

Aquí, $y_i = (F_i^o - F_i^f)/F_i^o$ es el porcentaje deforestado en el píxel i , donde F_i^o es la cubierta forestal en el píxel i al principio del periodo 2001-2005, y F_i^f es la cubierta forestal en el píxel i al final del periodo de observación. X_i es una matriz de datos geográficos observables relacionados con la cubierta forestal inicial, acceso, topografía y otros factores geográficos detallados en la siguiente sección (Cuadro 1). A_i es el valor actual neto de las potenciales rentas agrícolas por hectárea en el píxel i (adaptado de Naidoo e Iwamura, 2007). Al contrario que en OSIRIS-Indonesia, usamos las rentas agrícolas netas en vez de las brutas. Suponemos que las rentas netas representan el 33% de las rentas brutas, como sugieren Leguía, Malky y Ledezma (2011) y tomamos el logaritmo natural debido a la utilidad marginal decreciente de la renta. El valor actual neto ha sido calculado con una tasa de descuento del 10% bajo el supuesto de 5 años consecutivos de cultivo, y más adelante 15 años sin rentas agrícolas. Esto corresponde a la duración media de cultivo de todos los cultivos en el departamento de Santa Cruz, de acuerdo con Andersen (2006). Finalmente, la constante β_0 captura los componentes no observados de los beneficios netos esperados de deforestar el píxel i .

La probabilidad de deforestación predicha en el píxel i , en ausencia de REDD+, $\hat{y}_{i,NOREDD}$, viene dada por:

$$\hat{y}_{i,NOREDD} = \exp(\hat{\beta}_0 + X_i\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \ln(A_i)) \quad (2)$$

La distribución espacial a lo largo del país de $\hat{y}_{i,NOREDD}$ forma el escenario “Business-as-Usual”¹³ (BAU) en OSIRIS-Bolivia, mientras que la distribución de y_i constituye el escenario histórico de referencia. Si $\hat{\beta}_2 > 0$, como en el caso de Bolivia, entonces las rentas agrícolas potenciales más elevadas se traducen en una mayor probabilidad de deforestación, como indican la teoría y las pruebas empíricas (Barbier, 2001).

El mecanismo REDD ha sido diseñado para cambiar el atractivo relativo de la agricultura comparado con la conservación de los bosques, a través de compensaciones por reducción en emisiones. Suponiendo que un dólar recibido de pagos REDD tiene un impacto igual y opuesto sobre la probabilidad de deforestar que un dólar recibido de rentas agrícolas¹⁴, podemos deducir los ingresos marginales de REDD por hectárea, RR_i de A_i cuando simulamos el efecto de REDD. Entonces, si un píxel decide participar en REDD, el costo de oportunidad de conservar el bosque sería más bajo, y la probabilidad de la deforestación, menor. Sin embargo, hay otro efecto opuesto: un aumento en los precios agrícolas τ_1 , causado por la reducción en la deforestación y disminución de la oferta agrícola en la frontera forestal, haría de la agricultura una práctica más atractiva.

Consecuentemente, si un píxel decide participar en REDD, la probabilidad de deforestación en él viene dada por la ecuación (3):

$$\hat{y}_{i,REDD,optim} = \exp(\hat{\beta}_0 + X_i' \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \ln((1 + \tau_1)A_i - RR_i)) \quad (3)$$

Los ingresos REDD por hectárea de un píxel que ha decidido participar en REDD vienen dados por:

$$RR_i = p_{CER} * (1 - r) * ER_i \quad (4)$$

donde p_{CER} es el precio pagado por los compradores internacionales de reducciones de emisiones de carbono¹⁵, $r \in [0, 1]$ es la porción del precio internacional de carbono retenido por el gobierno nacional bajo un acuerdo para compartir beneficios¹⁶ (por ejemplo, $r=0$ quiere

13 Se refiere al escenario en el que todo continúa como si nada hubiese pasado, es decir, sin la presencia de REDD.

14 Este supuesto puede ser cambiado en OSIRIS-Bolivia, permitiendo al usuario decidir cuál de las dos rentas es preferible, o si son equivalentes (véase la ecuación 8).

15 Celda B4 en la hoja “SUMMARY”. El valor predeterminado es US\$ 5.5/TCO₂. Una lista de todos los valores por defecto está presentada en el anexo.

16 Celda B8 en la hoja “SUMMARY”. El valor predeterminado es 0.07, para cubrir la fuga de carbono nacional.

decir que la totalidad de los pagos corresponden al píxel) y ER_i es la cantidad de reducción de emisiones conseguida en el píxel i (tCO_2/ha).

El aumento en los precios agrícolas nacionales, τ_1 , se modela de forma endógena en OSIRIS-Bolivia y depende de un parámetro de “elasticidad efectiva,”¹⁷ el cual es funcionalmente equivalente a la elasticidad-precio de la demanda exponencial de la agricultura fronteriza (Busch *et al.*, 2009). Se supone que también incorpora la retroalimentación en los mercados de trabajo domésticos y los mercados de capital productivos.

$$\tau_1 = \left(\frac{D_{NOREDD}}{D_{REDD}} \right)^e \quad (5)$$

donde D_{NOREDD} es la cantidad total de deforestación en el país sin REDD, *i.e.*, el nivel de referencia nacional, y D_{REDD} es la cantidad total de deforestación en el país con REDD.

El valor por defecto escogido para el parámetro de “elasticidad efectiva” en OSIRIS-Bolivia es 1.4, el cual causa una fuga de carbono de aproximadamente 6%. Esta estimación se encuentra en la parte baja del rango 2%-40% encontrado en el proyecto para ampliar el parque nacional Noel Kempff Mercado (Sohngen y Brown, 2004), el cual aplicaba incentivos y compensaciones para reducir la deforestación similar a un proyecto REDD.

Algunos píxeles o municipios podrían decidir no participar en REDD porque las rentas netas agrícolas que pueden obtener son mayores que las ganancias por participar en REDD. Para estos píxeles/municipalidades, la probabilidad de deforestación viene dada por:

$$\hat{y}_{i,REDD,optout} = \exp(\hat{\beta}_0 + X_i \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \ln((1 + \tau_1)A_i)) \quad (6)$$

La decisión del píxel/municipio sobre participar o no en REDD depende no sólo de los costos de oportunidad, sino también del nivel de emisiones de referencia REL_p , el cual sería el nivel de deforestación de referencia multiplicado por el factor de emisiones correspondiente al píxel, E_i .

Los factores de emisiones han sido calculados de mapas que contienen información sobre los contenidos de carbono en la vegetación natural, $C_{veg,i}$, en el suelo, $C_{soil,i}$ y en el uso de suelo alternativo, C_{ag} :

¹⁷ Celda B57 en la hoja “SUMMARY”. El valor por defecto es 1.4.

$$E_i = 3.67 * [(C_{veg,i} - C_{ag}) + \varphi C_{soil,i}] \quad (7)$$

donde φ es la proporción del carbono contenido en el suelo que se supone es emitido durante el cambio de uso de suelo¹⁸.

La decisión de participación a nivel píxel viene determinada por una comparación entre los beneficios netos de participar o no en el mecanismo REDD+. Los dueños del píxel deciden participar si se cumple:

$$p_{CER} * (1 - r) [RL_i - \hat{y}_{i,REDD,optin} * F_i^O * E_i] > \gamma ((\hat{y}_{i,REDD,optout} - \hat{y}_{i,REDD,optin}) * F_i^O * (1 + \tau_1) * A_i) \quad (8)$$

El parámetro γ representa la preferencia de la población por las rentas agrícolas en comparación con las rentas derivadas de REDD¹⁹. Si $\gamma = 1$, entonces un dólar de rentas agrícolas es equivalente a un dólar de rentas de REDD. Posteriormente, exploramos valores de este parámetro distintos de 1.

3. Un modelo econométrico-espacial sobre los causantes de la deforestación

El cuadro 1 describe en detalle todas las variables potencialmente correlacionadas con la deforestación consideradas para OSIRIS-Bolivia. Estas variables son evaluadas a nivel píxel, habiendo primero dividido el territorio nacional de Bolivia en 120.475 píxeles cuadrados de 3x3 km.

A partir de Busch *et al.* (2012), estimamos en Stata 9 la deforestación usando un estimador Poisson de cuasi-máxima verosimilitud (Wooldridge, 2002). Un modelo Poisson tolera valores igual a cero, al contrario que una distribución log-normal, y genera una distribución de valores predichos que encaja con los datos mejor que una regresión logit o MCO. Esta distribución está concentrada cerca de la deforestación nula y disminuye para valores más altos de deforestación.

¹⁸ Celda B51 en la hoja "SUMMARY". El valor por defecto es 0.10.

¹⁹ Celda B54 en la hoja "SUMMARY". El valor por defecto es 1.

Cuadro 1
Potenciales causantes de la deforestación en Bolivia, 2001-2005

Variable dependiente	Unidades	Fuente	Valor promedio	Min - Max
Pérdida forestal entre 2001 y 2005	Proporción del píxel	Fundación Amigos del Museo Noel Kempff Mercado, Mapa de deforestación 2009.	0,028	0 - 1
Variables explicativas	Unidades	Fuente	Valor promedio	Min - Max
Cubierta forestal inicial en 2001	Proporción del píxel	Fundación Amigos del Museo Noel Kempff Mercado, Mapa de deforestación 2009.	0,556	0 - 1
Distancia a carreteras	km	Distancias a carreteras calculadas con información del mapa ABC, 2010 RVF.	23,331	0 - 146
Distancia a ríos	km	Mapa de las distancias a los principales ríos primarios y secundarios, con información de SITAP, 2009.	12,444	0 - 149
Distancia a centros urbanos de más de 5000 habitantes	km	Mapa creado a partir de las cifras de población oficiales obtenidas de INE, 2001.	90,100	0 - 327
Pendiente promedio del píxel	%	Modelo de elevación digital SRTM V2 (2005).	10,022	0 - 89
Altitud promedio	m.a.s.l.	Altitud promedio calculada del modelo de elevación digital SRTM V2 (2005).	1229,852	0 - 5837
Contenido de carbono promedio en la vegetación	tC/ha	Ruesch y Gibbs (2008).	89,081	0 - 193
Contenido promedio de carbono en el suelo	tC/ha	FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC, 2012. <i>Harmonized World Soil Database (version 1.2)</i> . FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria.	9,325	0 - 144
Productividad primaria neta	kg C/m ² /año	Mapas de productividad primaria neta para 2001-2005 provenientes de NISG (NumericalTerradynamicsSimulationGroup).	11,738	0 - 60
Densidad de fuegos	Anomalías térmicas/ha	Mapa MODIS de densidad 2001-2006 sobre anomalías térmicas observadas con más de 60% de probabilidad de ocurrencia.	0,503	0 - 18

Variables explicativas	Unidades	Fuente	Valor promedio	Min - Max
Densidad poblacional	Habitantes/ha	Mapa de densidad proveniente del censo 2001.	7.511	0 - 4118
Distancia a píxeles ya deforestados	km	Mapa de distancia a píxeles deforestados hasta 2001. Fundación Amigos del Museo Noel Kempff Mercado, 2009.	37.032	0 - 397
Título individual de la tierra	Proporción del píxel	INRA (Instituto Nacional de Reforma Agraria), 2009.	0.076	0 - 1
Tierra comunitaria	Proporción del píxel	INRA (Instituto Nacional de Reforma Agraria), 2009.	0.172	0 - 1
Tierra pública	Proporción del píxel	INRA (Instituto Nacional de Reforma Agraria), 2009.	0.170	0 - 1
Título de la tierra ambiguo	Proporción del píxel	INRA (Instituto Nacional de Reforma Agraria), 2009.	0.568	0 - 1
Área protegida	Variable dummy	SERNAP (Servicio Nacional de Áreas Protegidas).	0.173	0 - 1
Índice de Desarrollo Humano	Índice	PNUD (2001).	0.596	0 - 0.77
Dummy vegetación puna	Dummy	Derivado de Ibisch <i>et al.</i> (2003). Mapa de las eco-regiones y ecosistemas de Bolivia.	0.124	0 - 1
Dummy vegetación cerrado	Dummy	Derivado de Ibisch <i>et al.</i> (2003). Mapa de las eco-regiones y ecosistemas de Bolivia.	0.101	0 - 1
Dummy vegetación bosque amazónico	Dummy	Derivado de Ibisch <i>et al.</i> (2003). Mapa de las eco-regiones y ecosistemas de Bolivia.	0.151	0 - 1
Valor actual neto del valor neto agrícola	USD/ha	Adaptado de Naidoo e Iwamura (2007).	854.581	0.0033 - 2174
Logaritmo natural del valor actual neto del valor agrícola	ln (USD/ha + 1)		5.773	0.0033 - 7.685

Una condición necesaria para que tuviera lugar la deforestación es que hubiese superficie forestal presente en el píxel al principio del periodo. Por tanto, todos los píxeles sin cubierta forestal en 2001 fueron excluidos de la regresión. Esto nos dejó 92.715 píxeles con cubierta forestal positiva en 2001, los cuales fueron utilizados para estimar el modelo de deforestación (Cuadro 2). Como tenemos más de 90.000 observaciones y solamente 23 posibles variables explicativas, no existe riesgo de sobreajuste; entonces, inicialmente incluimos todas las posibles variables explicativas, pero subsecuentemente excluimos aquéllas que no resultaron ser significativas a nivel 5%.

Cuadro 2
Modelo Poisson de deforestación para Bolivia, 2001-2005

Variable dependiente	Número de observaciones	Pseudo R²
Pérdida forestal entre 2001 y 2005	92.715	0,3241
Variables explicativas	Coefficiente	Z-valor
Cubierta forestal inicial en 2001	-1,2618	-34,42
Distancia a carretera	-0,0143	-16,38
Distancia a río	-0,0114	-11,60
Distancia a centro urbano con más de 10000 habitantes	-0,0113	-27,44
Pendiente promedio del píxel	-0,0535	-21,10
Altitud promedio	0,0003	6,50
Contenidos de carbono en la vegetación	-0,0017	-7,61
Contenidos de carbono en el suelo	-0,0043	-5,56
Productividad primaria neta	0,0265	21,71
Densidad de fuegos	0,1991	30,53
Densidad poblacional	0,0001	2,64
Distancia a píxel ya deforestado	-0,2581	-10,99
Título de la tierra individual	0,1867	6,59
Título de la tierra comunal	-0,6079	-13,08
Tierra publica	-0,6644	-12,51
Índice de desarrollo humano	-0,2447	-4,43
Vegetación <i>dummy</i> : Puna	-15,8405	-34,69
Vegetación <i>dummy</i> : Cerrado	-0,2522	-7,38
Logaritmo natural del valor presente neto de la agricultura	0,0745	5,01
Constante	-1,2165	-10,40

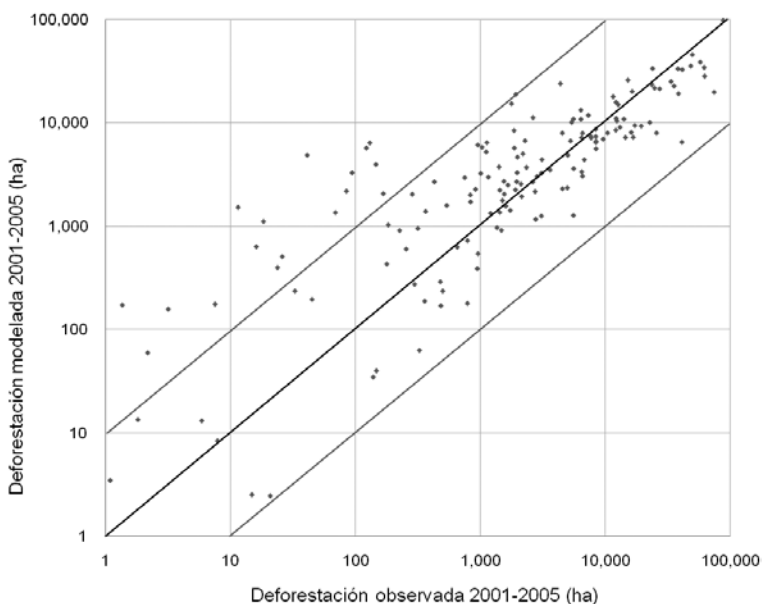
Este modelo de regresión indica que la deforestación fue mayor en píxeles con cubierta forestal inicial baja. Esto tiene sentido, ya que es más fácil deforestar un bosque fragmentado que un bosque intacto y denso. Además, como es de esperar, los índices de deforestación fueron más elevados en superficies planas cercanas a las carreteras, ríos, centros urbanos, y a píxeles ya deforestados. Las áreas de propiedad privada tuvieron más probabilidad de deforestación que las de propiedad comunal (territorios indígenas o tierra pública, incluyendo áreas protegidas). La tasa de deforestación también fue mayor en áreas con mayor densidad poblacional, con productividad primaria neta más elevada, y con un índice de incendios más elevado.

Es importante destacar que las tasas de deforestación fueron mayores en áreas con un potencial agrícola más elevado. Esto es importante para OSIRIS, ya que el impacto de los incentivos REDD se simula a través de esta misma variable. Por ejemplo, si la deforestación total es reducida, el precio de los productos agrícolas en la frontera aumentará, lo cual aumentará el valor agrícola y a su vez aumentará la probabilidad de deforestación.

El poder explicativo del modelo de regresión es $R^2 = 0,32$, lo cual indica que todavía hay mucha variabilidad sin explicar dentro de las tasas de deforestación aun habiendo tenido en cuenta tantos factores. Sin embargo, si agregamos los resultados a nivel municipal (337 municipios), la correlación entre deforestación medida y estimada es 0.87, bastante elevada. Se puede concluir que el modelo funciona mejor prediciendo cuánta deforestación ocurrirá en un municipio que prediciendo exactamente dónde ocurrirá la deforestación dentro de ese municipio.

El Gráfico 1 compara la deforestación estimada y observada entre 2001 y 2005 para cada municipio con deforestación positiva. El gráfico se presenta en una escala Log-Log para poder observar tanto valores pequeños como elevados. La línea negra de 45° indica los casos en que la deforestación modelada es igual a la deforestación estimada en un municipio. Pocos municipios caen directamente sobre la línea. Las líneas azules indican las fronteras en las cuales la deforestación modelada se encuentra alejada por un factor de diez de la deforestación observada. El modelo predice mejor la deforestación en municipios con un alto nivel de deforestación (más de 1.000 ha) que en municipios con un nivel de deforestación más bajo.

Gráfico 1: Deforestación observada y modelada, nivel municipal, Bolivia, 2001-2005



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0.

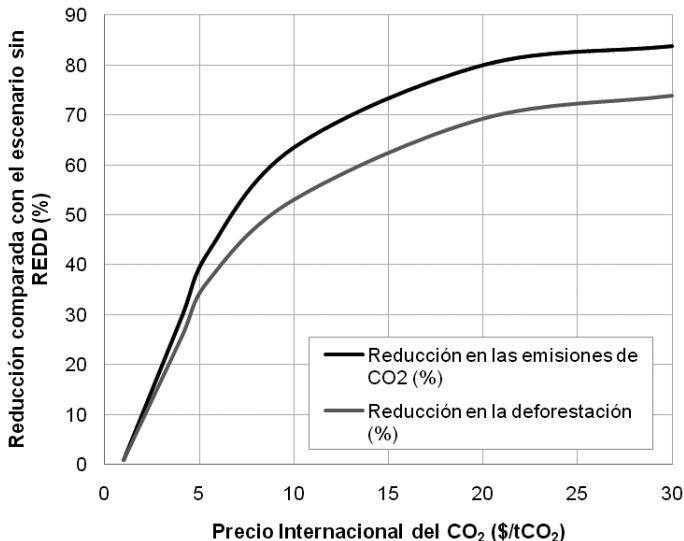
4. Aplicaciones

Esta sección aplica la herramienta OSIRIS-Bolivia a preguntas que son importantes para el diseño y la implementación de pagos para reducir las emisiones causadas por la deforestación en Bolivia. Una pregunta crucial para los políticos es: ¿cuánto costaría reducir la deforestación en Bolivia? La respuesta a esta pregunta puede ayudarnos a entender cuánta reducción en la deforestación es realista y cuánto costaría. Otra pregunta de considerable interés para políticos y beneficiarios del mecanismo es: ¿dónde funcionaría el mecanismo REDD dentro del país? Preguntas adicionales que serán exploradas en esta sección tienen que ver con los niveles de referencia, niveles de contabilidad, costes de transacción y preferencias por rentas agrícolas versus rentas derivadas de REDD.

4.1. ¿Cuánto costaría reducir la deforestación en Bolivia?

Varios estudios han afirmado que reducir la deforestación sería una forma relativamente barata de reducir las emisiones de carbono (Stern, 2006; Antorini y Sathaye, 2007; Naucler y Enkvist, 2009). OSIRIS-Bolivia nos permite evaluar cuánta reducción de emisiones podríamos alcanzar a diferentes precios del carbono. Por un módico precio de CO₂ de \$5/tCO₂, se podría reducir la deforestación un 35% (asumiendo que no existen costos de transacción). Dado un precio de US\$ 10, podría reducirse un 53%, y con un precio de US\$ 30, un 74% (Gráfico 2). Es de destacar el efecto marginal decreciente del precio de CO₂.

Gráfico 2: Precio internacional del CO₂ y reducción de la deforestación y las emisiones de CO₂ en Bolivia (sin costos de transacción)

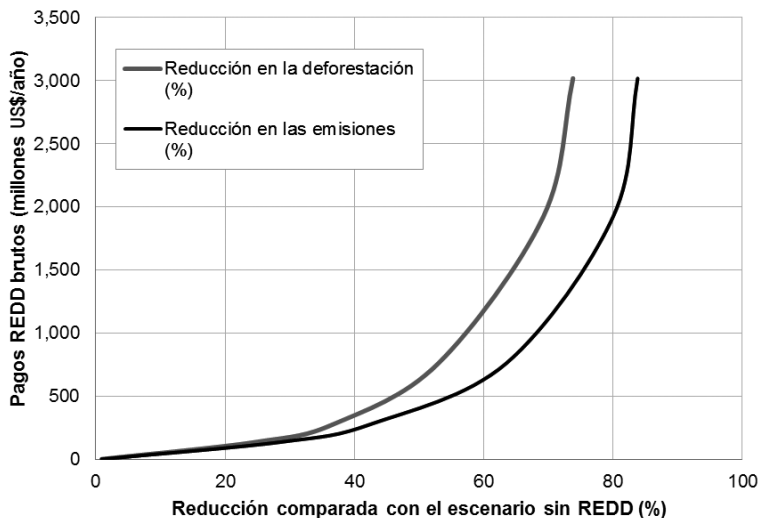


Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante (celda B8), que ha sido ajustado para asegurar que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero.

Reducir la deforestación es exponencialmente más caro para niveles elevados de reducción. El Gráfico 3 muestra que para reducir la deforestación un 25% a través de incentivos REDD, la comunidad internacional tendría que pagar a Bolivia unos US\$ 200 millones al año, lo que corresponde a un precio de CO₂ de aproximadamente US\$4/tCO₂, mientras que una reducción del 50% requeriría unos US\$ 700 millones al año en pagos brutos de REDD,

correspondiendo a un precio de US\$ 8/tCO₂. Esta segunda cantidad corresponde al 8.5% del PIB total del país, por lo que tendría efectos importantes en la economía del país y en la distribución de la renta dentro de Bolivia.

Gráfico 3: Reducciones en la deforestación y las emisiones, y pagos brutos anuales por REDD



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante (celda B8), que ha sido ajustado para asegurar que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero.

4.2. ¿Dónde podría funcionar REDD dentro de Bolivia?

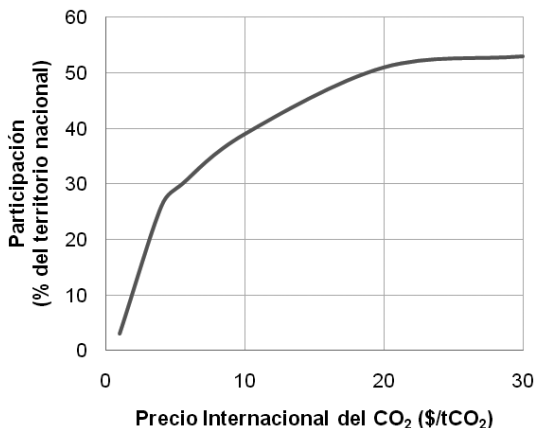
Existen tres condiciones principales que causan que un área tenga más posibilidades de participar en REDD:

- ♦ Alta cubierta forestal inicial.
- ♦ Altas tasas de deforestación en el escenario de referencia.
- ♦ La habilidad para reducir la deforestación a costos relativamente bajos.

Para cada píxel, OSIRIS-Bolivia compara las rentas netas derivadas de agricultura con las rentas netas potenciales ofrecidas por REDD, dados el nivel de referencia y el precio del CO₂

fijado. Evidentemente, cuanto más alto sea el precio del CO₂, más píxeles estarán interesados en participar. El Gráfico 4 muestra como la participación en el programa REDD depende del precio internacional del CO₂. La participación aumenta de forma drástica al subir el precio hasta US\$5/tCO₂, pero subidas adicionales en el precio no provocan aumentos tan pronunciados en la participación. Cuando el precio está alrededor de US\$ 20/tCO₂, casi todos los píxeles con bosque (56% del territorio nacional) querrían participar en REDD.

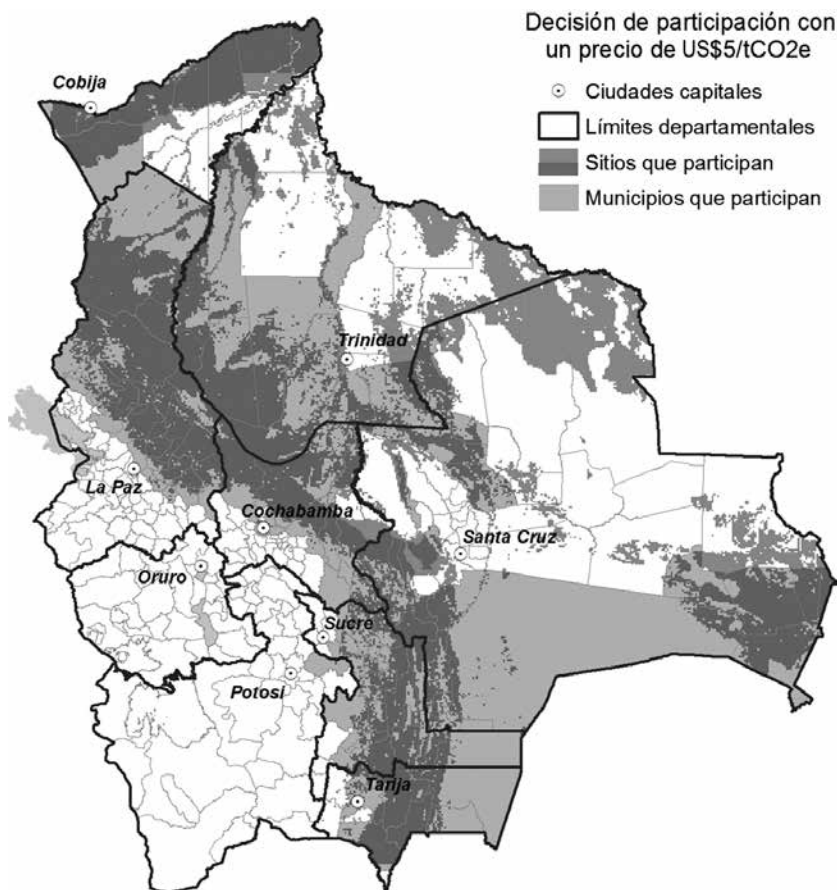
Gráfico 4: Precio internacional del CO₂ y participación de los píxeles en REDD



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante (celda B8), que ha sido ajustado para asegurar que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero.

El mecanismo REDD puede funcionar tanto con propietarios privados al nivel píxel como con entidades administrativas, como municipios. Si REDD comenzase a funcionar a nivel municipal, querría decir que las rentas de REDD serían pagadas a los municipios y no a los individuos, y el municipio decidiría cómo distribuir o invertir las rentas para reducir la deforestación y beneficiar a la población local. El mapa 1 indica los píxeles donde las rentas por REDD serían más altas que las rentas agrícolas si el precio del CO₂ fuese US\$5/tCO₂ y el nivel de referencia fuese BAU.

Mapa 1: Píxeles/municipios que participarían en el mecanismo REDD, dado un precio del CO₂ de US\$ 5/tCO₂e y bajo el escenario de referencia BAU



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros se mantienen al nivel por defecto, salvo el precio del CO₂ que se fija en US\$ 5/tCO₂e y las decisiones a nivel píxel y municipio, fijadas en 1.

El altiplano boliviano en el Suroeste se ve excluido de REDD debido a la ausencia de bosques y, por lo tanto, ausencia de deforestación. Gran parte del departamento de Santa Cruz en el Este, donde la deforestación observada es más intensa, se muestra como una zona poco probable de participar en REDD debido a costes de oportunidad elevados. Las áreas con más posibilidades de participar en REDD son la tierras bajas del departamento de La Paz, el departamento de Pando, en el Norte, el departamento de Tarija, en el Sur, y la parte del departamento de Santa Cruz localizada más al Este.

Cuánto se beneficiaría cada municipalidad de participar en REDD depende no sólo de los precios de CO₂, niveles de referencia y costes de oportunidad, sino también del tamaño de la población en cada municipalidad. Para hacernos una idea de la distribución y magnitud de los beneficios REDD, hicimos una simulación con OSIRIS manteniendo todos los parámetros en sus valores por defecto (financiación externa de US\$ 1 billón para el periodo de 4 años²⁰, correspondiente a un precio internacional del carbono US\$ 5,5/tCO₂; niveles de referencia BAU; contabilidad a nivel municipal).

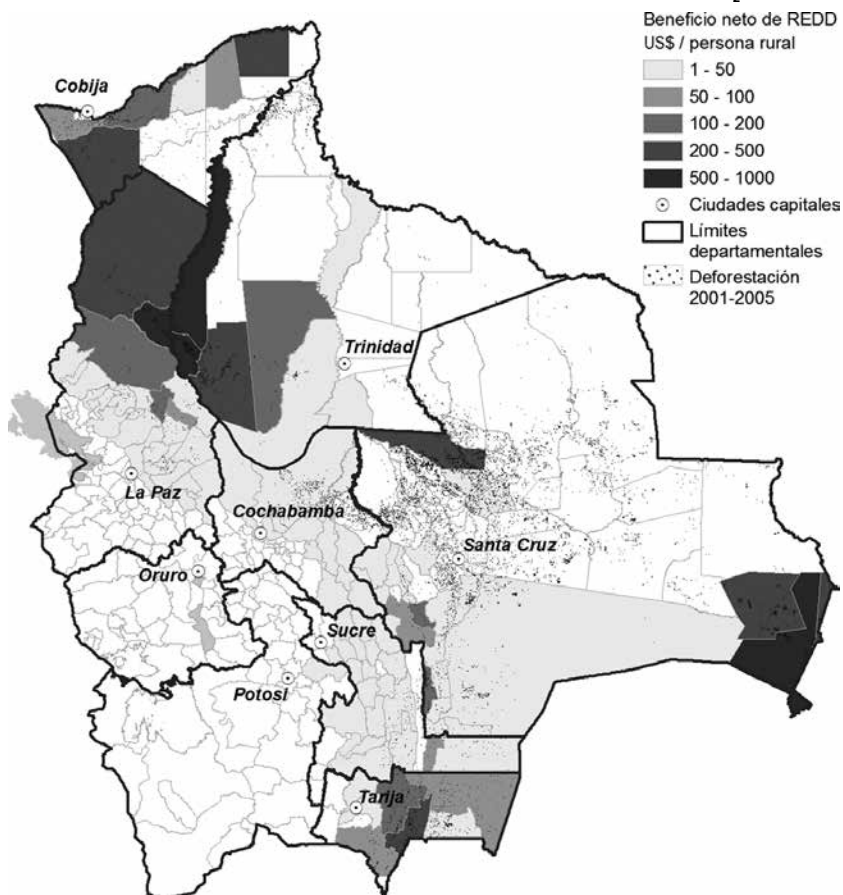
Uno de los resultados clave de OSIRIS es la renta neta por participar en REDD en comparación con el escenario sin REDD²¹, la cual se calcula restando de las rentas brutas recibidas por REDD las rentas agrícolas renunciadas y los costos de transacción. Dado que REDD es más relevante para la población rural, hemos representado en el mapa las rentas netas de REDD por persona rural en el Mapa 2.

Las áreas que muestran el beneficio neto REDD más elevado son el norte del departamento de La Paz, el departamento de Pando, el departamento de Tarija y la parte este del departamento de Santa Cruz. En estas regiones las reservas de carbono y la deforestación son elevadas, el coste de oportunidad de mantener el bosque es relativamente bajo y la densidad de la población es baja. Por lo tanto, los pagos se comparten entre pocas personas. De acuerdo a esta simulación, cuatro municipios recibirían beneficios REDD por encima de US\$ 500 por persona rural por año (San Buenaventura, Reyes, Rurrenabaque y Puerto Suarez). El beneficio más alto existente es US\$ 710 por persona rural por año en San Buenaventura, una gran cantidad, dado que los ingresos medios de una persona rural son US\$ 300 por año.

²⁰ El precio del carbono por defecto ha sido seleccionado para que los pagos brutos por REDD alcance US\$1 billón a lo largo del periodo de 4 años. Éste es un número conveniente y refleja la cantidad de financiamiento necesario para reducir la deforestación de manera significativa en Bolivia. Nos permite responder a la pregunta: ¿qué se puede lograr con US\$1 billón en Bolivia en términos de reducción en la deforestación y aumento en las rentas rurales?.

²¹ Celda H35 en la hoja "SUMMARY".

Mapa 2: Distribución de rentas netas REDD entre la población rural de Bolivia, con US\$ 1 billón de pagos REDD brutos y un escenario de referencia BAU. Reducción de emisiones: 189 millones tCO₂



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros en su valor por defecto.

Es importante añadir que la participación y los beneficios de REDD dependen estrechamente de cómo se establezcan los niveles de referencia (ver siguiente sección).

4.3. La importancia de los niveles de referencia

Establecer los niveles de referencia, el nivel bajo el cual las reducciones generarían pagos REDD, es uno de los elementos más críticos del diseño de estas políticas (Busch *et al.*, 2009).

Bajo un mecanismo REDD internacional, los niveles de referencia serían determinados en las negociaciones internacionales, sin embargo, los países serían libres de crear sus propias políticas para reducir la deforestación (Busch *et al.*, 2012). En otras palabras, el nivel de referencia nacional bajo el cual Bolivia recibirá fondos será determinado en negociaciones internacionales, pero el país podría utilizar este dinero para reducir la deforestación dentro de sus fronteras como considere adecuado. Por lo tanto, una de las decisiones más importantes al diseñar una política nacional REDD es determinar los niveles de referencia locales, ya que esto afectará a la distribución de pagos dentro de Bolivia.

OSIRIS-Bolivia cuenta con tres tipos de niveles de referencia domésticos: histórico, BAU e incentivos combinados (Strassburg, Turner, Fisher, Schaeffer and Lovett, 2009)²². Los niveles de referencia históricos se basan en tasas de deforestación observadas en el departamento, municipio o píxel (dependiendo de la decisión sobre el nivel de contabilidad). Un nivel de referencia BAU se refiere al nivel de emisiones provocadas por la deforestación que ocurrirían si el departamento, municipio o píxel decidiesen no participar en REDD. Estos niveles de referencia deberían ser establecidos tomando en cuenta los distintos causantes de la deforestación (utilizando un modelo como el presentado en la sección anterior u otro similar (*e.g.*, Sangermano, Toledano y Eastman, 2012)), pero en la práctica puede ser difícil estimarlos con exactitud (Busch *et al.*, 2012). El nivel de referencia de incentivos combinados es la media aritmética de la tasa de deforestación local histórica y la tasa de deforestación nacional histórica. Un nivel de referencia de incentivos combinados busca incentivar la participación de las regiones con tasas de deforestación históricamente bajas y requieren un nivel mayor de contribución inicial de regiones con tasas de deforestación históricamente altas.

La elección de niveles de referencia sub-nacionales tiene efectos importantes sobre la reducción de emisiones, el nivel de beneficios en el país y la distribución de esos beneficios dentro del país. En OSIRIS-Bolivia, el nivel de referencia BAU es el más eficiente para reducir la deforestación, porque se supone que refleja exactamente la cantidad de deforestación que hubiese ocurrido en la ausencia de REDD. Por lo tanto, no existen casos donde se paga por “aire caliente” (pagos por reducciones no adicionales), debido a niveles de referencia demasiado elevados, y tampoco existen casos en los cuales actores deciden no participar debido a niveles de referencia por debajo de la presión real. Sin embargo, como no se puede prever el futuro con exactitud, es imposible establecer escenarios de referencia que coinciden exactamente con la presión real para deforestar.

²² Celda B12 en la hoja “SUMMARY”.

Usar niveles de referencia que difieren de la presión real para la deforestación es menos eficiente. Por ejemplo, los niveles de referencia puramente históricos probablemente no serán capaces de predecir con exactitud tasas de deforestación futuras. Esto se debe al hecho de que la frontera agrícola tiende a moverse desde áreas más desarrolladas a áreas vírgenes (Andersen *et al.*, 2002). Esto quiere decir que un área que históricamente ha estado localizada más allá de la frontera, experimentando baja deforestación, puede de pronto experimentar alta deforestación durante el periodo en que la frontera la atraviesa. Más tarde, esta misma región se estabilizará y experimentará tasas de deforestación más bajas (posiblemente debido a la ausencia de bosque). Si el nivel de referencia histórico es más bajo que la verdadera presión a la deforestación, entonces los propietarios de tierra escogerán no participar en REDD, porque tendrían que reducir algunas emisiones de forma gratuita. Por otra parte, si el nivel de referencia histórico es más alto que la verdadera presión para deforestar, entonces los donantes pagarán por reducciones en emisiones sin esfuerzo alguno.

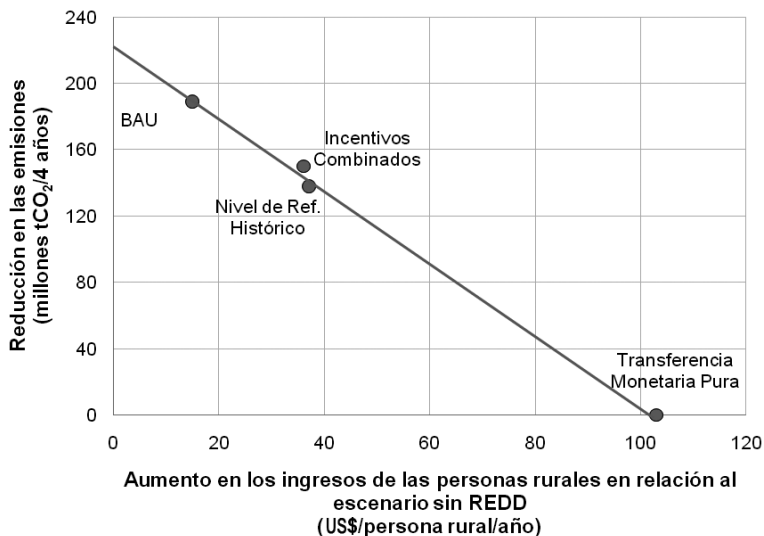
Si el mecanismo REDD está pagando a los propietarios de tierra exactamente sus costos de oportunidad para no cultivar la tierra, entonces el beneficio neto de participar para estos propietarios de tierra es cero, por definición. Los beneficios netos positivos tendrán lugar cuando a los propietarios de la tierra se les pague más que los costos de oportunidad. Existen varias razones por las cuales podrían recibir beneficios más elevados. En primer lugar, si los donantes ofrecen un precio fijo por reducción de emisiones de CO₂, tendrán que pagar tanto a los propietarios de tierra que tienen este coste de oportunidad exacto como a los que tienen costos de oportunidad más bajos. En segundo lugar, es difícil saber exactamente cuánta tierra tienen pensado deforestar los dueños. Si el nivel de referencia es demasiado alto, los donantes pagarán por algo de aire caliente. En general, el pago recibido se distribuye entre el pago por costos de oportunidad (que reduce la deforestación) y la renta (que aumenta los beneficios netos).

En general, para una cantidad fija de fondos aportados por los donantes (en este caso, US\$ 1 billón a lo largo de 4 años), existe una competencia (*trade-off*) entre los dos objetivos de reducción de emisiones y aumento en rentas para la población rural. Cuanto más eficiente es el mecanismo al reducir las emisiones, menos beneficios netos recibe la población rural, y viceversa²³. En el Gráfico 5 hemos incluido los resultados de una transferencia de fondos

23 La relación inversa representada en el Gráfico 5 solamente se da en el caso de una cantidad de financiamiento fija. Si en vez de esto el precio del carbono es fijo y el tamaño del fondo es variable dependiendo del rendimiento de reducción de emisiones (como podría ocurrir en países que participen en un mercado internacional de bonos de carbono), no se vería una competencia tan clara entre los dos objetivos (reducción de emisiones y reducción de pobreza).

pura de US\$ 1 billón; esto incrementaría las rentas rurales *per cápita* en unos US\$ 103 por año (equivalente al 34%).

Gráfico 5: Relación entre la reducción de emisiones y el aumento en las rentas de los habitantes rurales de Bolivia en relación al escenario sin REDD (simulaciones realizadas suponiendo US\$ 1 billón de financiamiento y costos de transacción cero)



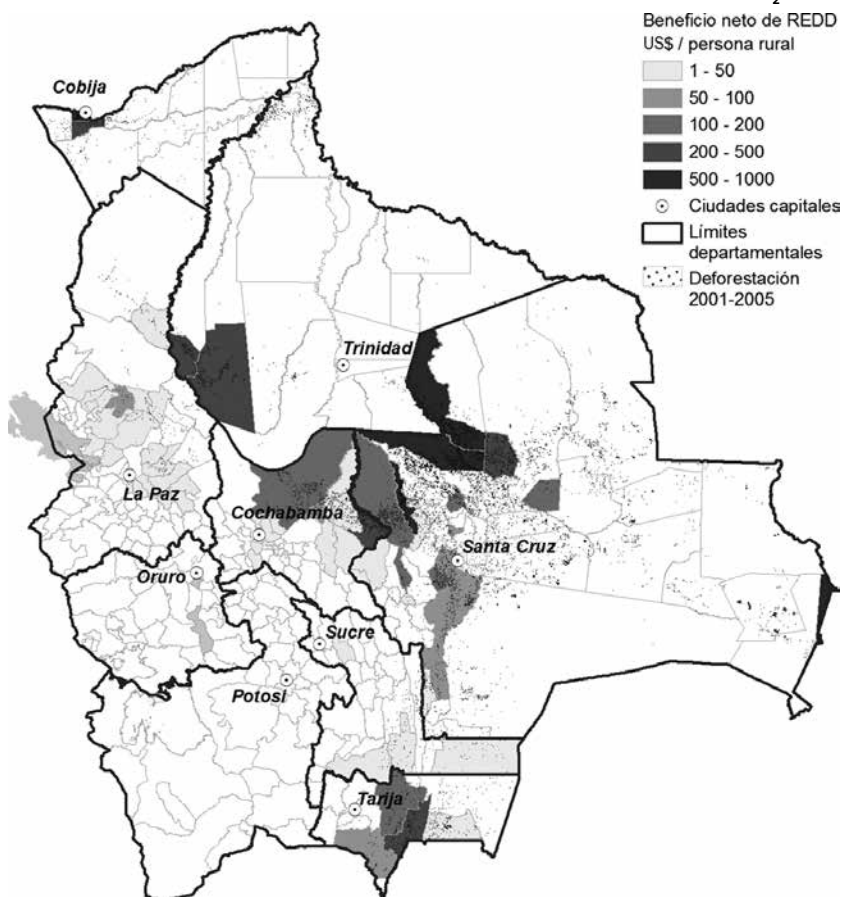
Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto el tipo de escenario de referencia, el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante, que han sido ajustados para asegurar que los pagos brutos REDD equivalgan a US\$ 1 billón al mismo tiempo que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero).

La reducción de emisiones más alta que podríamos lograr con US\$ 1 billón en financiamiento se produciría en el caso de que pudiésemos averiguar exactamente los costos de oportunidad en cada píxel, ordenarlos de menor a mayor costo de oportunidad y pagar a aquellos píxeles con costos menores. En este hipotético caso (no incluido en el gráfico), reduciríamos las emisiones en 402 millones de tCO₂ a lo largo del periodo de 4 años. Dado que se pagaría a los propietarios sólo su costo de oportunidad, los beneficios netos de participar en REDD de todas las personas rurales serían cero.

Los mapas 3 y 4 muestran las diferencias existentes entre la distribución de beneficios netos de REDD cuando el nivel de referencia cambia de BAU a histórico o a incentivos combinados.

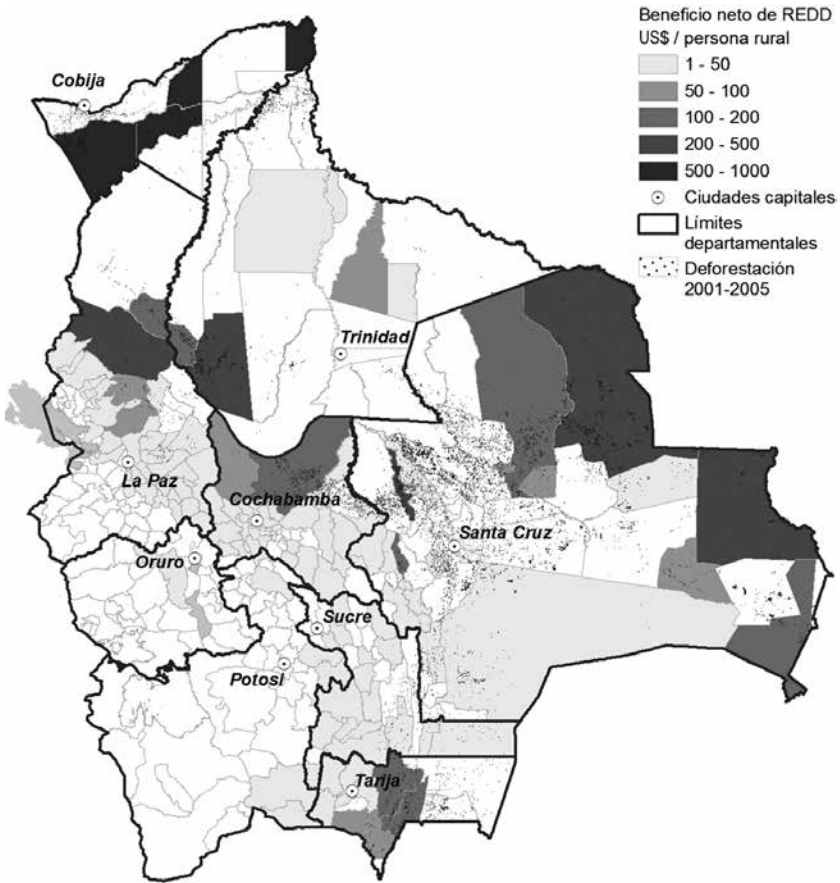
En los tres casos (mapas 2, 3 y 4), los beneficios de REDD están muy concentrados. Incluso bajo el supuesto de que los ingresos por REDD se distribuyen igualmente entre todas las personas dentro de un municipio, más del 90% de los beneficios de REDD corresponderían a menos del 5% de la población. Sin embargo, como los incentivos REDD están dirigidos a la población rural, inclusive así causarían una ligera mejora en la distribución de la riqueza total.

Mapa 3: Distribución de las rentas netas de REDD entre la población rural de Bolivia, con US\$ 1 billón en financiamiento y un nivel de referencia histórico. Reducción en emisiones: 138 millones de tCO₂.



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros en su valor por defecto, excepto el tipo de escenario de referencia que está en "histórico".

Mapa 4: Distribución de rentas REDD netas entre la población rural de Bolivia, con US\$ 1 billón en pagos REDD y un nivel de referencia de incentivos combinados. Reducción en emisiones: 150 millones de tCO₂.



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros en su valor por defecto, excepto el tipo de escenario de referencia que está en "incentivos combinados".

4.4. Co-beneficios

Además de reducir la deforestación y las emisiones de carbono, los pagos REDD podrían reducir la pérdida de biodiversidad e incrementar las rentas de los más pobres. OSIRIS-Bolivia es capaz de estimar estos efectos y también el porcentaje de la población rural que participa en el programa. El Gráfico 6 muestra estos resultados sobre los co-beneficios.

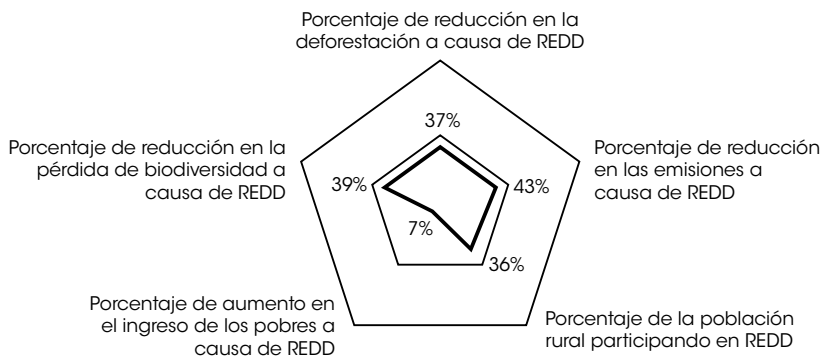
OSIRIS-Bolivia contiene datos sobre la biodiversidad al nivel píxel, utilizando la variable “Riqueza Total de Especies” estimada por Nowicki, Ley, Caballero, Sommer, Barthlott e Ibsch (2004). Usa 17 grupos de plantas y animales como indicadores de taxones. El número más elevado de especies que se ha encontrado dentro de estos 17 grupos es 2.825 especies por píxel,²⁴ mientras que el más bajo ha sido 0 (por ejemplo, en glaciares y salares).

OSIRIS-Bolivia estima el efecto sobre la biodiversidad calculando la reducción en la pérdida de hábitat para la biodiversidad en comparación con el escenario sin REDD, usando “Riqueza Total de Especies” como peso para determinar la importancia de cada hectárea para el objetivo de proteger la biodiversidad.

Al mantener los parámetros en su valor por defecto, OSIRIS-Bolivia muestra un decrecimiento en la pérdida de hábitat-biodiversidad de 39.2%. Esto es ligeramente mayor que la disminución en la deforestación del 36.9% con REDD, indicando que el mecanismo parece dirigirse a áreas con alta biodiversidad, aunque éste no es un criterio explícito de REDD.

Respecto a la reducción de la pobreza, OSIRIS-Bolivia muestra un aumento del 7.2% de los ingresos de los municipios pobres que participan en REDD, mientras que, tomando en cuenta todos los municipios pobres, se observa un incremento de 2.2% (Gráfico 6). Estos incrementos se dan al fijar un umbral de pobreza igual a US\$ 2 por día.

Gráfico 6: Co-beneficios de REDD



Fuente: OSIRIS-Bolivia v.2.0. Todos los parámetros se mantienen en su valor por defecto.

²⁴ Los píxeles utilizados en Nowicki *et al.* (2004) son ligeramente más grandes que los usados en OSIRIS (3.6 por 3.6 km en vez de 3 por 3 km); entonces, los datos fueron re-muestreados para coincidir con los píxeles de OSIRIS.

4.5. El papel de los costos de transacción

Por ahora no hemos incluido el papel de los costos de transacción en REDD. En la realidad, los recursos financieros requeridos para desarrollar la capacidad técnica e institucional que se necesita en un mecanismo de REDD son presumiblemente sustanciosos (Pagiola y Bosquet, 2009). Existen costos institucionales, como la capacidad técnica e institucional (a menudo referidos como preparación para REDD). También existen costos asociados a definir claramente los derechos de propiedad e invertir en programas para mejorar la eficiencia agrícola en zonas ya deforestadas. Los costos de transacción son los “recursos utilizados para definir, establecer, mantener y transferir los derechos de propiedad” (McCann, Colby, Easter, Kasterine and Kuperan, 2005). Esta definición reconoce que los bienes y servicios ambientales suelen carecer de una clara definición y que, además de los costos asociados a los pagos y la negociación, se deben incluir los costos asociados a la capacidad institucional y aquellos asociados a definir los derechos de propiedad.

El modelo OSIRIS-Bolivia separa los costos iniciales, tal como aquéllos asociados a la preparación técnica y administrativa para REDD, de los costos de transacción de negociar, ejecutar y monitorear los pagos. Los costos iniciales son un parámetro que es asumido por el Gobierno o instituciones internacionales. En el modelo, simplemente son restados de los ingresos brutos nacionales de REDD junto a los ingresos agrícolas no aprovechados para obtener los ingresos nacionales netos de REDD. En la realidad, Bolivia necesitará fondos internacionales para cubrir la mayoría de estos costos. El valor por defecto de los costos iniciales en OSIRIS-Bolivia es cero²⁵.

OSIRIS-Bolivia calcula también un parámetro de coste por costos de transacción por hectárea/4 años. Este costo de transacción es restado a las ganancias potenciales de participar en REDD, y por lo tanto es incluido en la decisión del píxel de participar o no. Los costos de transacción tienen efectos directos sobre las tasas de participación, y por lo tanto afectan a las reducciones en la deforestación y en emisiones. Unos costos de transacción más elevados reducen el número de participantes, al aumentar los costos de oportunidad de participar.

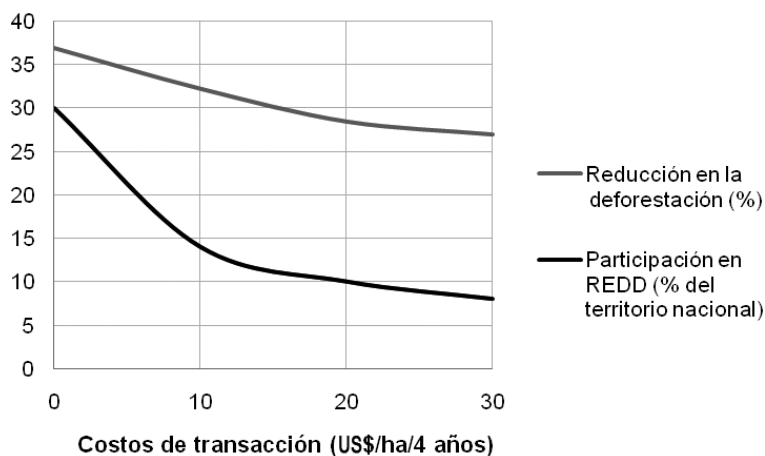
El Informe Stern (Stern, 2006), que incluye un análisis de los bosques tropicales en Bolivia, estima que los costos de transacción se encuentran entre US\$ 5 y US\$ 15 por hectárea (Grieg-Gran, 2006). El Proyecto de Acción Climático Noel Kempff incurrió en costos de transacción

25 Celda B65 en la hoja "SUMMARY".

de US\$ 3.3 millones para un proyecto de 634.286 hectáreas (Antorini y Sathaye, 2007), lo cual corresponde a US\$ 52/ha. Si repartimos estos costos sobre los primeros 10 años de proyecto, el coste por hectárea y año es de US\$ 5.2, o aproximadamente US\$ 20 por hectárea por cada periodo de 4 años.

En los Gráficos 7 y 8 mostramos los impactos de los costos de transacción en un rango de US\$ 0 a US\$ 30 por hectárea por un periodo de 4 años. La participación se reduce de forma drástica cuando se añaden los costos de transacción, ya que las áreas con costo de oportunidad cercano al precio internacional de carbono (en esta simulación, US\$ 5.5/tCO₂) deciden no participar, aunque la reducción en la deforestación se reduce de forma menos drástica.

Gráfico 7: Impacto de los costos de transacción sobre la participación en REDD y la reducción de la deforestación (simulaciones con US\$ 1 billón en financiamiento internacional)

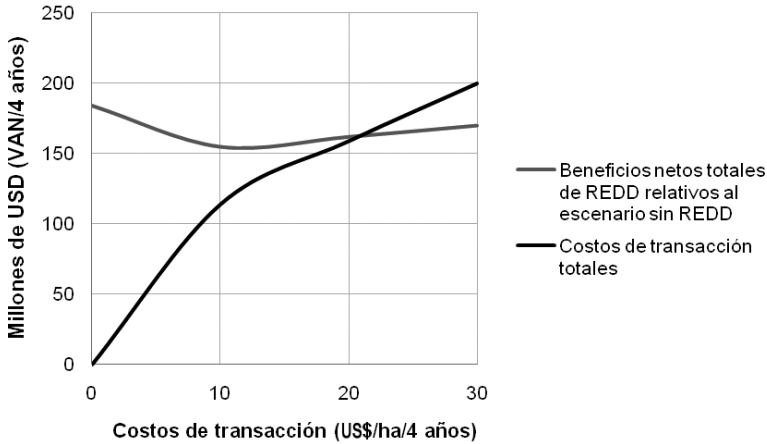


Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto los costos de transacción, y además el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante, que han sido ajustados para asegurar que los pagos brutos REDD equivalgan a US\$ 1 billón al mismo tiempo que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero).

El Gráfico 8 muestra que los costos de transacción totales suben rápidamente hasta alrededor de US\$ 200 millones por periodo de 4 años (20% del financiamiento total) si los costos de transacción alcanzan US\$ 30/ha/4 años. Esta cifra es cercana al 19% que surgió del Proyecto de Acción Climático Noel Kempff (Antorini y Sathaye, 2007). En contraste, los beneficios REDD netos no se ven casi afectados. Esto se debe a que los píxeles con beneficios netos cercanos a cero deciden no participar cuando los costos de transacción son incluidos.

En este caso, el US\$ 1 billón de financiamiento se distribuye entre menos píxeles, con mayores beneficios netos.

Gráfico 8: Impacto de los costos de transacción sobre los beneficios netos REDD (simulaciones teniendo en cuenta US\$ 1 billón de financiamiento internacional)



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. (Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto los costos de transacción, y además el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante, que han sido ajustados para asegurar que los pagos brutos REDD equivalgan a US\$ 1 billón al mismo tiempo que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero).

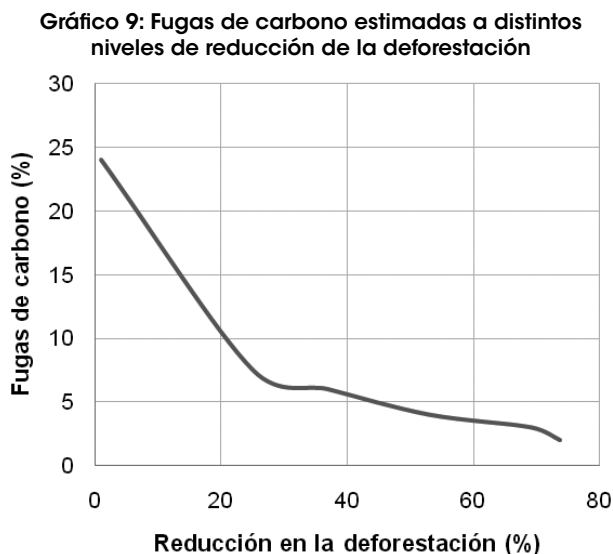
Por lo tanto, los costos de transacción suelen ser asumidos por los donantes, por lo menos en el caso de un fondo de tamaño fijo. Con costos de transacción en el rango del 20% de financiamiento total, las reducciones en la deforestación serían 27% más bajas que si no existiesen los costos de transacción. Por otra parte, los beneficios REDD para Bolivia serán 8% menores.

4.6. Fugas de carbono

Los mecanismos para reducir la deforestación se enfrentan al problema de las fugas de carbono o desplazamiento de la deforestación. Este fenómeno se produce cuando, debido a la subida de los precios agrícolas causada por la disminución de la deforestación en algunos lugares, aumenta la deforestación en otros. Niveles altos de fugas reducen la efectividad de los mecanismos para reducir la deforestación. En OSIRIS-Bolivia, las fugas se miden como

el volumen de aumento en las emisiones dividido por el volumen de reducción en las emisiones²⁶.

El nivel relativo de la fuga de carbono a medida que se reduce la deforestación es ambiguo. Por una parte, cuanto mayor sea el aumento de los precios agrícolas, mayor será el incentivo para aumentar la deforestación. La fuerza de este efecto viene dada por el parámetro “Sensibilidad del precio de producción doméstica a los cambios en el área deforestada”²⁷. Por otra parte, a medida que los pagos para reducir la deforestación incentivan la participación de forma más amplia, queda menos cubierta forestal para posibles fugas de carbono. Como se indica en el Gráfico 9, el segundo efecto tiende a dominar en OSIRIS, y por lo tanto las fugas son menores para mayores reducciones en la deforestación.



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante, que han sido ajustados para asegurar que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero).

Sohngen y Brown (2004) estiman que las fugas de carbono para el Proyecto de Acción Climático se encuentran entre 2 y 40%. Las predicciones de OSIRIS se encuentran en la mitad de este intervalo para niveles bajos de reducción de deforestación.

26 Variable endógena en la celda K21 de la hoja "SUMMARY".

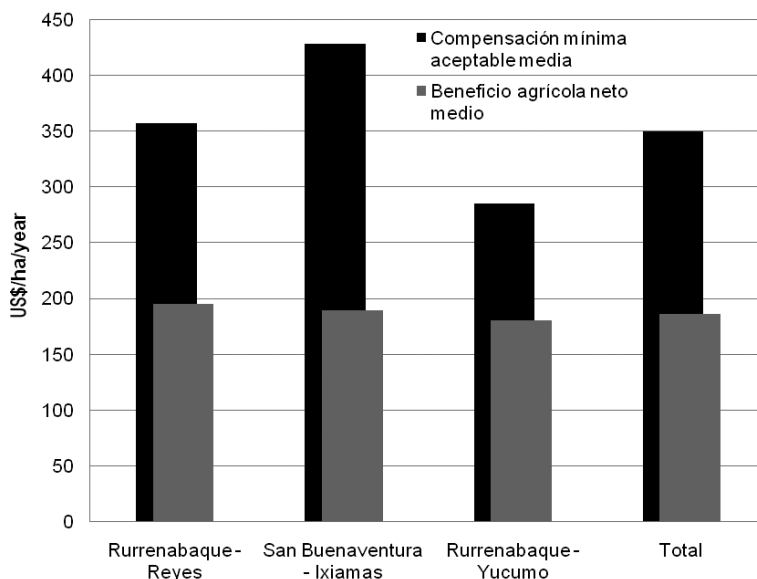
27 Celda B57 en la hoja "SUMMARY". El valor por defecto es 1.4.

4.7. Preferencias respecto a ingresos por medio de REDD o agricultura

Supusimos inicialmente que un dólar proveniente de pagos REDD tendría un efecto igual y opuesto sobre la deforestación que un dólar de ingresos agrícolas. Sin embargo, preocupaciones acerca de la oferta alimentaria o poca familiaridad con el mecanismo REDD podrían implicar que los propietarios de tierra prefiriesen ingresos por medio de la agricultura que por medio de REDD, justificando un $\gamma > 1$. Existen también argumentos que podrían justificar que γ fuese menor que uno. Por ejemplo, los agricultores pueden ser capaces de obtener tiempo libre al no tener que dedicarse a la agricultura, e incluso buscar rentas alternativas a la agricultura y a los pagos por REDD.

Un estudio empírico diseñado para establecer los costos de oportunidad en Bolivia encontró que los agricultores, al ser preguntados por la compensación mínima que necesitarían para renunciar a sus actividades agrícolas, demandaron una compensación anual que era casi el doble que sus rentas agrícolas (Gráfico 10) (Leguía, Malky y Ledezma, 2011). Esto puede deberse a que los agricultores tienden a subestimar sus costos laborales y por lo tanto sobrestimar sus beneficios netos. También puede deberse a que tienen una fuerte preferencia hacia las rentas agrícolas que son familiares y aportan seguridad en cuanto a suficiencia y seguridad alimentaria, al contrario de las rentas de REDD, que no son familiares.

Gráfico 10: Comparación de beneficios netos agrícolas y mínimos pagos por compensación. Estudio llevado a cabo en el noroeste de Bolivia

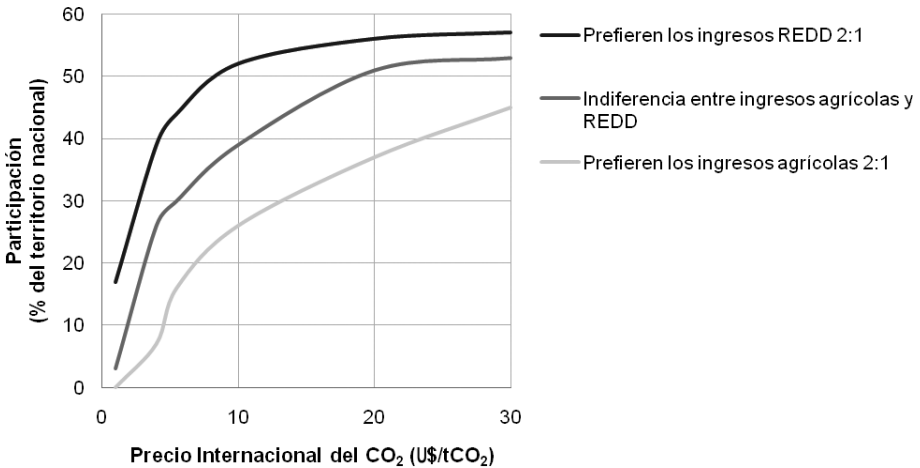


Fuente: Leguía, Malky y Ledezma (2011)

OSIRIS-Bolivia permite al usuario cambiar las preferencias entre rentas agrícolas y rentas REDD²⁸. El Gráfico 11 muestra cómo la participación en REDD sería considerablemente menor si los agentes tuvieran una preferencia por las rentas agrícolas en vez de los pagos por REDD, especialmente con precios de CO₂ bajos. Por ejemplo, bajo el precio de US\$ 5/tCO₂, la participación sería del 16% en vez del 30% si los agricultores requiriesen US\$ 2 de pagos REDD para compensar US\$ 1 de rentas agrícolas. Sin embargo, si existen precios elevados de CO₂, hasta aquellos con preferencias fuertes hacia ingresos agropecuarios querrían participar en el mecanismo REDD. Por otra parte, si los agricultores prefieren REDD sobre las rentas agrícolas, entonces la participación sería del 45% hasta con el precio de US\$ 5/tCO₂.

28. Celda B54 en la hoja "SUMMARY." El valor por defecto es 1.

Gráfico 11: Participación en REDD dependiendo de las preferencias respecto a las rentas agrícolas y a los pagos por carbono



Fuente: OSIRIS-Bolivia v. 2.0. Todos los parámetros están mantenidos al valor por defecto, excepto el precio del carbono y el parámetro que indica cómo se comparten las rentas entre el Gobierno central y la población participante, que han sido ajustados para asegurar que las rentas del Gobierno central sean iguales a cero).

5. Conclusiones y recomendaciones

El mecanismo REDD+ internacional sigue en la fase de diseño y negociación, y existe un requerimiento de información cuantitativa que pueda servir de guía en el proceso para asegurar que el mecanismo resultante sea justo y efectivo y reciba los fondos suficientes para reducir la deforestación. La herramienta presentada en este documento, OSIRIS-Bolivia, nace con la intención de ayudar a llenar el vacío de información cuantitativa. Nos permite llegar a una serie de conclusiones en cuanto a los impactos socioeconómicos y sociales de un mecanismo enfocado en compensaciones por reducciones en emisiones causadas por deforestación.

En primer lugar, es probable que la cantidad de financiamiento internacional requerida para reducir la deforestación en Bolivia sea elevada. En términos relativos, puede ser más barato reducir la deforestación en Bolivia que en países ricos, pero en términos absolutos se requerirán cientos de millones de dólares de financiamiento internacional cada año para reducir la deforestación de forma significativa a través del mecanismo REDD. Por ejemplo, una reducción del 50% requeriría al menos US\$ 700 millones por año en pagos REDD brutos.

En segundo lugar, es muy probable que los beneficios que surjan de estas transferencias internacionales estén extremadamente concentrados. Tanto la población urbana como la población rural en el Altiplano sin bosque serán automáticamente excluidas del mecanismo, ya que está orientado a reducir la deforestación. Sin embargo, hasta dentro de las zonas con bosque, los fondos serán distribuidos de forma desigual porque la deforestación misma está distribuida de forma desigual en el escenario de referencia. Los resultados muestran que municipios con menos del 5% de la población reciben más del 90% de los beneficios netos de REDD (beneficios brutos menos beneficios agrícolas sacrificados). Además, la distribución de estas rentas podría tener un componente arbitrario, dependiendo de cómo se asignen los niveles de referencia. Si REDD fuera implementado en Bolivia sería importante hacer un esfuerzo para mejorar los efectos distributivos, aún si esto tendría un costo en términos de una reducción en la eficiencia en la reducción de la deforestación.

En tercer lugar, los precios agrícolas pueden ser bastante sensibles a reducciones en la producción agrícola, por lo cual es importante que al menos una parte de los pagos REDD estén dirigidos a mejorar la productividad agrícola sobre tierra ya deforestada. Posiblemente se produzcan inversiones en intensificación agrícola debido a la creciente escasez de tierra causada por el mecanismo, pero también se podría apoyar este proceso con asistencia técnica y políticas que incentiven la agricultura en áreas deforestadas previamente.

En cuarto lugar, las fugas de carbono son un problema potencialmente importante si no se implementa el mecanismo a nivel nacional. La mayoría de los agricultores en las áreas boscosas de Bolivia son emigrantes o descendientes de emigrantes, con lo cual tienen un alto grado de movilidad y una red familiar amplia. Por lo tanto, podrían potencialmente participar en REDD en un área y usar esas rentas para practicar la agricultura en otro área. Esto quiere decir que el mecanismo REDD en Bolivia no sería efectivo si no se implantase a escala nacional.

A pesar de que OSIRIS-Bolivia está basado en grandes cantidades de datos, es un modelo económico simplificado y se debe usar teniendo en cuenta sus limitaciones. El modelo se concentra exclusivamente en incentivos económicos positivos para reducir la deforestación, pero los resultados reales dependerán del entorno político en que estas medidas se apliquen. Por ejemplo, los incentivos positivos probablemente serían más eficientes si se combinan con un buen control y penalización de la deforestación ilegal, mientras que serían mucho menos efectivos en presencia de políticas que apoyen la expansión de la frontera agrícola. Otros factores externos, como la evolución de los precios de los alimentos, también pueden tener un efecto mayor sobre la deforestación que los incentivos positivos en OSIRIS.

Las simulaciones en OSIRIS-Bolivia se enfocan en el pago a los propietarios o municipalidades por reducciones de emisiones de carbono por debajo de un nivel de referencia establecido. Sin embargo, podría ser poco práctico y muy costoso establecer niveles de referencia para propietarios individuales y certificar la reducción de sus emisiones para pagarles una compensación adecuada. Más aun, los resultados de OSIRIS-Bolivia muestran que la distribución de los beneficios bajo tal mecanismo puede estar altamente concentrada. Mecanismos más simples que no requieren el cálculo elaborado de niveles de referencia y contabilidad de carbono costosa pueden ser más susceptibles de ser implementados a gran escala. Los programas PSE de Costa Rica (Rodríguez-Zúñiga, 2003) y Socio Bosque de Ecuador (Koning, Aguiñaga, Bravo, Chiu, Lascano, Lozada y Suarez, 2011) son ejemplos de mecanismos mucho más simples de contratos de conservación de largo plazo que realizan pagos semi-anales a los propietarios. Investigaciones futuras deberían considerar extensiones de OSIRIS-Bolivia que analicen estos tipos de incentivos, para que los efectos multidimensionales de diferentes tipos de incentivos puedan ser comparados.

Por último, se debe resaltar que los datos usados para OSIRIS-Bolivia son de hace una década aproximadamente, y la situación puede haber cambiado. Por lo tanto, el análisis debe ser actualizado cuando existan datos de un nuevo censo poblacional y datos más actualizados sobre la deforestación.

Artículo recibido en: 10 de abril de 2012

Manejado por: ABCE

Aceptado en: 8 de septiembre de 2014

Referencias

1. Andersen, L. E., J. Busch, E. Curran, J. C. Ledezma y J. Mayorga (2012). *Open Source Impacts of REDD+ Incentives Spreadsheet – Bolivia* (OSIRIS-Bolivia).
Version 2.0: <<http://www.conservation.org/osiris>>, Downloaded 1 March 2012.
2. Andersen, L. E., C. W. J. Granger, E. J. Reis, D. Weinhold y S. Wunder (2002). *The Dynamics of Deforestation and Economic Growth in the Brazilian Amazon*. Cambridge: Cambridge University Press
3. Andersen, L. E. (2006). “El impacto de los cambios en el uso de suelo sobre la economía en el departamento de Santa Cruz.” Development Research Working Paper Series N°. 11/2006, Institute for Advanced Development Studies, La Paz, Bolivia, September.
4. Andersen, L. E. (2009). “Cambio climático en Bolivia: impactos sobre bosque y biodiversidad.” Development Research Working Paper Series N°. 11/2009, Institute for Advanced Development Studies, La Paz, Bolivia, December.
5. Angelsen, A. y S. Wertz-Kanounnikoff (2008). *Moving Ahead with REDD*. CIFOR, Bogor, Indonesia.
6. Antorini, C. y J. Sathaye (2007). “Assessing transaction costs of project-based greenhouse gas emissions trading”. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, January.
7. Barbier, E. B. (2001). “The Economics of Tropical Deforestation and Land Use: An Introduction to the Special Issue”, *Land Economics* 77(2), 155-171.
8. Bolivia (2009). “Estrategia nacional de bosque y cambio climático.” Ministerio de Medio Ambiente y Agua. La Paz.
9. Borner, J. y S. Wunder (2008). “Paying for avoided deforestation in the Brazilian Amazon: From cost assessment to scheme design.” *International Forest Review*, 10:496–511.
10. Busch, J., B. Strassburg, A. Cattaneo, R. Lubowski, A. Bruner, R. Rice, A. Creed, R. Ashton y F. Boltz (2009). “Comparing climate and cost impacts of reference levels for reducing emissions from deforestation.” *Environmental Research Letters*, 4:044006 (11 pp.). doi:10.1088/1748-9326/4/4/044006.
11. Busch, J., R. Lubowski, F. Godoy, D. Juhn, K. Austin, J. Hewson, M. Steininger, M. Farid y F. Boltz (2012). “Structuring economic incentives to reduce emissions from deforestation in Indonesia.” *PNAS*, 109 (4) 1062-1067; published ahead of print January 9, 2012, doi:10.1073/pnas.1109034109

12. Butler, R., L. P. Koh y J. Ghazoul (2009). "REDD in the red: palm oil could undermine carbon payment schemes." *Conservation Letters* 2:67-73.
13. Cortez, R., R. Saines, B. Griscom, M. Martin, D. De Deo, G. Fishbein, J. Kerkering y D. Marsh (2010). *A Nested Approach to REDD+. Structuring effective and transparent incentive mechanisms for REDD+ implementation at multiple scales*. The Nature Conservancy, Arlington, VA.
14. FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC (2009). *Harmonized World Soil Database (version 1.1)*. FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria.
15. FAO (2010). "Global Forest Resources Assessment 2010." Forestry Paper N° 163. Rome, Italy.
16. Golub, A., T. Hertel, H. Lee, S. Rose y B. Sohngen (2009). "The opportunity cost of land use and the global potential for greenhouse gas mitigation in agriculture and forestry." *Resource and Energy Economics*, 31(4), 299-319. doi:10.1016/j.reseneeco.2009.04.007
17. Grieg-Gran, M. (2006). *The Cost of Avoiding Deforestation. Report prepared for the Stern Review of the Economics of Climate Change*. International Institute for Environment and Development (IIED). London, United Kingdom. 20 pp.
18. Gregersen, H., H. El Lakany, A. Karsenty y A. White (2010). *Does the opportunity cost approach indicate the real cost of REDD+? Rights and realities of paying for REDD+. Rights and Resources Initiative*. Washington, DC, USA.
19. Ibisch, P. L., S. G. Beck, B. Gerkmann y A. Carretero A. (2003). "Ecoregiones y ecosistemas." En: P. L. Ibisch y G. Mérida (eds.) (2003) *Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación*. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Editorial FAN.
20. Ibisch, P. L. y G. Mérida (2003). *Biodiversidad: la riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Editorial FAN.
21. Jemio, L. C. (2011). *Cuentas ambientales: medioambiente y economía en Bolivia*. La Paz: Plural editores.
22. Killeen, T. J., V. Calderon, L. Soria, B. Quezada, M. K. Steininger, G. Harper, L. A. Solórzano y C. J. Tucker (2007). "Thirty Years of Land-cover Change in Bolivia." *Ambio*, 36(7): 600-606.

23. Killeen, T.J., A. Guerra, M. Calzada, L. Correa, V. Calderon, L. Soria, B. Quezada y M. K. Steininger (2008). "Total historical land-use change in eastern Bolivia: Who, where, when, and how much?" *Ecology and Society*, 13(1): 36.
(URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art36/>).
24. Kindermann, G.E., M. Obersteiner, B. Sohngen, J. Sathaye, K. Andrasko, E. Rametsteiner, B. Schlamadinger, S. Wunder y R. Beach. (2008). "Global cost estimates of reducing carbon emissions through avoided deforestation." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(30):10302-10307.
25. De Koning, F, M. Aguiñaga, M. Bravo, M. Chiu, M. Lascano, T. Lozada y L. Suarez (2011). "Bridging the gap between forest conservation and poverty alleviation: the Ecuadorian Socio Bosque program." *Environmental Science & Policy*, 14(5): 531–542.
26. Leguía, D., A. Malky y J. C. Ledezma (2011). "Análisis del costo de oportunidad de la deforestación evitada en el noroeste amazónico de Bolivia." *Conservation Strategy Fund*. La Paz.
27. Lubowski R. N., a. Plantinga y R. N. Stavins (2006). "Land-use change and carbon sinks: Econometric estimation of the carbon sequestration supply function." *Journal of Environmental Economics and Management*, 51(2):135–152.
28. McCann, L., B. Colby, K. W. Easter, A. Kasterine y K. Kuperan (2005). "Transaction cost measurement for evaluating environmental policies." *Ecological Economics*, 52(4): 527-542.
29. Murray, B. C. (2008). *Leakage From an Avoided Deforestation Compensation Policy*. Nicholas Institute, Durham, NC.
30. Murray, B. C., R. Lubowski y B. Sohngen (2009). *Including International Forest Carbon Incentives in Climate Policy: Understanding the Economics*. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Duke University, Durham, NC.
31. Naidoo, R. y T. Iwamura (2007). "Global-scale mapping of economic benefits from agricultural lands: Implications for conservation priorities." *Biological Conservation*, 140(1-2): 40-49.
32. Naucler, T. y P.A. Enkvist (2009). *Pathways to a low-carbon economy: Version 2 of the global greenhouse gas abatement cost curve*. McKinsey & Company. 192 pp;
Disponble en:
<https://solutions.mckinsey.com/ClimateDesk/default.aspx>.
33. Nowicki, C., A. Ley, R. Caballero, J.H. Sommer, W. Barthlott y P.L. Ibisch (2004). "Extrapolating distribution ranges - BIOM 1.1., a computerized bio-climatic model for the

- extrapolation of species ranges and diversity patterns.* En: R. Vasquez Ch. y P.L. Ibisch (eds.): *Orchids of Bolivia. Diversity and conservation status*. Vol. 2.Laeliinae, Polystachyinae, Sobraliinae with update and complementation of the Pleurothallidinae. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Editorial FAN, pp. 39-68.
34. Pagiola, S. y B. Bosquet (2009). “*Estimating the costs of REDD at the country level.*” Forest Carbon Partnership Facility.
Disponible en:
URL: http://mpraub.uni-muenchen.de/18062/1/MPPA_paper_18062.pdf
35. Pacheco, P. (2010). “Análisis de los impactos de la legislación boliviana de tierras, forestal y medio ambiente sobre la deforestación y degradación forestal”. Estudio elaborado en el marco de la preparación de RPP y financiado por GTZ.
36. Pedroni, L., M. Dutschke, C. Streck y M. Estrada-Porrúa (2009). “*Creating incentives for avoiding further deforestation: The nested approach.*” *Climate Policy*, 9:207–220.
37. Pfaff, A., S. Kerr, L. Lipper, R. Cavatassi, B. Davis, J. Hendy y G. A. Sanchez-Azofeifa (2007). “*Will buying tropical forest carbon benefit the poor? Evidence from Costa Rica.*” *Land Use Policy*, 24:600–610.
38. Plantinga, A.J., T. Mauldin y D. J. Miller (1999) “*An econometric analysis of the costs of sequestering carbon in forests.*” *American Journal of Agricultural Economics*, 81:812–824.
39. Rodríguez-Zúñiga, J. M. (2003). “Pago por los servicios ambientales: la experiencia de Costa Rica.” *Revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, 54(1), 31-33.
40. Roper, J. M. (2003). “*Bolivian Legal Reforms and Local Indigenous Organizations: Opportunities and Obstacles in a Lowland Municipality.*” *Latin American Perspectives*, 30(1): 139-161.
41. Ruesch, A., Y H. K. Gibbs (2008). *New IPCC Tier-1 Global Biomass Carbon Map for the Year 2000*.
Disponible en línea from the Carbon Dioxide Information Analysis Center (URL: <http://cdiac.ornl.gov>), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
42. Sangermano, F., J. Toledano y J. R. Eastman (2012). “*Land cover change in the Bolivian Amazon and its implications for REDD+ and endemic biodiversity.*” *Landscape Ecology*, Online First.
doi 10.1007/s10980-012-9710-y.

43. Soares-Filho, B., P. Moutinho, D. Nepstad, A. Anderson, H. Rodrigues, R. Garcia, L. Dietzsch, F. Merry, M. Bowman, L. Hissa, R. Silvestrini y C. Maretti (2010). "Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(24): 10821-10826.
44. Sohngen, B. y S. Brown (2004). "Measuring leakage from carbon projects in open economies: a stop timber harvesting project in Bolivia as a case study." *Canadian Journal of Forestry Research*, 34: 829-839.
45. Stavins, R. N. (1999). "The costs of carbon sequestration: A revealed-preference approach." *American Economic Review*, 89(4), 994-1009.
46. Stern, N. (2006). *Stern Review: The economics of climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
47. Strassburg, B., K. Turner, B. Fisher, R. Schaeffer y A. Lovett (2009). "Reducing emissions from deforestation: The "combined incentives" mechanism and empirical simulations." *Global Environmental Change*, 19(2): 265-278.
48. Venter, O., E. Meijaard, H. Possingham, R. Dennis, D. Sheil, S. Wich, L. Hovani y K. Wilson (2009). "Carbon payments as a safeguard for threatened tropical mammals." *Conservation Letters*, 2:123-129.
49. Warr, P. y A. Yusuf (2011). "Reducing Indonesia's deforestation-based greenhouse gas emissions." *Australian Journal of Agricultural Resource Economics*, 55: 297-321.
50. Wooldridge, J. M. (2002). *Econometric Analysis of Cross-Section and Panel Data*. Cambridge, MA: MIT Press.
51. World Bank Institute (2011). *Estimating the Opportunity Costs of REDD*. The World Bank, Washington, DC.

Anexo

Cuadro A1
Lista de los valores por defecto en OSIRIS v. 2.0

Nombre	Valor US\$
Precio global del carbono (\$/tCO ₂ e)	5,50
Nivel de referencia en Bolivia como porción del nivel BAU	1,00
Porción del precio global del carbono retenido por el gobierno a causa de la reducción de emisiones por debajo del nivel de referencia	0,07
Porción del precio global del carbonopagado por el gobierno a causa del aumento de emisiones por encima del nivel de referencia	1,00
Niveles de referencia: 1 = histórico; 2 = BAU; 3 = "incentivos combinados"	2
Nivel de referencia estatal como porción del nivel BAU provincial	1,00
Nivel de referencia municipal como porción del nivel BAU a nivel distrito	1,00
Nivel de referencia del pixel como porción del nivel BAU del pixel	1,00
Suelo del nivel de referencia estatal, como porción del nivel medio nacional de emisiones	-
Suelo del nivel de referencia municipal, como porción del nivel medio nacional de emisiones	-
Suelo del nivel de referencia a nivel pixel, como porción del nivel medio nacional de emisiones	-
Incentivos Combinados: peso del nivel de referencia estatal en el nivel histórico nacional de emisiones vs. Nivel de emisiones estatales históricas	0,50
Incentivos Combinados: peso del nivel de referencia municipal en el nivel histórico nacional de emisiones vs. Nivel de emisiones municipales históricas	0,50
Incentivos Combinados: peso del nivel de referencia a nivel pixel en el nivel histórico nacional de emisiones vs. Nivel de emisiones a nivel pixel históricas	0,50
Elegible para participar en REDD+	1
Contabilidad nacional	1
Contabilidad estatal	-
Contabilidad municipal	1
Contabilidad a nivel pixel	-
Porcentaje del suelo incluido en el factor de emisión	0,1
Preferencia social por las rentas agrícolas relativas a las rentas derivadas de REDD.	1,0
Sensibilidad del precio de producción domestico a los cambios en área deforestada	1,4
Aumento exógeno en los precios agrícolas (a causa de la reducción de área agrícola global por la reducción global de deforestación gracias a REDD+)	0,0
Costos de iniciación (US\$; NPV)	\$0
Costos de transacción por hectárea (US\$/4yr)	\$0

Social Impacts of Climate Change in Bolivia: A municipal level analysis of the effects of recent climate change on life expectancy, consumption, poverty and inequality

Impactos sociales del cambio climático en Bolivia: un análisis a nivel municipal de los efectos del cambio climático reciente sobre esperanza de vida, consumo, pobreza y desigualdad

*Lykke E. Andersen**

*Dorte Verner***

Abstract

This paper analyzes the direct evidence of climate change in Bolivia during the last 60 years, and estimates how these changes have affected life expectancy and consumption levels for each of the 311 municipalities in Bolivia. Contrary to the predictions of most General Circulation models, the evidence shows a consistent cooling trend of about 0.2°C per decade over all highland areas, slight and scattered evidence of warming in the lowlands,

* Institute for Advanced Development Studies (INESAD) and Universidad Privada Boliviana (UPB), La Paz, Bolivia.
Contact: landersen@inesad.edu.bo

** Office of Evaluation and Oversight, Inter-American Development Bank, Washington D.C.
Contact: DORTEV@iadb.org

and no systematic changes in precipitation. The estimations indicate that the 1°C cooling experienced in the already cold highlands over the last five decades likely has reduced consumption possibilities by about 2-3% in these areas. Since the much richer population in the lowlands have benefitted slightly from recent climate change, our simulations suggest that recent climate change has contributed to an increase in inequality and poverty in Bolivia. Poor and indigenous peoples in the highlands are among the most severely affected populations. No statistically significant effect on life expectancy was found.

Keywords: Climate change, social impacts, Bolivia.

Resumen

Este estudio analiza la evidencia directa del cambio climático en Bolivia durante los últimos 60 años y realiza una estimación de los efectos de estos cambios sobre la esperanza de vida y el nivel de consumo en cada uno de los 311 municipios de Bolivia. En contradicción con la mayoría de los modelos de circulación global, la evidencia directa muestra una tendencia consistente de enfriamiento de aproximadamente 0.2°C por década en el Altiplano, evidencia esporádica de calentamiento en las tierras bajas, y ninguna tendencia sistemática en las precipitaciones. Las estimaciones indican que el enfriamiento observado de 1°C en las áreas ya frías del Altiplano durante las últimas cinco décadas probablemente ha reducido el nivel de consumo en 2-3 por ciento en estas áreas. Dado que la población más rica de las tierras bajas se ha beneficiado levemente del cambio climático reciente, nuestras simulaciones sugieren que el cambio climático reciente ha contribuido a un aumento en la pobreza y la desigualdad en Bolivia. Los habitantes pobres e indígenas del Altiplano son los que más han sido afectados. No se ha encontrado un efecto significativo sobre la esperanza de vida.

Palabras clave: Cambio climático, impactos sociales, Bolivia.

Classification/Clasificación JEL: Q51, Q54, O15, O19, O54.

1. Introduction¹

Although Bolivia is located entirely within the tropics, the large altitude variations within the country imply that it has almost every conceivable type of climate ranging from Andean glaciers, via salt deserts, to steaming rainforest. This variation makes Bolivia ideally suited for an empirical analysis of the social impacts of climate change because the limited variation in the time dimension can be complemented by ample variation in the spatial dimension.

A simple way to gauge how climate affects human development is to compare human development across regions with different climates. This has, for example, been done by Horowitz (2006), which uses a cross-section of 156 countries to estimate the relationship between temperature and income level. The overall relationship found is very strongly negative, with a 2°F increase in global temperatures implying a 13 % drop in income. This is very dramatic, but the relationship is thought to be mostly historical and thus not very relevant for the prediction of the contemporary effects of climate change in the recent past or near future. In order to control for historical factors, the paper includes colonial mortality rates as an explanatory variable, and finds a much more limited, but still highly significant, contemporaneous effect of temperature on incomes. The contemporaneous relationship estimated implies that a 2°F increase in global temperatures would cause approximately a 3.5% drop in World GDP.

In order to further control for historical differences, Horowitz (2006) uses more homogeneous sub-samples, such as one with only OECD countries or only countries from the Former Soviet Union, and the negative relationship still holds. However, as directions for further research, he recommends empirical studies of income and temperature variations within large, heterogeneous countries, which would provide much more thorough control for historical differences. This is exactly what we do in this paper.

Using data from the 311 municipalities in Bolivia, we estimate contemporary relationships between temperature and consumption levels (a proxy for income), as well as between temperature and life expectancy. These relationships are then used to gauge the likely direction and magnitude of effects of climate change in Bolivia.

¹ This paper forms part of the World Bank research project "Social Impacts of Climate Change and Environmental Degradation in the LAC Region." The authors greatly appreciate the comments, suggestions and inputs received from Pablo Fajnzylber, Kirk Hamilton, Jacoby Hanan, Jens Hesselbjerg Christensen, Jakob Kronik, Andrea Liverani, Joergen Eivind Olesen, Claus Pörrner, Tine Rossing, Olivier Rubin, Emmanuel Skoufias, Fabián Soria and Addy Suxo. The findings, interpretations and conclusions expressed in this paper are those of the authors and do not necessarily reflect the views of the Executive Directors of The World Bank or the governments they represent.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 describes the data and the sources. Section 3 estimates municipal level econometric models of the relationships between climate variables, life expectancy, and consumption levels. Section 4 analyzes climate change in Bolivia from 1948 to 2008. Section 5 uses the estimated models from Section 3 to simulate the effect of recent climate change (from Section 4) on consumption levels, poverty and inequality. Finally, Section 6 concludes.

2. The data

The data used for this paper consists of both cross-section and time series data. The municipal level cross-section data base used to estimate the relationships between climate, development and migration in Bolivia is constructed using data from several different sources. Table 1 lists the variables, their definitions and the sources of the information.

Table 1
Variables in the municipal level data base for Bolivia

Variable	Definition	Unit	Source
Total population	The number of inhabitants in the municipality	10,000 persons	2001 Census
Urbanization rate	The share of the population who lives in urban areas, where urban is defined as human settlements that have more than 2000 inhabitants	-	2001 Census
Years of education	Average number of years of education of working age population in 2001	Years	PNUD (2004)
Life expectancy	Life expectancy at birth for each municipality in 2001	Years	PNUD (2004)
Per capita consumption	Average household consumption per capita in purchasing power adjusted international dollars of 2001	USD/month	PNUD (2004)
Elevation	Elevation of the main city in the municipality	Kilometers above sea level	Conservation International's GIS database
Normal average annual temperature	The average annual temperature in the main city of the municipality as measured over a reference period (typically 1961-1990)	°C	Conservation International's GIS database
Normal annual precipitation	The average annual precipitation in the main city of the municipality as measured over a reference period (usually 1961-1990)	meters	Conservation International's GIS database

In order to assess the climate change trends in the different parts of Bolivia, we obtained monthly temperature and precipitation data from 1948 to 2008 from the Monthly Climatic Data for the World (MCDW), publication of the US National Climatic Data Center². The original data is organized in 61 printed volumes with 12 issues in each (one for each month of the year), totaling 721 months. All data has been quality-checked and was published by the NCDC about 3 months after the raw data has been collected. From each of these monthly issues, we extracted average monthly temperature and total monthly for each of 31 Bolivian stations, in order to create time series for each station.

The “normal” temperature for each station-month is calculated as the average temperature observed for the reference period 1960-90. Some stations have so few and scattered observations that it is not feasible to calculate reliable “normal” temperatures, and these stations have therefore been discarded. Only the stations that have at least eight observations for each calendar month during the reference period were included in the analysis in this paper. An additional requirement for inclusion of a data station in the present analysis is that it has at least 300 out of the 721 possible monthly observations. The 18 stations that satisfy both of these requirements are listed in Table 2.

Table 2
Meteorological stations in Bolivia with adequate monthly data from 1948 to 2008

Station	Latitude	Longitude	Elevation (m)
Camiri	20°00'S	63°32'W	798
Charaña	17°35'S	69°36'W	4054
Cobija	11°02'S	68°47'W	235
Cochabamba	17°25'S	66°11'W	2548
Concepción	16°09'S	62°01'W	497
La Paz / El Alto	16°31'S	68°11'W	4058
Oruro	17°58'S	67°04'W	3707
Puerto Suarez	18°59'S	57°49'W	134
Riberalta	11°00'S	66°07'W	141
Roboré	18°19'S	59°46'W	276
Rurrenabaque	14°28'S	67°34'W	204
San Ignacio de Velasco	16°23'S	60°58'W	413
San Joaquín	13°04'S	64°49'W	140

² This data is available for free at <http://www7.ncdc.noaa.gov/IPSMCDW/mcdw.html>.

Station	Latitude	Longitude	Elevation (m)
Santa Cruz Trompillo	17°48'S	63°11'W	418
Sucre	19°01'S	65°18'W	2904
Tarija	21°33'S	64°42'W	1854
Trinidad	14°49'S	64°55'W	155
Yacuiba	21°57'S	63°39'W	645

Source: NCDC's Monthly Climatic Data for the World

Table 3 shows the average “normal” temperatures for each month for each of these stations. It is seen that the climate differs dramatically from region to region, with Charaña in the far west being cold throughout the year due to the high elevation, while most low-land regions are hot throughout the year due to the location close to the Equator.

The difference in temperature between the warmest and the coldest month also varies. In Cobija and Riberalta, for example, the difference between the warmest and the coldest month is less than 3°C. Yacuiba is the southernmost station in Bolivia and therefore the station that shows the most marked temperature variations over the year, but the difference between the warmest and the coldest month is still only 11°C.

Table 3
Average monthly temperature (°C) for 1960-1990, by station

Station	Month												Year
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Camiri	26.2	25.6	24.5	22.4	20.2	17.6	18.4	20.7	23.4	25.5	26.2	26.6	23.1
Charaña	10.4	10.2	9.7	8.7	6.4	4.4	3.9	5.5	7.8	9.5	11.0	11.1	8.3
Cobija	26.0	26.1	26.0	25.7	25.2	24.0	24.3	25.6	26.6	27.0	26.7	26.4	25.8
Cochabamba	19.5	19.1	19.1	18.6	16.7	14.7	15.0	16.9	19.1	21.0	21.4	20.2	18.5
Concepción	25.7	25.6	25.5	24.6	23.0	21.4	21.8	23.9	25.7	26.5	26.2	26.0	24.7
La Paz / El Alto	9.1	9.0	8.9	8.8	8.2	7.3	6.9	8.1	8.7	10.1	10.5	9.7	8.8
Oruro	12.9	12.5	12.6	11.5	8.5	6.3	6.2	8.3	10.6	12.7	14.0	13.5	10.8
Puerto Suarez	28.6	28.2	27.5	26.8	24.4	22.5	22.7	24.7	26.6	28.7	28.8	28.7	26.6
Riberalta	27.2	26.9	27.2	27.1	26.5	25.6	26.1	27.4	28.1	28.3	27.8	27.3	27.1
Roboré	28.3	27.9	27.2	25.8	23.6	22.2	22.8	24.9	26.6	28.2	28.5	28.6	26.3
Rurrenabaque	27.1	26.9	26.9	26.5	24.9	23.3	23.2	24.9	26.5	27.6	27.8	27.5	26.1
San Ignacio de Velasco	26.5	26.3	25.9	24.8	23.2	21.3	21.8	23.8	26.1	27.4	27.0	26.8	25.2

Station	Month												Year
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
San Joaquín	27.3	27.0	26.9	26.9	25.9	24.9	25.3	26.7	28.0	27.9	28.0	27.0	26.8
Santa Cruz Trompillo	26.7	26.6	26.2	24.7	22.6	20.4	21.0	23.0	24.9	26.4	27.1	27.1	24.8
Sucre	16.4	15.8	15.9	15.4	15.2	13.8	13.9	14.8	16.1	17.1	17.4	16.7	15.7
Tarija	21.7	21.4	20.8	19.2	17.1	14.8	15.1	16.3	18.6	20.9	21.8	21.8	19.1
Trinidad	27.2	27.3	27.3	26.7	25.5	23.8	24.3	25.6	27.1	28.0	27.9	27.6	26.6
Yacuiba	26.7	26.0	24.2	21.3	19.0	16.0	16.8	19.4	22.6	25.5	26.5	27.0	22.6

Source: Authors' estimation based on data from the NCDC's Monthly Climatic Data for the World

Using the “normal” values for each station and each month, we calculate monthly anomalies for each station for the whole period (actual temperature minus normal temperature for that month). Anomalies are easier to analyze than the raw temperature and precipitation data, since the seasonal variation is eliminated through the subtraction of normal monthly temperatures. Figure A1 in the Annex plots the temperature anomalies for each station.

The precipitation data applied in the analyses have been subjected to the same procedure, and all precipitation anomalies are plotted in Figure A2 of the Annex.

3. Modeling climate and human development

Bolivia is a very heterogeneous country both with respect to climate and with respect to development. Some regions have extremely harsh climates with sub-zero temperatures most of the year and very little rain. Other regions are hot and constantly humid. Some people live in remote areas without road access in simple one-room dwellings without electricity, piped water, bathroom, or any other basic conveniences. Other people live in mansions with home cinema, swimming pool, fitness room, and servants.

This variation makes Bolivia ideally suited for estimating the impact of climate on development, as the limited variation in time can be complemented by ample variation in space, while still holding the most important confounding variables constant.

As proxies for human development, we will use the following two variables: (i) life expectancy at birth, and (ii) consumption *per capita*.

Across the 311 municipalities in Bolivia, life expectancy at birth varies between 40 and 70 years, while annual consumption *per capita* varies between US\$ 245 and US\$ 2,565 (purchasing power adjusted international dollars of the year 2001).

The variables of principal interest are the climate variables: average temperature and average precipitation. Simple correlations between these and the two human development variables are presented in Table 4. According to these simple correlations, warm and wet is good, while cold and dry is bad for human development.

Table 4
Correlations between climate variables and HDI at the municipal level

Variable	Correlation with Life expectancy	Correlation with Consumption
Average annual temperature	0.46	0.34
Average annual precipitation	0.29	0.26

In order to control for other differences between municipalities, we include the climate variables in a regression framework together with two important control variables: Education levels and urbanization rates, which are both unlikely to be affected by climate changes in the short run, but are clearly related to life expectancy and consumption levels. It is also important to allow for non-linear effects, as both too high and too low temperatures may be unfavorable for human development, just as both too much and too little rain may cause problems (e.g. Mendelsohn, Nordhaus & Shaw, 1994; Quiggin & Horowitz, 1999; Masters & McMillan, 2001; Tol, 2005).

Thus, the regressions in this section will take the following form:

$$\ln c_i = \alpha + \beta_1 \cdot temp_i + \beta_2 \cdot temp_i^2 + \beta_3 \cdot rain_i + \beta_4 \cdot rain_i^2 + \beta_5 \cdot edu_i + \beta_6 \cdot urb_i + urb_i^2 + \varepsilon_i$$

where c_i is a measure of the consumption level in municipality i , $temp_i$ and $rain_i$ are normal average annual temperature and normal accumulated annual precipitation in municipality i , edu_i is a measure of the education level (average years of schooling of the population aged 15 and older), urb_i is the urbanization rate of the municipality, and ε_i is the error term for municipality i .

The life expectancy regression will take the same form as the consumption regression, except that we will not apply the natural logarithm to the dependent variable. Both regressions

are weighted OLS regressions, where the weights consist of the population size in each municipality. The regression results for both consumption and life expectancy are reported in Table 5.

Table 5
Estimated short-term relations between
climate and income/life expectancy in Bolivia

Explanatory variables	(1) (log per capita income)	(2) (life expectancy)
Constant	5.2046 (65.21)	50.2433 (43.57)
Temperature	0.0421 (4.53)	0.1352 (1.01)
Temperature ²	-0.0007 (-2.54)	0.0057 (1.34)
Precipitation	-0.0291 (-0.35)	-0.2318 (-0.19)
Precipitation ²	-0.0231 (-0.88)	-0.5805 (-1.52)
Education level	0.1940 (19.51)	1.3051 (9.08)
Urbanization rate	0.4429 (3.56)	7.8189 (4.35)
Urbanization rate ²	-0.3320 (-2.83)	-7.8159 (-4.61)
Number of obs.	311	311
R ²	0.9194	0.7407

Source: Authors' estimation based on assumptions explained in the text
Note: Numbers in parenthesis are t-values. When t-values are numerically larger than 2, we will consider the coefficient to be statistically significant, corresponding to a confidence level of 95%.

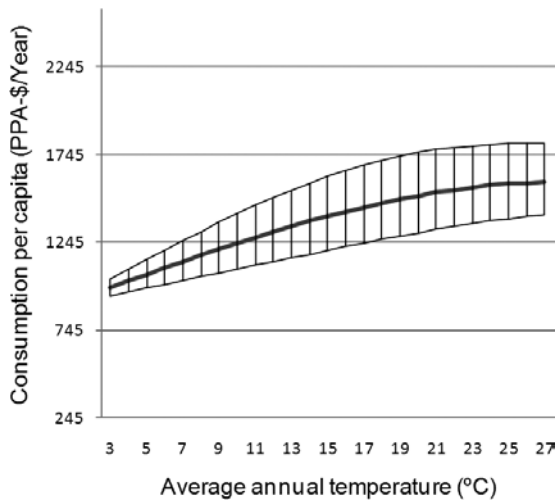
The results at the bottom of the table show that just these four explanatory variables (temperature, precipitation, education and urbanization rates) explain 92% of the variation in consumption levels between the municipalities in Bolivia. This is an extremely good fit, which suggests that we have included the most important explanatory variables, and that including additional variables would make little difference. The same four variables only explain about 74.5% of the variation in life expectancy, which is less impressive, but still very good for a cross-section model.

Education is by far the most important variable, explaining about 88% of the variation in consumption levels and about 54% of the variation in life expectancy. Urbanization rates

are also significant in both regressions, in a non-linear manner that suggests that the optimal urbanization rate is around 70% for consumption and about 50% for life expectancy.

The temperature variables are highly significant in explaining consumption, but not life expectancy. Precipitation is not significant in any of the regressions. As it is difficult to assess the non-linear effects of temperature directly by looking at the estimated coefficients, we have plotted the estimated relationship in Figure 1. The axes are scaled to represent the actual range of temperatures and consumption levels in different Bolivian municipalities, so that the magnitude of climate impacts can be seen in the appropriate perspective. A 95% confidence interval on the temperature-consumption relationship is also indicated in the graph.

Figure 1: Estimated short-term relationship between temperature and consumption levels in Bolivia



The estimated relationship indicates that Bolivians do considerably better in hot areas than in cold areas, even when controlling for other factors such as education attainment and urbanization levels. Inhabitants in the hottest regions are able to consume almost twice as much as inhabitants in the coldest regions. The slope is decreasing with temperature, suggesting that already hot areas would benefit only little in terms of consumption from additional increases in temperature, whereas presently cold areas would benefit more.

Having established that temperature has an important effect on consumption possibilities in Bolivia, we will now proceed to test whether there have been any significant changes in temperatures in Bolivia during the last 6 decades.

4. Recent climate change in Bolivia

In this section we will analyze climate data from the 18 meteorological stations of highest quality in Bolivia from May 1948 to May 2008 to test whether there are any significant trends, and whether these trends differ between regions.

The actual measured temperatures are first converted into temperature anomalies, by subtracting the average “normal” temperature for each station-month, as calculated for the reference period 1960-90. All the temperature anomaly series are plotted in Figure A1 in the Annex.

Once we have the series of temperature anomalies, it is straightforward to test whether there is a significant trend. This is done by regressing the anomaly on a trend-variable which has been scaled so that the coefficient can be directly interpreted as temperature change per decade in degrees Celsius. We use a confidence level of 95% to decide whether the trend is statistically significant, which means that the P-value of the trend coefficient should be less than 0.05 for the trend to be significant.

Table 6 shows the estimated trends in temperatures for each of the 18 stations in Bolivia. Of these, four stations show significant warming since the middle of the previous century and nine show no significant change, and 5 show significant cooling.

None of the stations in Bolivia get even close to having observations for all the 721 months in the 1948-2008 period, but some stations have reported more consistently than others. If we limit ourselves to the 15 stations that have at least 400 observations, we find that three show significant warming, four show significant cooling, and eight show no significant trend. A similar distribution is found if we limit ourselves to the 11 stations that have at least 500 observations.

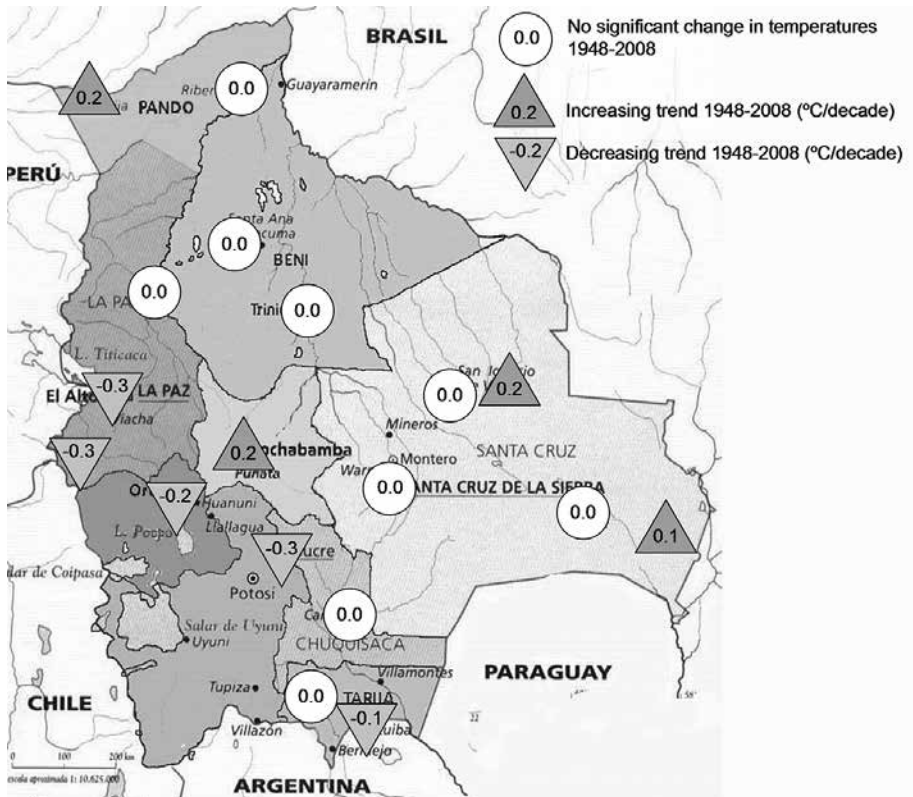
Table 6
Estimated temperature trend (°C/decade) for 18
weather stations in Bolivia, 1948-2008

Station	Trend	t-value	P-value	# of obs.
Camiri	-0.07	-1.79	0.075	535
Charaña	-0.25	-6.91	0.000	412
Cobija	0.19	6.95	0.000	562
Cochabamba	0.15	4.85	0.000	557
Concepción	-0.01	-0.34	0.736	515
La Paz / El Alto	-0.27	-10.54	0.000	639
Oruro	-0.19	-5.94	0.000	547
Puerto Suarez	0.10	2.38	0.018	354
Riberalta	0.03	1.26	0.207	557
Roboré	-0.06	-1.45	0.148	467
Rurrenabaque	-0.02	-0.80	0.427	557
San Ignacio de Velasco	0.22	5.90	0.000	458
San Joaquin	-0.01	-0.44	0.658	448
Santa Cruz / El Trompillo	0.04	1.16	0.247	557
Sucre	-0.28	-5.65	0.000	321
Tarija	-0.11	-1.71	0.089	318
Trinidad	-0.05	-1.75	0.081	561
Yacuiba	-0.14	-3.34	0.001	527

Source: Authors' estimation based on data from the NCDC's Monthly Climatic Data for the World

The patterns of warming/cooling show a distinct geographical distribution, with the highland stations in the southwestern part of Bolivia showing consistent cooling, and the lowland areas to the north and east showing slight warming (Map 1). This is consistent with NCDC data from neighboring countries, which show cooling in many parts of Peru and Chile but warming in Brazil (Andersen, Suxo & Verner, 2009; Andersen & Verner 2009 and Andersen, Román & Verner, 2009).

Map 1: Patterns of warming and cooling in Bolivia, 1948-2008



Source: Authors' elaboration based on the estimated trends in Table 6

Since the data from any single station is subject to idiosyncratic influences, it is necessary to average over several stations in order to get reliable results. In the case of Bolivia, the data suggests that highland areas in general have experienced cooling over the last 60 years, with an average trend around $-0.2^{\circ}\text{C}/\text{decade}$. For the purposes of the simulations in the next section, we will therefore assume a uniform cooling trend of $0.2^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ for all municipalities located in the departments of Tarija, Chuquisaca, Potosí, Oruro and the highland areas of La Paz (above 2000 meters above sea level).

For the lowland areas the evidence shows mostly no significant trends, but interspersed with a few positive trends. For the purposes of the simulations in the next section, we will assume a slight warming trend of $0.05^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ in all lowland areas.

The general cooling of the highlands appears to be inconsistent with the rapid melting of several Bolivian glaciers, especially the Chacaltaya and the Zongo glaciers close to El Alto (Franco, Ramirez, Caceres & Mendoza, 2000, and Ramirez, Franco, Ribstein, Descloîtres, Guerin, Mendoza, Gallaire, Pouyau & Jordan, 2001), but it is not. First of all, the glaciers have been melting continuously since the Little Ice Age (about 1550 to 1850), with only a brief slowdown during the relatively cool period of 1950-1980, and it is normal for melting to accelerate towards the end (just like a small ice cube melts faster than a big ice cube).

In addition, glaciers depend on other factors than temperature, notably precipitation, but also cloud cover, relative humidity and the intensity of solar irradiation (Ramirez, 2008). A study of oxygen isotope series generated from ice cores from two Bolivian glaciers suggests that precipitation has decreased steadily since about 1974 (Hoffman, Ramirez, Taupin, Franco, Ribstein, Delmas, Dürr, Gallaire, Simões, Schotterer, Stievenard & Werner, 2003)³.

The reduction in precipitation is likely associated with the general reduction in cloud cover over the tropics since measurements began in the early 1980s⁴, and less clouds means more intense solar irradiation, which accelerates glacial melt. Decreased cloud cover at this altitude also works to amplify the diurnal temperature range, increasing daytime temperatures (which would cause increased melting), but reducing night-time temperatures even more (because of the missing cloud-blanket), which explains the reduction in average temperatures.

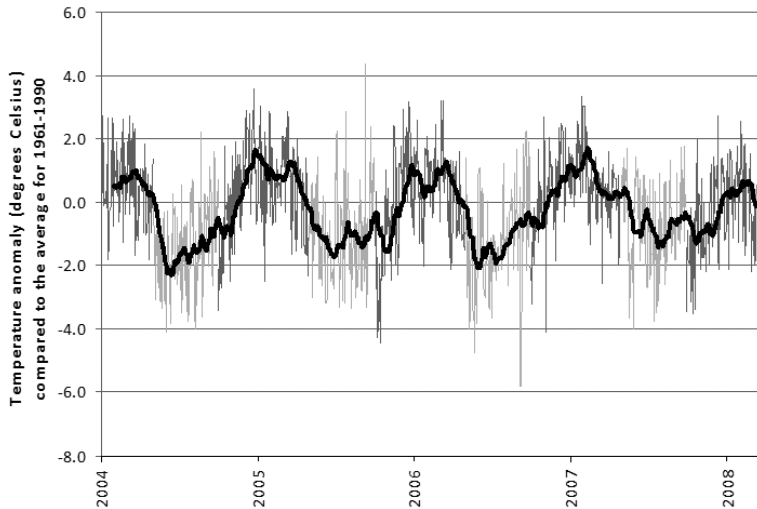
Moreover, upon closer inspection of the temperature data, it becomes clear that temperatures have not fallen equally throughout the year. At the El Alto station, for example, summer temperatures have been increasing and winter temperatures decreasing (Figure 2). Since winter is the dry season in El Alto, the lower winter temperatures will provide little benefit for the glaciers, which cannot accumulate mass without snowfall. Instead, these glaciers are much more sensitive to changes in summer temperatures and precipitation. This explains why the ENSO (El Niño-Southern Oscillation) has such a strong effect on Bolivian glaciers. During ENSO's warm and dry phase (El Niño), the mass balances are always negative, implying shrinking glaciers. In the cooler and more humid La Niña phase, the glaciers return to equilibrium and sometimes show a small increase. The increase in the glacier regression rate since the end of the 1970s appears to coincide with the Pacific shift of 1976, the date after

³ However, this decrease is not considered unusual in a historical context and over the whole 20th century the isotope index is stable

⁴ According to NASA's International Satellite Cloud Climatology Project - ISCCP (<http://isccp.giss.nasa.gov/index.html>), average tropical cloud cover has decreased from about 66% in the 1980s to about 61% in the first 8 years of this century.

which the El Niño event became more frequent and more intense (Ramirez *et al.*, 2001). It was the unusually strong El Niño event of 1997/98, which caused the permanent closing of the World's highest ski-resort on the Chacaltaya glacier.

Figure 2: El Alto: Average daily temperature anomaly 1/1/1995 – 12/3/2008, compared to average monthly temperatures for 1961-90.



Source: SENAMHI (www.senamhi.gov.bo). El Alto station.

Note: The green color denotes summer months (October-April), while the blue color denotes winter months (May-September). The solid black line is a 30 day moving average of daily temperature anomalies.

The colder winters in the already cold highlands could potentially have an adverse effect on the predominantly poor and indigenous population who inhabit the Bolivian highlands, since one of their main worries and limitations on agricultural productivity is frost (Gonzales Iwanciw, Cusicanqui & Aparicio, n.d.). This is the hypothesis that we will formally test and quantify in the following section.

We have adequate precipitation data for 19 meteorological stations in Bolivia. The precipitation anomalies for each station have been plotted in Figure A2 in the Annex. Table 7 below shows the results of a simple trend regression for each station.

Using a confidence level of 95% we find that only five out of the 19 stations have experienced a significant trend in precipitation over the last six decades, and all of them experienced increases. Oruro in the highlands saw a slight increase of about 1.6 mm/decade,

whereas Rurrenabaque, Santa Cruz/El Trompillo, Tarija and Trinidad saw somewhat larger increases.

Table 7
Estimated precipitation trend (mm/decade) for 19 weather stations in Bolivia

Station	Trend	t-value	P-value	# of obs.
Camiri	1.21	0.87	0.384	524
Charaña	0.82	1.05	0.292	428
Cobija	2.54	1.52	0.130	640
Cochabamba	-1.42	-1.35	0.178	446
Concepción	1.58	0.98	0.328	524
La Paz / El Alto	1.67	1.59	0.111	533
Magdalena	-0.03	-0.02	0.988	523
Oruro	1.59	2.39	0.017	583
Puerto Suarez	-2.54	-1.68	0.094	559
Riberalta	-0.13	-0.07	0.947	570
Roboré	-2.21	-1.26	0.208	527
Rurrenabaque	4.71	2.09	0.038	523
San Ignacio de Velasco	-1.16	-0.64	0.525	539
San Joaquin	2.62	1.35	0.177	498
Santa Cruz / El Trompillo	5.79	2.95	0.003	553
Sucre	0.41	0.38	0.706	533
Tarija	8.04	7.70	0.000	494
Trinidad	15.31	5.53	0.000	471
Yacuiba	3.87	1.86	0.063	493

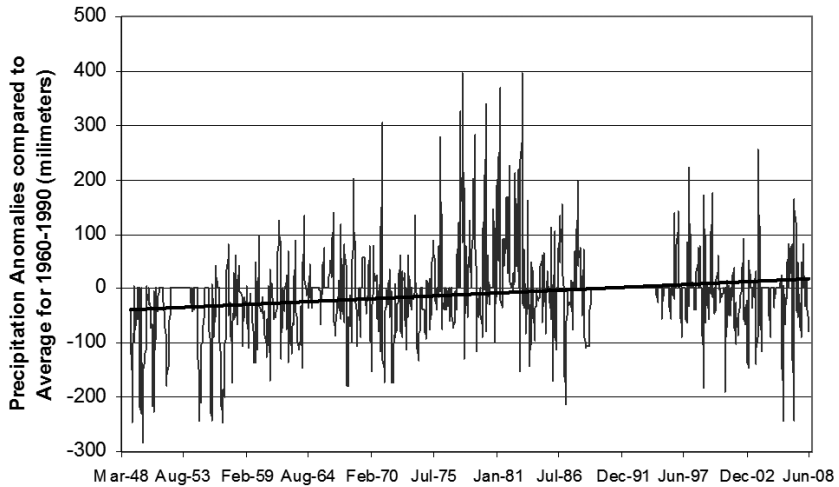
Source: Authors' estimation based on data from the NCDC's Monthly Climatic Data for the World

Since precipitation was not significant in the models of human development estimated in the previous section, it is not very important what we assume about precipitation trends in the simulation exercises in the next section. Only one station in the highlands showed a significant trend, and it was only a very small increase, so it is reasonable to assume that in general there have been no systematic changes in precipitation in the highlands.

Trinidad in the lowlands showed a substantial increasing trend of about 15 mm/decade. But upon closer inspection of the anomalies (Figure 3) it becomes clear that all of this increase took place before 1978, after which the trend has been negative. Thus, what sometimes appear

as a statistically significant trend, is really more of a natural cycle. We will therefore assume no systematic trends in precipitation in the lowlands either.

Figure 3: Trinidad: average monthly precipitation anomaly, 1948-2008, compared to average monthly precipitation for 1960-90.



Source: Authors' calculation based on data from NCDC

5. Simulating the impacts of recent climate change

In this section, we will use the consumption model estimated in Section 2 to simulate the impact of the climate change experienced during the last 50 years, as indicated by the analysis in Section 3.

We will compare two scenarios, one with Climate Change, which is the factual scenario, and one with No Climate Change, which is the counterfactual scenario. The temperatures in the Climate Change scenario, t_{iCC} are the actual temperatures, whereas the temperatures in the counterfactual scenario, t_{iNCC} are the temperatures that would have been if temperatures had not changed during the last 50 years. That is, for all highland municipalities temperatures are 1°C higher in the No Climate Change scenario compared to the Climate Change scenario, whereas for all lowland municipalities temperatures are 0.25°C lower in the No Climate Change scenario.

As there has been no systematic change in precipitation, the precipitation terms cancel out, and the other factors, education and urbanization rates, we will maintain constant, so as to isolate the climate change effect. Thus the ratio of Climate Change Consumption to No Climate Change Consumption can be written as:

$$\Delta_{CC} CONS_i = \frac{CONS_{i,CC}}{CONS_{i,NCC}} = \frac{\exp\{\hat{\beta}_1 \cdot t_{i,CC} + \hat{\beta}_2 \cdot t_{i,CC}^2\}}{\exp\{\hat{\beta}_1 \cdot t_{i,NCC} + \hat{\beta}_2 \cdot t_{i,NCC}^2\}}$$

After estimating this ratio for each municipality, it is straightforward to calculate the percentage change in consumption levels that can be attributed to climate change. At the national level, the model estimates that climate change during the last 50 years has caused a reduction in consumption of about 1.3%.

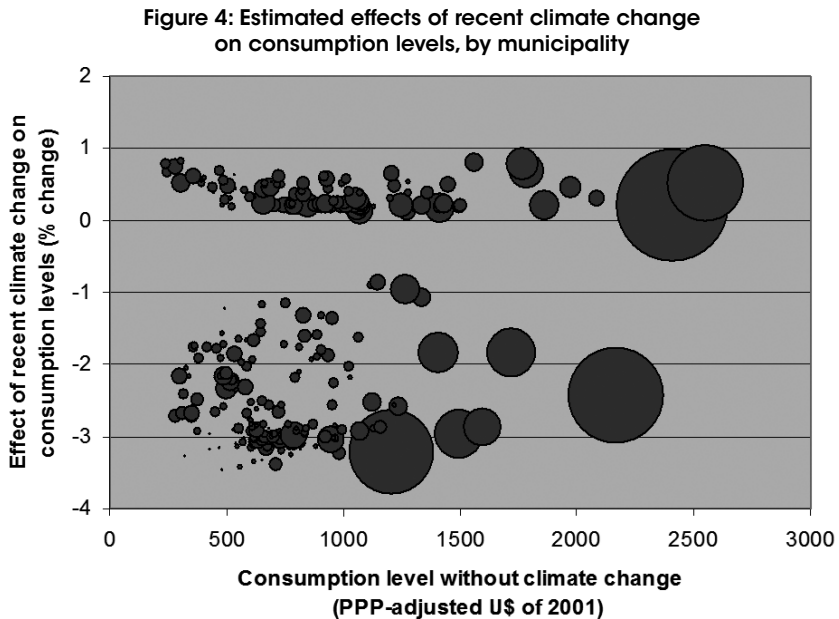
Table 7 shows the results disaggregated at the state level. The most disadvantaged states are the highland states Oruro, Potosí and La Paz, which are estimated to have lost almost 3% of their consumption capacity due to the already cold climates becoming colder. Chuquisaca and Tarija have also lost out according to this simulation, but a bit less, as they were initially warmer, and the slope of the temperature/consumption relationship was thus less steep. All lowland states have gained slightly.

Table 8
Effects of recent climate change on consumption levels, by state

State	Effects of past temperature changes on consumption levels (% change)
Beni	0.16
Chuquisaca	-1.74
Cochabamba	0.54
La Paz	-2.44
Oruro	-3.04
Pando	0.16
Potosí	-2.70
Santa Cruz	0.26
Tarija	-1.59
BOLIVIA	-1.33

Source: Author's estimations

Figure 4 shows the estimated effects of recent climate change on *per capita* consumption levels in all 311 municipalities. The municipalities are grouped in winners and losers, with no municipality being entirely unaffected. The winners are all lowland municipalities, representing 51% of the population. The losers are all highland municipalities, representing about 49% of the Bolivian population.



There is a weak but statistically significant positive relationship ($\rho = 0.28$) between initial level of consumption and the estimated effects of past climate change. This suggests that it is generally the poorest municipalities which have experienced the most negative effects of recent climate change, implying that recent climate change has contributed to an increase in both poverty and inequality.

The poor highland municipalities, which are most adversely affected, also happen to have much larger proportions of indigenous populations than the lowland municipalities which have benefitted from recent climate change. This implies that the indigenous people of Bolivia are on average more adversely affected from recent climate change than the non-indigenous

population, simply because they happen to live in areas where the climate has turned less beneficial for human development (colder).

6. Conclusions

This paper has analyzed the direct evidence of climate change in Bolivia over the last 60 years. Contrary to expectations, and contrary to the predictions of most General Circulation models, this evidence shows a consistent cooling trend of about 0.2°C per decade over all highland areas, and only slight, scattered evidence of warming in the lowland areas. No systematic trends in precipitation were detected, only decade-long cycles. There are indications that the decrease in average temperatures in the highlands is hiding an increase in daytime and summer temperatures but a decrease in nighttime and winter temperatures, although much more detailed daily temperature records would be needed to confirm this.

Using municipality level data, models of the relationships between climate, life expectancy and consumption levels were estimated (controlling for other factors that might affect life expectancy and consumption levels). The results suggest that consumption possibilities in Bolivia increase with temperature, but at a decreasing rate. Consumption levels are almost twice as large in the warmest parts of Bolivia compared to the coldest parts (when controlling for differences in education levels, urbanization rates, and precipitation). Precipitation, however, was not found to have any systematic effect on consumption levels. Neither temperature nor precipitation was found to have any systematic effects on life expectancy.

When simulating the impact of recent climate change in Bolivia (1°C reduction in temperatures in the already cold highlands, and a 0.25°C increase in temperatures in the already hot lowlands over the last 50 years), we found an adverse impact on national consumption levels of 1.3%. Since the predominantly poor and indigenous population in the highlands experienced a negative effect due to recent cooling and the much richer population in the lowlands experienced slightly positive effects of modest warming, the overall effect of recent climate change would be an increase in inequality between Bolivian municipalities and an increase in poverty.

Notice that this is due to the direction of recent climate changes in Bolivia, and not due to any inherent characteristics of the poor which might make them more vulnerable to climate change. If recent climate change had showed warming across the country (as climate models

typically suggest), then the poor in the highlands would have benefited much more than the rich in the lowlands, thus reducing poverty and inequality.

The magnitudes of the estimated impacts are not large, however. A reduction in consumption levels of 3-4% (the most adverse effects encountered) over a 50 year period corresponds to just one year of low growth.

It is important to keep in mind that the approach of this paper is designed to capture the long term effects of climate change, *after* people have adjusted to the changed climate. The paper does not address transition costs and costs of normal climate variability. This is a reasonable approach if climate change takes place slowly and predictably, so that people can gradually adjust their behaviors (for example, by sowing a different crop than their parents used to). It is assumed that people base their economic decisions on what their current climate is like, rather than on what the climate was like a generation ago, just as they should base their economic decisions on current market conditions rather than on market conditions 30 years earlier.

It is also assumed that for any given temperature-precipitation combination, climate has not become more unpredictable. At the aggregate level, however, predictability may have changed, since there are now more municipalities with lower temperatures. Places where temperatures oscillate close to the freezing point inherently have more unpredictable weather than places which are consistently hot and humid, and temperature variations close to zero have more severe consequences. Indeed, we find that the two highland stations, Oruro and Charaña, have experienced increased variability in temperatures. But the rest of the stations have experienced no significant changes in variability or even reduced variability. With respect to precipitation, we found three stations (Cobija, Yacuiba and San Javier) that had higher precipitation variability since 1991 compared to the reference period 1960-90. The rest had either lower or unchanged variability.

The modest impacts of climate *change* (the slow, systematic changes in average temperature and precipitation) do not preclude large impacts from climate *variability*. Indeed many studies have evaluated the costs of El Niño and La Niña events in Bolivia (causing extreme droughts and flooding) finding costs of up to 18% of annual GDP for the 1982-83 El Niño event; 7% for the 1997-98 El Niño; 4.2% from the 2006-2007 El Niño; and 3.4% from the 2007-2008 La Niña event (Bolivia 2004; CAF 2000; CEPAL 2007 and 2008).

Predicting the effects of future climate change

While recent climate change can be analyzed and documented using temperature and precipitation records from weather stations spread across the national territory, it is much more difficult to assess the impacts of future climate change, because there is very little scientific consensus about how the local climates in Bolivia are going to change in the future.

The Intergovernmental Panel on Climate Change uses a combination of different General Circulation Models to predict future climates. For some regions these models do a reasonably good job at replicating past climate change and current climatic conditions, and there is a high level of agreement between the many different models. This is not the case for South America in general, and even less the case for Bolivia. Not a single model has replicated the recent temperature reductions observed across most of Bolivia. According to the IPCC4, Working Group I chapter on Regional Climate Projections for Latin America:

The systematic errors in simulating current mean tropical climate and its variability and the large inter-model differences in future changes in El Niño amplitude preclude a conclusive assessment of the regional changes over large areas of Central and South America. (...) The high and sharp Andes Mountains are unresolved in low resolution models, affecting the assessment over much of the continent (Christensen *et al.*, 2007).

Despite this uncertainty, the IPCC report finds it very likely that temperatures will increase over all areas of South America over the rest of this century. If this turns out to be true, the recent cooling trend would be reverted, and the climate in Bolivia might return to “normal” (the 1961-90 average) within the next 2-3 decades.

However, “normal” climate in Bolivia includes tremendous climate variability with either El Niño or La Niña conditions almost every year. If each of these events causes losses of 3-4% of GDP, they make all the difference between a country growing steadily towards prosperity and a country permanently stuck in poverty. Vulnerability has clearly been reduced since the devastating El Niño episode of 1982-83, but further steps to reduce vulnerability are still necessary.

Artículo recibido en: 20 de junio de 2009

Manejado por: ABCE

Aceptado en: 18 de septiembre de 2014

References

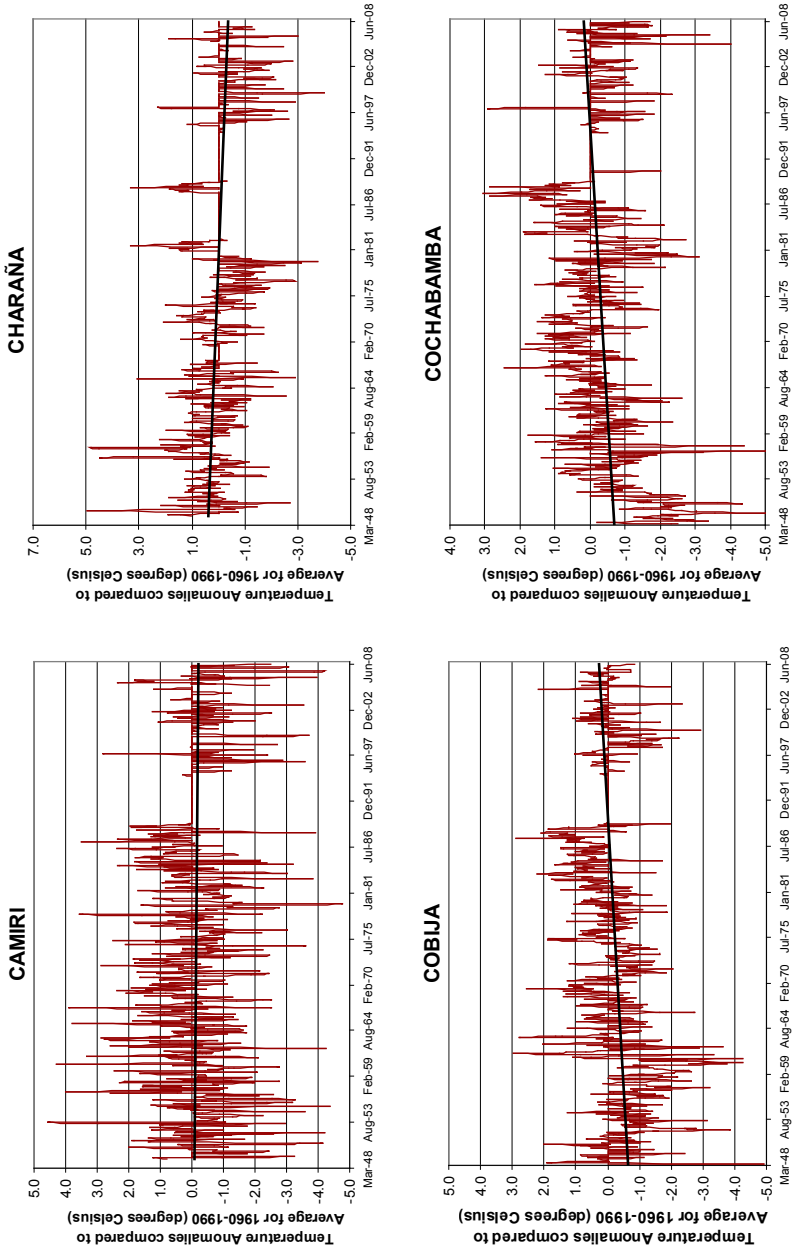
1. Andersen, L. E. & D. Verner (2009). "Social Impacts of Climate Change in Chile: A municipal level analysis of the effects of recent and future climate change on human development and inequality, Draft, February.
2. Andersen, L. E., A. Suño & D. Verner (2009). "Social Impacts of Climate Change in Peru: A district level analysis of the effects of recent and future climate change on human development and inequality, Draft, February.
3. Andersen, L. E., S. Román & D. Verner (2009). "Social Impacts of Climate Change in Brazil: A municipal level analysis of the effects of recent and future climate change on human development and inequality, Draft, February.
4. Bolivia (2004) "La gestión del riesgo en Bolivia." Ministerio de Defensa Nacional de Bolivia.
5. Brown, Lawrence A. & John Paul Jones III (1985). "Spatial Variation in Migration Processes and Development: A Costa Rican Example of Conventional Modeling Augmented by the Expansion Method." *Demography*, 22(3), 327-352.
6. CAF (2000) "Las lecciones de El Niño – Bolivia." Corporación Andina de Fomento, Caracas, Venezuela
7. CEPAL (2007). "Informe sobre el impacto del fenómeno de El Niño en Bolivia." Comisión Económica para América Latina y El Caribe, April.
8. CEPAL (2008). "Informe sobre el impacto del fenómeno de La Niña en Bolivia." Comisión Económica para América Latina y El Caribe, April.
9. Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton (2007). "Regional Climate Projections." In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
10. Francou, B., E. Ramirez, B. Caceres & J. Mendoza (2000). "Glacier evolution in the Tropical Andes during the last decades of the 20th Century: Chacaltaya, Bolivia, and Antizana, Ecuador." *Ambio*, 29(7): 416 -422.

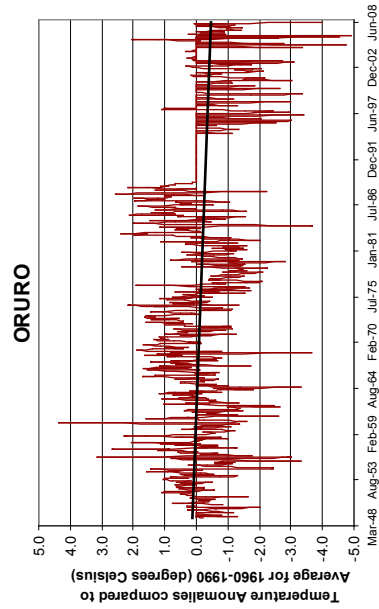
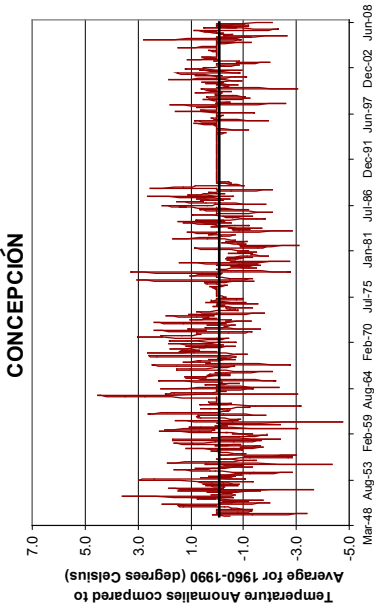
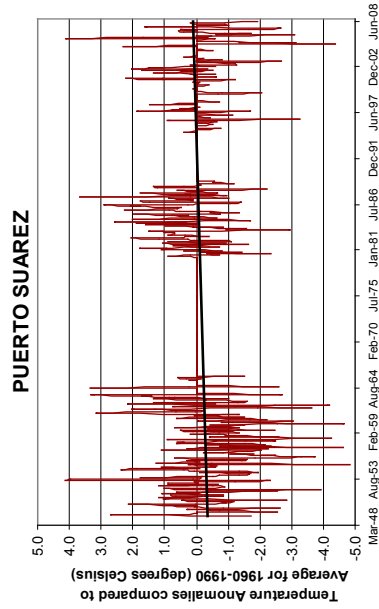
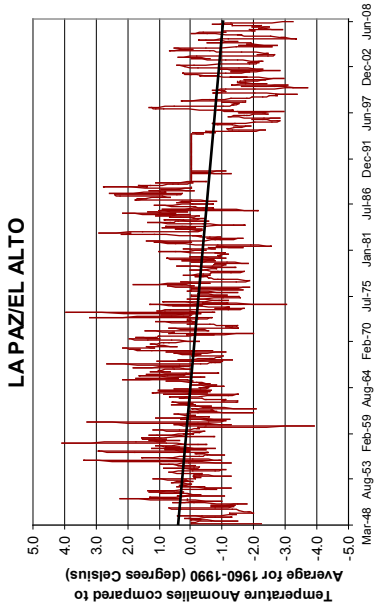
11. Gonzales Iwanciw, J., J. Cusicanqui Giles & M. Aparicio Effen (n.d.). "Vulnerabilidad y adaptación al cambio Climático en las regiones del Lago Titicaca y los valles cruceños de Bolivia: sistematización de los resultados de la investigación participativa, consultas y estudios de caso." Ministerio de Planificación del Desarrollo, Programa Nacional de Cambios Climáticos, Bolivia.
12. Hoffmann, G., E. Ramirez, J. D. Taupin, B. Francou, P. Ribstein, R. Delmas, H. Dürr, R. Gallaire, J. Simões, U. Schotterer, M. Stievenard & M. Werner (2003). "Coherent isotope history of Andean ice cores over the last century." *Geophysical Research Letters*, 30(4): 1179-1182.
13. Horowitz, J. K. (2006). "The Income-Temperature Relationship in a Cross-Section of Countries and its Implications for Global Warming." Department of Agricultural and Resource Economics, University of Maryland, Submitted manuscript, July.
Available in:
<http://faculty.arec.umd.edu/jhorowitz/Income-Temp-i.pdf>
14. Masters, W. A. & M. S. McMillan (2001). "Climate and Scale in Economic Growth," *Journal of Economic Growth*, 6(3): 167-186.
15. Mendelsohn, R., W. Nordhaus & D. Shaw (1994). "The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis," *American Economic Review*, 84(4): 753-71.
16. PNUD (2004). Índice de *Desarrollo Humano en los municipios de Bolivia*. Informe Nacional de Desarrollo Humano 2004, La Paz, Bolivia.
17. Quiggin, J. & J. K. Horowitz (1999). "The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Comment," *American Economic Review*, 89(4): 1044-45.
18. Ramírez, E. (2008). "Impactos del cambio climático y gestión del agua sobre la disponibilidad de recursos hídricos para las ciudades de La Paz y El Alto." *Revista Virtual LEDESMA*, 2(3): 49-61.
19. Ramírez, E., B. Francou, P. Ribstein, M. Desclotres, R. Guerin, J. Mendoza, R. Gallaire, B. Pouyau, & E. Jordan (2001). "Small glaciers disappearing in the tropical Andes. A case study in Bolivia: Glaciar Chacaltaya (16°S)." *Journal of Glaciology*, 47(157): 187-194.
20. Tol, R. S. J. (2005) "Emission abatement versus development as strategies to reduce vulnerability to climate change: an application of FUND." *Environment and Development Economics*, 10: 615-629.

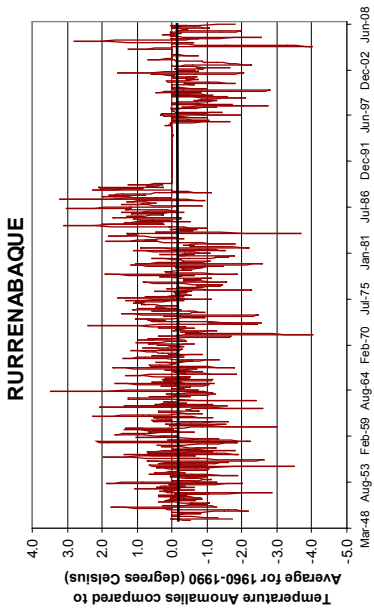
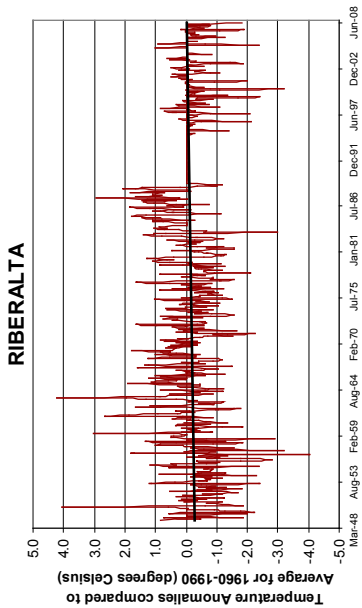
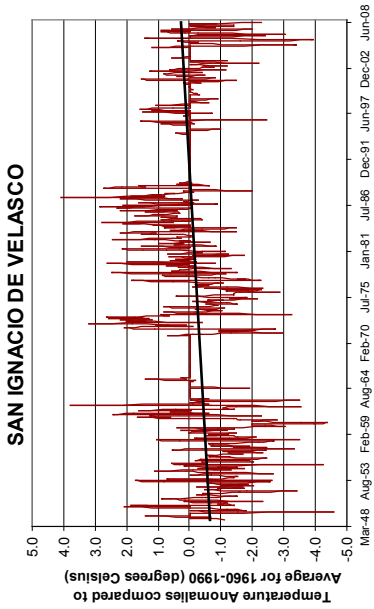
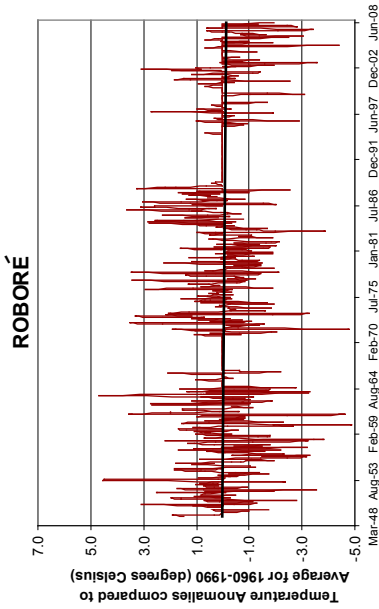
21. Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden and P. Zhai (2007). "Observations: Surface and Atmospheric Climate Change." In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

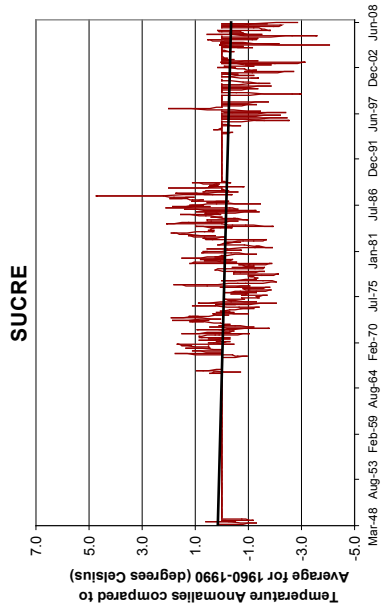
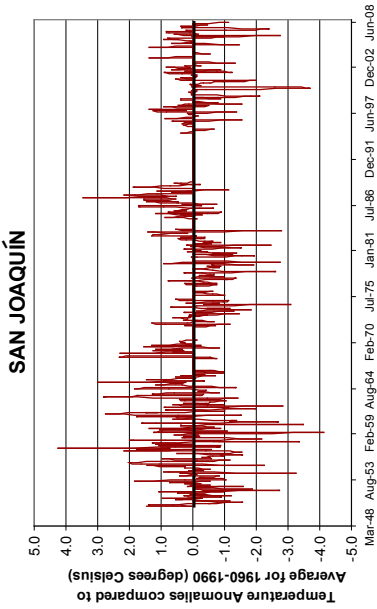
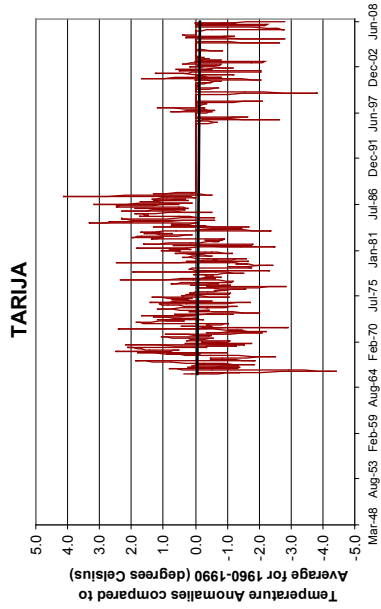
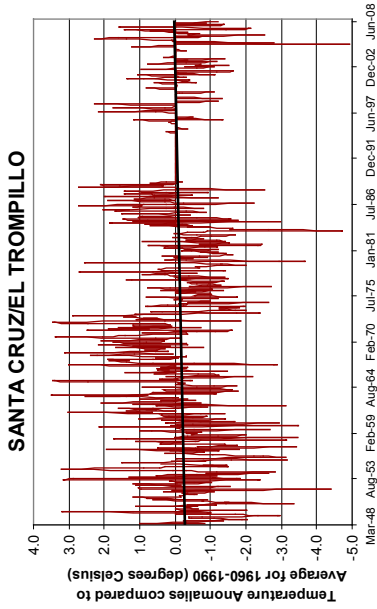
Annex: Monthly temperature and precipitation anomalies

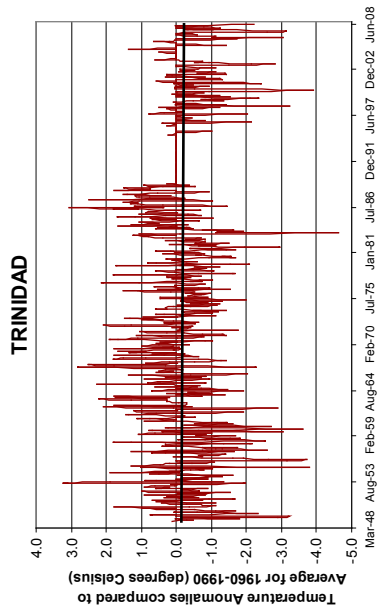
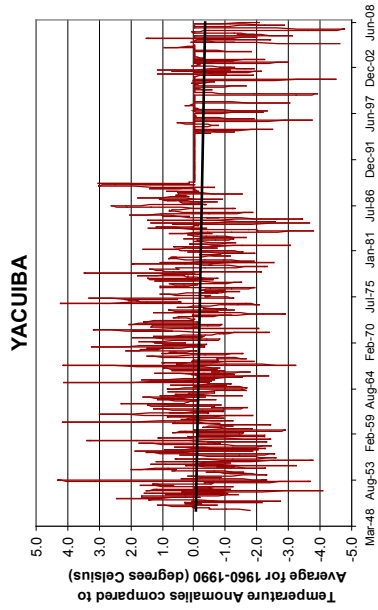
Figure A1: Monthly temperature anomalies for 18 meteorological stations in Bolivia, 1948-2008





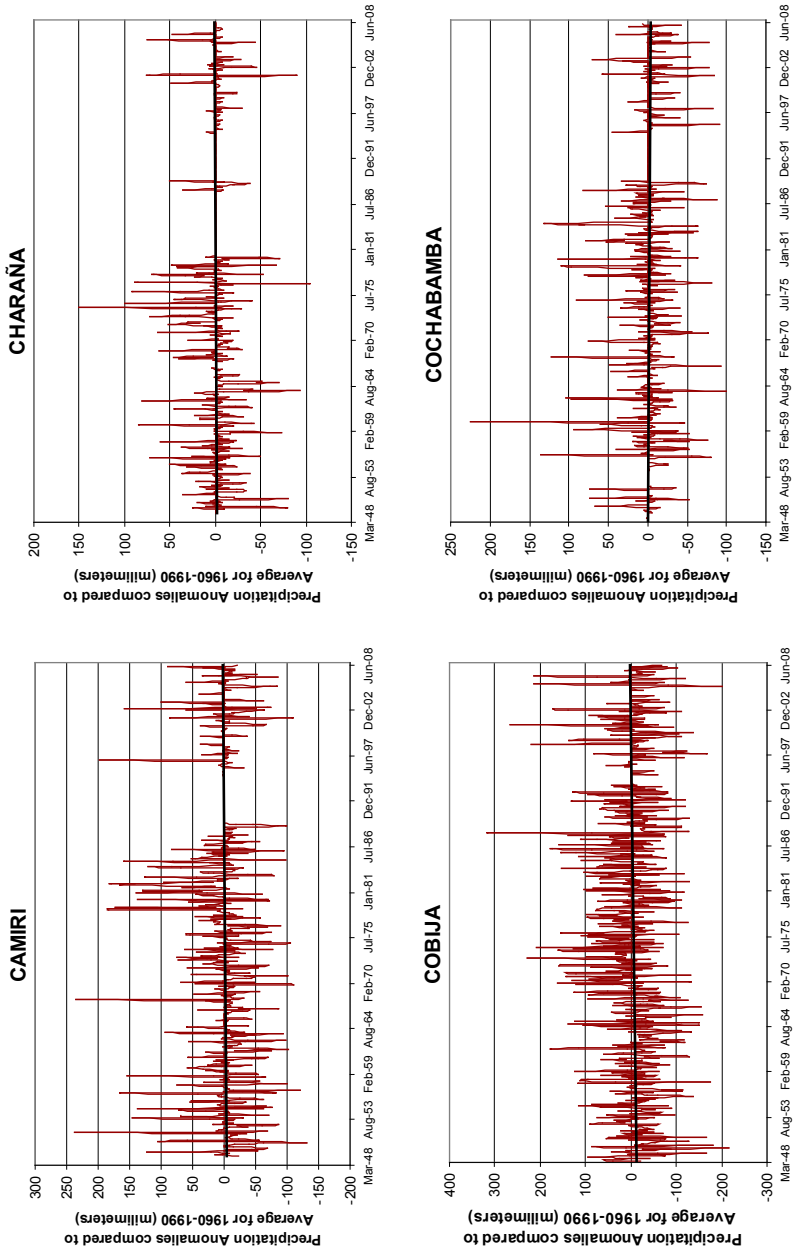


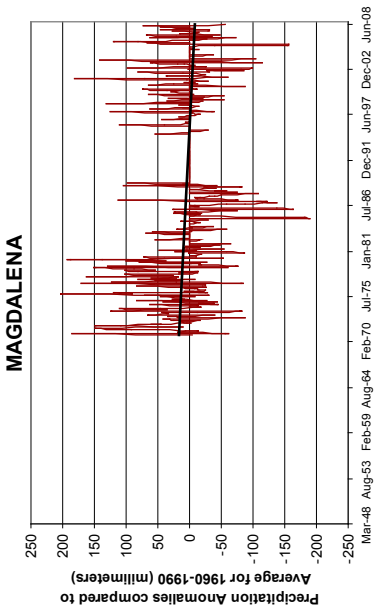
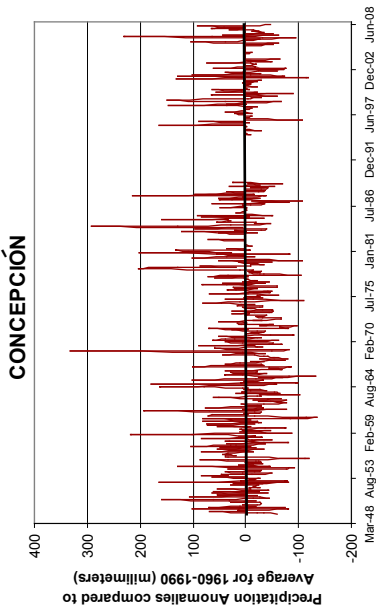
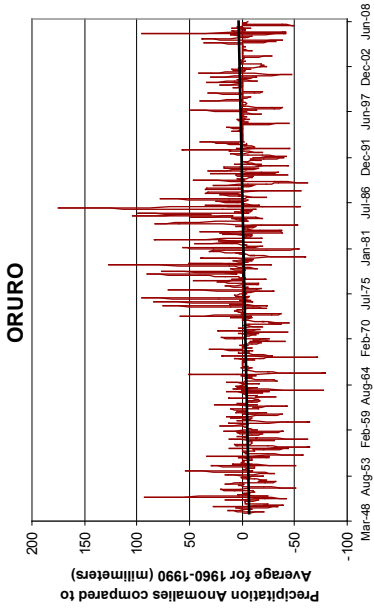
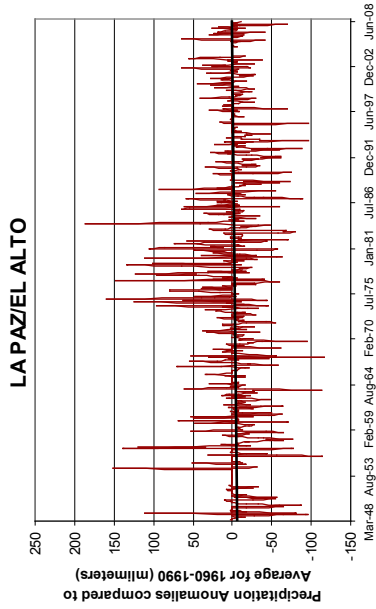


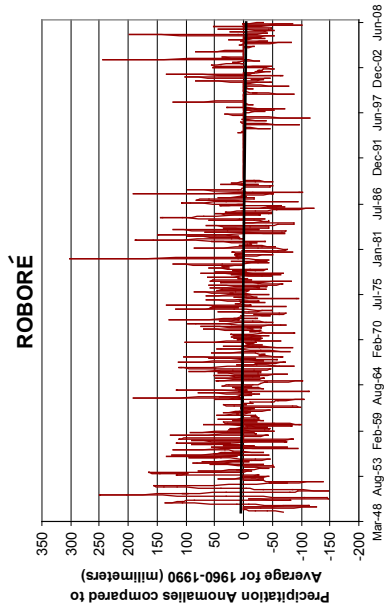
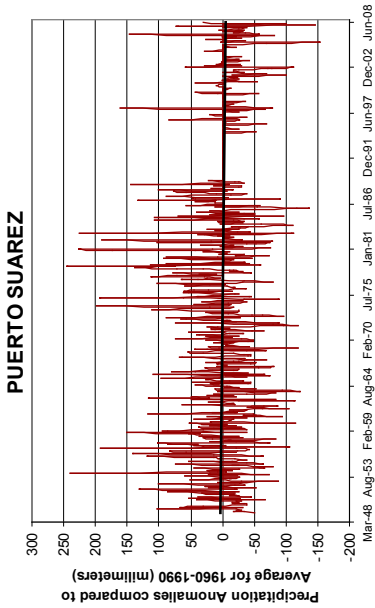
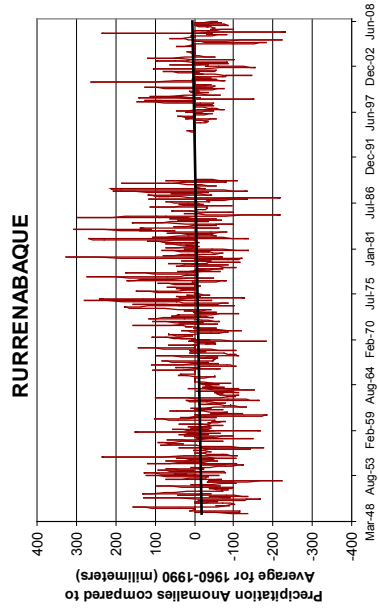
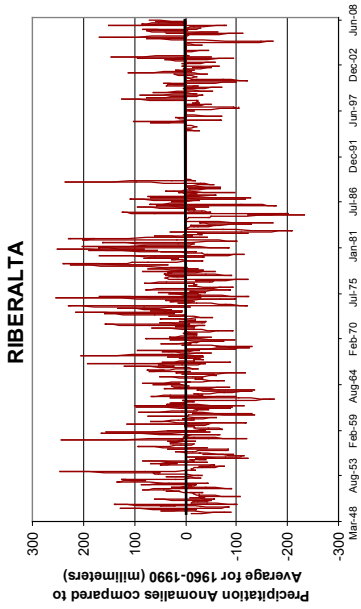


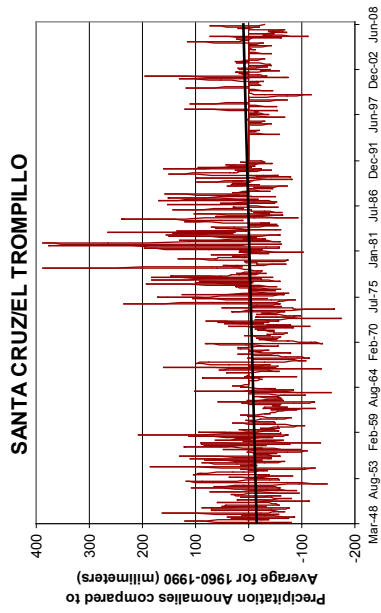
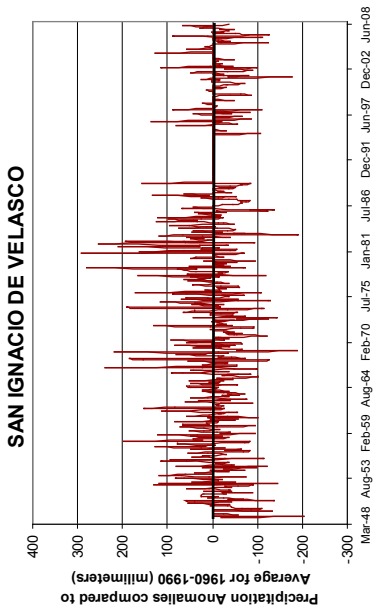
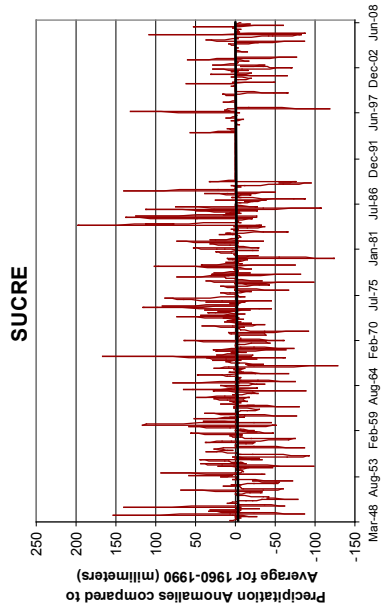
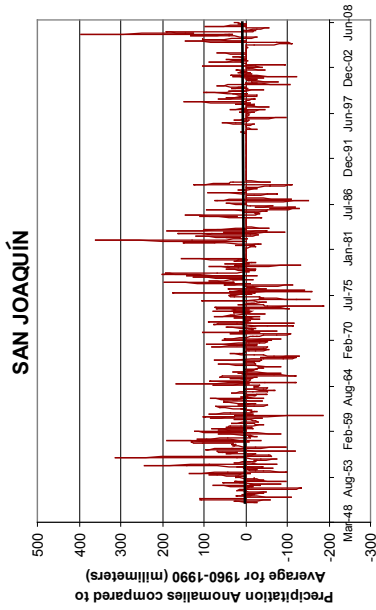
Source: Authors' estimation based on data from the NCDC's Monthly Climatic Data for the World.

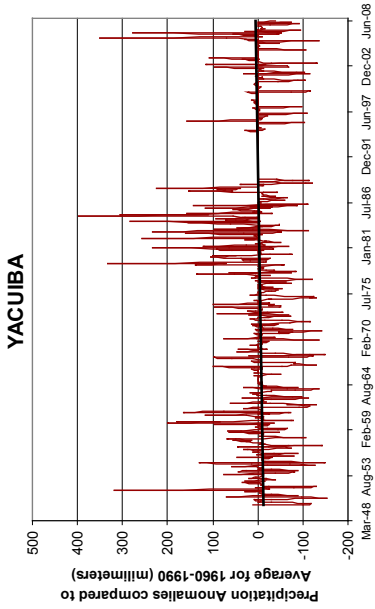
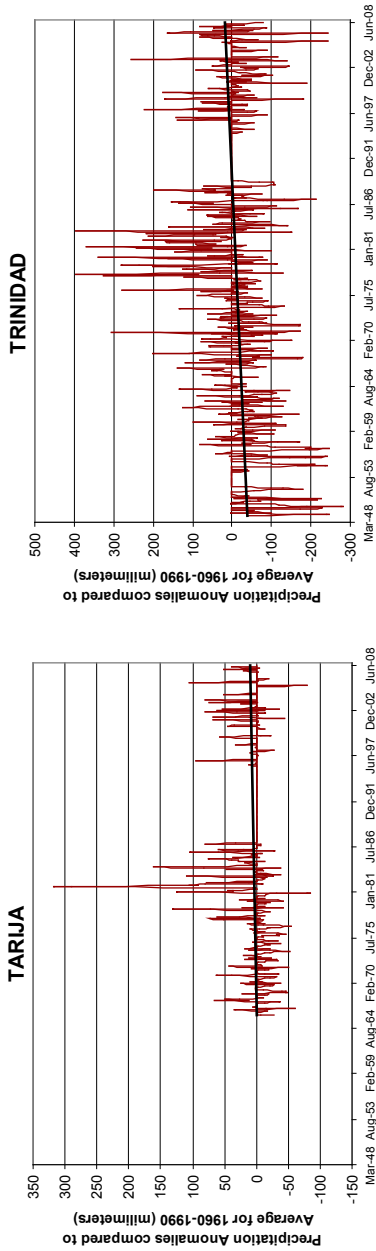
Figure A2: Monthly precipitation anomalies for 19 meteorological stations in Bolivia, 1948-2008











Source: Authors' estimation based on data from the NCDC's Monthly Climatic Data for the World.

The Role of EU-ETS Mechanism as Environmental Investment Promoter in Europe and Developing Countries

El rol del mercado de bonos de carbono europeo (EU-ETS) como gestor de inversión en medioambiente en Europa y países en desarrollo

*Carlos Díaz Valdivia**

Abstract

This research attempts to provide a better understanding about the role of the European Union Emission Trading System (EU-ETS) as private environmental investment promoter. It explores the macroeconomic behavior of private environmental investments before and after the implementation of EU-ETS in 2005 until the end of Phase I of the mechanism. Also, private environmental investments are contrasted with variables like: economic growth, interest rates, and energy prices (gas and electricity) in order to quantify the impact of these on private environmental decisions and evaluate the level of impact (slow, moderate and strong) of all these variables together with the EU-ETS implementation on private environmental investment decisions. For this purpose it is used a statistical approach through multiple linear regressions for the cases of Germany, Spain, France and The Netherlands and a single panel estimation with data information of all the countries mentioned. The results show that the signature of Kyoto Protocol in year 1997 -as a preamble of EU-ETS- provided a perverse incentive on private environmental investments until 2004. During Phase I (2005–2007) of the EU-ETS mechanism, private environmental investments showed an important positive

* Associated Researcher IISEC. Contact: carandiazv@hotmail.com

recovery that was not enough to reach pre Kyoto Protocol levels. Finally, it is analyzed the investment in developing countries through CDM projects.

Key words: EU-ETS, environmental investments, CDM.

Resumen

Esta investigación intenta proveer una mejor comprensión acerca del rol que juega el mercado de bonos de carbono Europeo (European Union – Emissions Trading System) como gestor de inversión privada en medioambiente. Se explora el comportamiento macroeconómico de la inversión privada en medioambiente antes y después de la implementación del mecanismo en el año 2005 hasta el final de la Fase I del mismo. Además, la inversión privada en medioambiente es contrastada con variables como crecimiento económico, tasas de interés y precios de energía (electricidad y gas) con el fin de cuantificar el impacto de estas variables sobre decisiones de inversión en medioambiente y evaluar el nivel de impacto (pequeño, moderado o fuerte) de todas estas variables junto con la implementación del mecanismo de mercado sobre decisiones de inversión en medioambiente. Para este propósito se utiliza una aproximación estadística mediante las regresiones lineales múltiples para los casos de Alemania, España, Francia y Holanda y una estimación de datos de panel con la información estadística de todos los países mencionados. Los resultados muestran que la firma del Protocolo de Kyoto en el año 1997 – como preámbulo a la implementación del mecanismo EU-ETS- otorgó incentivos perversos hacia las inversiones privadas en medioambiente hasta el año 2004. Durante la Fase I (2005 – 2007) del mecanismo de mercado EU-ETS, las inversiones en medioambiente mostraron una recuperación positiva e importante que no fue suficiente para alcanzar los niveles vistos antes del Protocolo de Kyoto. Finalmente, se analiza la inversión en países en desarrollo a través de proyectos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

Palabras clave: EU-ETS, inversión, medioambiente, mecanismo de desarrollo limpio, MDL.

Classification/Clasificación JEL: A30, C10, C22, C23, O13, Q56.

List of Acronyms

CCS	Carbon Capture and Storage
CER	Certified Emission Reduction
CDM	Clean Development Mechanism

CO₂	Carbon Dioxide
EU	European Union
EU-ETS	European Union – Emissions Trading System
EUA	European Union Allowances
ERU	Emission Reduction Unit
Eviews	Econometric Views
GDP	Gross Domestic Product
GHG	Greenhouse Gases
IEA	International Energy Agency
JI	Joint Implementation
OLS	Ordinary Least Square
RD&D	Research, Development and Deployment (or Demonstration)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change

1. Introduction

Global warming, climate change and its worldwide broadly known effects are putting in danger life on the planet and its economic growth. The European Union Emission Trading Scheme (EU-ETS) is one of the cornerstonemarket-based mechanisms created by the European Union with the aim of reduce greenhouse gas emissions (GHG) from power generation and industry in a cost-effectively way. The idea behind this carbon market is to reduce GHG emissions through the promotion of investments in cleaner ways of production (EU, 2005). The aims of this research, based on previous studies and public available data are: (i) to evaluate the role of EU-ETS as private environmental investment promoter, (ii) to identify the determinants of environmental investment, (iii) to evaluate the consequences of the signature of Kyoto Protocol on the promotion of environmental investments before the EU-ETS implementation and, (iv) to provide an insight about the role of CDM investment projects in developing countries.

2. Background

2.1. The European Union Emission Trade System

Since the industrial revolution in the mid-18th century until date, the overall world economic production, consumption and wealth has increased faster than in previous episodes

of our history. Nevertheless, the negative “externalities” derived from this economic boom have important effects on the environment. In this sense, the concentration of greenhouse gases in the atmosphere has been rising up at alarming rates over the last two hundred years (IEA, 2012) as a consequence of the acceleration of energy consumption based on fossil fuels for power generation and the production of goods/services. As a result, global warming, climate change and its worldwide effects are threatening against the people’s welfare putting in danger the availability of drinkable water and food, increasing the recurrence and severity of natural disasters and putting in danger the ecosystems.

With the aim of reduce greenhouse gas (GHG) emissions, a multilateral international treaty was signed (by 154 countries) at Rio de Janeiro in 1992, giving birth to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Nevertheless, this treaty was not legally binding until the signature of Kyoto Protocol in 1997. In the Kyoto Protocol was agreed on an overall world emission reduction of 5% compared to 1990 levels during the 2008-2012 period, which is known as the Kyoto commitment period. The treaty intended to achieve the stabilization of CO₂ concentration in the atmosphere at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system.

In order to accomplish the emissions reduction, the European Union Member States designed and launched an Emission Trading Scheme (EU-ETS) in 2005. The UE-ETS is the first, largest and multi-sector international carbon trading system in the world and nowadays covers around 11,000 installations through 30 countries (the 27 EU Member States plus Iceland, Liechtenstein and Norway) responsible for the 40% of the total European Union GHG emissions (UNFCCC webpage)¹. This scheme is based on a cap and trade mechanism where European Union Members are free to buy or sell emission allowances as they are required. A set of national authorities led by the European Commission control the total yearly allowed emissions (the cap). This cap is reduced every year based on emission reduction targets. The companies that manage to reduce its emissions below their individual cap are allowed to sell their unused emission allowances to companies that do not meet their caps.

The allocation of allowances is proposed by each state member in order to allocate them into their polluting industries. The quantity of allowances proposed by the member states is subject to review and approval by the European Commission according to procedures and criteria established in the EU emissions trading directive (Ellerman, 2008). All these

¹ Access Date: December 30, 2012.

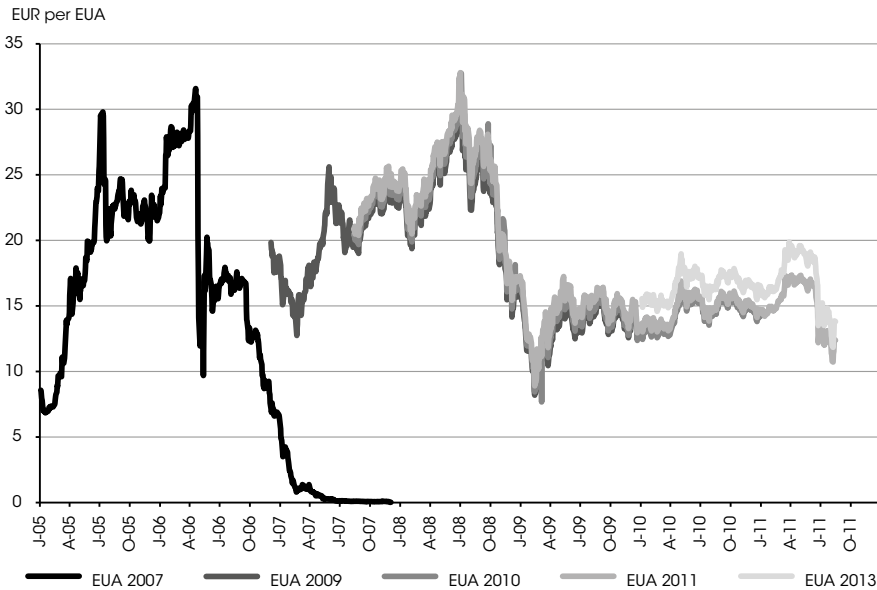
industries must return at the end of the year the number of credits that correspond with the total amount of verified emissions related to their yearly operation. The units traded are the European Union Allowances (EUA) and have an equivalence of 1 ton of carbon dioxide. A company that is allocated with fewer credits than it is expected to produce must: (1) reduce its production in order to reduce its emissions or; (2) buy additional credits from the market or; (3) invest in new technologies that allow the company to pollute less per unit of production (Obermayer, 2010). Since production reduction (industry and/or power) could signify enormous problems for the economy and carbon credit supply is limited and decreasing, the EU-ETS theoretically should encourage polluters to invest in cleaner ways of production in order to reduce GHG emission.

The system covers emissions of CO₂ from power plants, a wide range of energy-intensive industry sectors and commercial airlines (the latter since Phase III). Nitrous oxide emissions from the production of certain acids and emissions of per-fluorocarbons from aluminum production are also included since Phase III. Participation in the EU ETS is mandatory for companies operating in these sectors, but in some sectors only plants above a certain size are included (UNFCCC webpage)². In summary, the economic sectors that are part of this trading scheme are: the energy sector, the industrial sector and the financial sector (Obermayer, 2010). The energy sector needs the carbon credits in order to cover the emissions that come from the burn of fossil fuels (coal, oil and gas) used to produce power and heat. The industrial sector needs the carbon credits to cover the emissions that come from their production of goods and services. Finally, the financial sector buys and sells carbon credits with the expectancy of generate some profitable margins.

The EU-ETS is designed to run in three phases: Phase I, known as a trial phase (2005-2007); Phase II known as Kyoto Commitment period (2008-2012) and; Phase III known as post Kyoto Commitment period (2013-2020). The phase I was implemented by giving to the companies the 100% of its emissions in carbon credits. Nevertheless, the companies over-claimed the amount of emissions required. As a consequence the market was over-supplied with carbon credits and carbon prices went down reaching values of zero. However, since the credits from phase I couldn't be banked to phase II, the futures market for phase II credits still maintained high prices since failures identified in phase I will be adjusted for phase II. Under phase II, the mechanism is designed to trade and price the credits freely by the market (Kossoy and Ambrosi, 2012).

² Access Date: May 9, 2013.

Graph 1: Spot and Future prices of EUA (2005-2011)



Source: European Environment Agency

The phase II is at its final stage at this moment and the actual amount of credits allocated were fewer than the forecasted operating baselines. The central authority designed the mechanism with the idea to promote some scarcity and stabilize the prices. Nevertheless, the economic crisis hit the markets in the second semester of 2008 and the prices of carbon offsets like the EUA decline very hardly (Kossoy and Ambrosi, 2012) as it is possible to see in Graph 1. An important change from phase I is that the new credits could be banked to phase III. It is expected that this change will help to improve the mechanism in terms of institutional stability since it will attempt to encourage more stable carbon offset prices in the long-term and it will fit in a better way with long-term investment plans. Nevertheless, it is also expected an over accumulation of cheap carbon offsets that can limit the aims of this decision. Phase III of the EU-ETS will run from 2013 until 2020. It is expected that the amount of allowances will be diminished in 20%-30% compared to 2005 levels (phase I). Furthermore, it is expected that part of the carbon credits will no longer be located as free allowances but as an auctioned process (Venmans, 2012)

2.2. Carbon Offsets and Prices

It is important to distinguish that under the EU-ETS diverse kind of carbon credits are traded, the most important are: ERU's, CER's and EUA's. In this sense, an Emission Reduction Unit (ERU) is a carbon credit originated from a Joint Implementation (JI) project. The JI mechanism allows trading of carbon credits originated from emission reductions and/or emission removals between developed countries (Annex I parties) within the European Union (Annex 3)³. A Certified Emission Reduction (CER) is a carbon credit originated from a Clean Development Mechanism (CDM) project (Annex 4). The CDM allows trading of carbon credits originated from emission reductions projects in developing countries (UNFCCC webpage⁴).

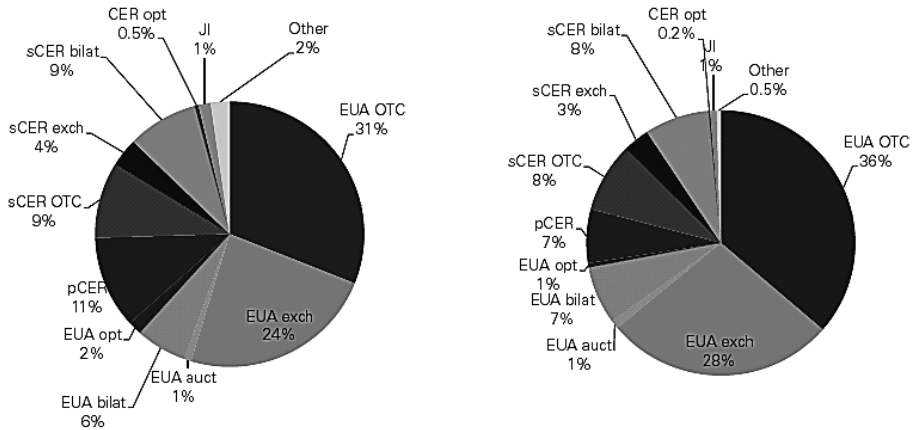
Finally, the European Union Allowances (EUA) are emission allowances provided to the industry by the single Union Registry. From the launch of the EU ETS in January 2005, national registries ensured the accurate accounting of all allowances issued. This task was taken over during 2012 by the single Union registry operated by the Commission. From 2012 the Union registry includes accounts for aircraft operators. During phase II the national and Union registries recorded: National allocation plans, Accounts of companies or physical persons holding those allowances, Transfers of allowances ("transactions") performed by account holders, Annual verified CO₂ emissions from installations, Annual reconciliation of allowances and verified emissions, where each company must have surrendered enough allowances to cover all its verified emissions (European Commission webpage⁵).

3 Check Annex 3 of this document for further information about Annex I and non-Annex I parties of Kyoto Protocol.

4 Date of Access: December 30, 2012.

5 Date of Access: May 13, 2013.

Graph 2: Types of carbon credits traded under EU-ETS by volume and value⁶



Source: Point Carbon

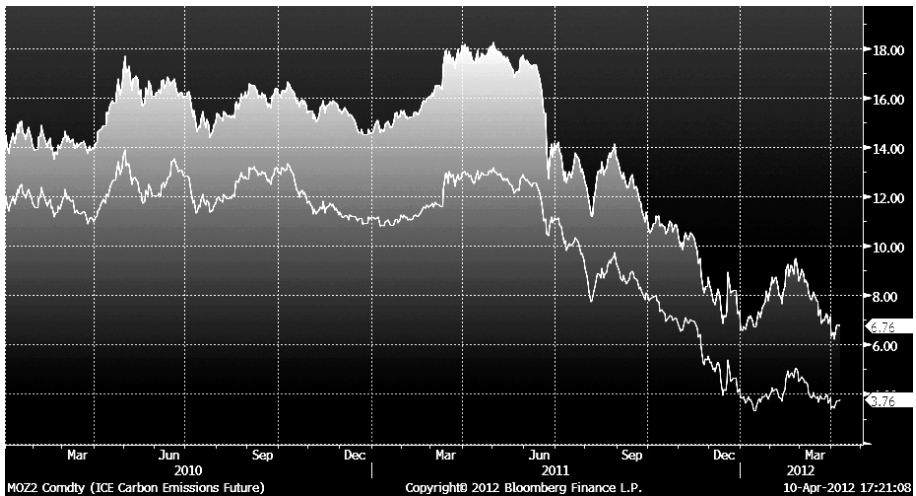
The most important flow of carbon credits comes from EUA. Since the launch of the phase I of the mechanism in 2005 until the end of the phase II in 2012, in terms of volume, more than the 60% of the carbon credits traded under the EU-ETS are EUA and; in terms of value, more than 70% of the carbon credits traded under EU-ETS are EUA as it can be seen in Graph 2 above. It is important to mention that in terms of prices a European Union Allowance (EUA) has a higher market value in comparison to an offset such as a CER or ERU as it is possible to see in Graph 3 below. This is due to the lack of a developed secondary market for CER, the lack of homogeneity⁷ between and within JI and CDM projects which causes difficulty in pricing as well as questions due to the principle of supplementarity⁸ and its lifetime. Additionally, offsets generated by a carbon project under the Clean Development Mechanism are potentially limited in value because operators in the EU ETS are restricted as to what percentage of their allowance can be met through these flexible mechanisms (Neuralenergy webpage⁹).

⁶ Graph obtained from PPT presentation of Mr. Jai Jiang, Carbon Trading Manager at Eneco during a presentation at Twente University for MEEM students.

⁷ It refers to the diverse kind of projects in terms of scope, size, costs, impacts (environmental and societal), lifetime, institutional security, etc. For example: the installation of a massive eolic park in the coast of Denmark versus the installation of one hundred 50Wp PV panels in a rural community of Bolivia.

⁸ It is one of the main principles of the Kyoto Protocol. The concept is that internal abatement of emissions should take precedent before external participation in flexible mechanisms. These mechanisms include emissions trading, Clean Development Mechanism (CDM), and Joint Implementation (JI).

⁹ Date of Access: May 14, 2013.

Graph 3: Carbon Offset Price Gap between EUA (white) and CER (yellow)¹⁰

Source: Bloomberg

Under the phase I (2005-2007) and phase II (2008-2012) of the EU-ETS, spot and future prices of the EUA have behaved unstably, reaching top prices of almost 35 Euros per ton of CO₂ but also reaching bottom prices below the 10 Euros per ton of CO₂ during the period 2005-2011. Nowadays, the price of a EUA fluctuates around the 8 Euros per ton of CO₂. The consequences of this fluctuation are discussed in the next section.

3. Problem Identification

Assuming that investment and technology innovation and its subsequent implementation is one of the most important (if not the most important) tool for adaptation and mitigation to climate change, the concern is that price volatility of an offset such important for the EU-ETS, as the European Union Allowance (EUA), could erode the capacity for rational economic calculation and could give rise to investment uncertainty from industry and power generation (Chester and Rosewarne, 2011). As a consequence, price instability could diminish the incentives for cleaner and environmental investment initiatives since investors perceive uncertainty about the future and adopt a position similar to “wait and see”. In other

¹⁰ Graph obtained from PPT presentation of Mr. Jai Jiang, Carbon Trading Manager at Eneco during a presentation at Twente University for MEEM students.

words, investors do not have information that allows them to compare their cheapest solution about their emission reductions (buy carbon credits versus invest in environmental and cleaner technologies). This situation can become in a serious threat for the EU-ETS since the main objective of the scheme (reduce emissions) wouldn't be achieved, at least not as a consequence of cleaner investments.

The main objective of this research is to provide an insight about the role of the European Union Emission Trading Scheme (EU-ETS) as a cleaner investment promoter. For this purpose, this study will analyze the links between private environmental investment and its possible determinants: interest rates, economic growth, the implementation of EU-ETS in 2005, carbon offset prices and energy prices since the creation and running of the EU-ETS in 2005 until 2007 (Phase I) through the modeling of econometric estimations. As secondary objectives, this research will provide a literature review about the link between carbon markets and the promotion of cleaner investment initiatives; will identify other variables than EU-ETS that determined the behavior of environmental investments and; will evaluate the consequences of the signature of Kyoto Protocol on the promotion of environmental investments before the implementation of EU-ETS in 2005 and will analyze the impact of CDM projects on developing countries.

4. Literature Review

There are diverse issues that have been studied in the recent years about the performance of the EU-ETS and its effects on environment, industry and economics. Among these, it's possible to differentiate two major issues related to: (1) the operating of the mechanism and (2) its economic effects (Zhang and Wei, 2010). About issues of the operating mechanism, these are focused in two major problems: allowance allocation mechanism (that takes into account over-allocation and banking problems) and carbon offset pricing (that takes into account the interrelations between energy prices and carbon prices, the liquidity of carbon offsets and the relation between stock market and carbon prices). About issues related to the economic effects of the EU-ETS, it is necessary to differentiate effects on: (1) energy industry, (2) non-energy industry with high energy intensity and (3) socio-economy (Zhang and Wei, 2010).

The studies about the effects of EU-ETS on energy industry are mainly focused on: the impact of carbon pricing in generation costs, the impact of EU-ETS on investment decisions

and the impact of carbon pricing on value of the firm. The studies about the effects of EU-ETS on the non-energy industry are mainly focused on: the impacts of including the aviation sector into the mechanism, the impacts of carbon price variation in productivity and the impact on emissions reductions and cleaner technology investments. Finally, the studies about the effects of EU-ETS on the socio-economy are mainly focused on the relation of carbon futures market and macro-economic variables and the influence of the EU-ETS on enterprise financial performance and the employment situation (Zhang and Wei, 2010).

As it may be acknowledged, the existing literature about the issues in the EU-ETS is extensive. Since the main issue studied under this research is the role of EU-ETS as environmental investment promoter, the literature to be reviewed will focus on previous research that studies the relation between EU-ETS and cleaner technology investments. In this sense, this literature review will emphasize on empirical studies that provide a better understanding of the EU-ETS -cleaner investments relation.

Lacombe (2008) studied the economic impact of the EU-ETS on the refining industry in Europe during phase I of the mechanism. The author affirms that the companies took into account carbon prices in a statistically efficient way, but this led to second-order emission abatements rather than dynamic changes in operations. The author divides the analysis of EU-ETS and its impact on investments in the short and long-run. In this sense, the author affirms that in the short-run a certain number of abatement investments have been considered by industry but few projects have resulted in actual investments so far. The widespread opinion among the participants (refining companies) is that, while the cost of carbon in the current environment is not enough yet to create by itself strong incentives for actors to change their operations, it has compounded with the recent increase in energy prices and led companies to become much more serious about energy efficiency investments.

After consultations with experts about the long-run impact of EU-ETS on cleaner investments, the author affirms that long-run impact of the carbon price on investments is not yet clear. Nevertheless, considering carbon prices of 40 Euro per tonne in the future will induce significant changes in the existing industrial basis, with more investments coming on line. In overall, there is some room for investment in abatement technologies and the incentives created by EU-ETS are mostly seen as credible and durable. However, a number of internal (workforce liability) and external constraints (sulfur content regulation) and the signal that low price of carbon offered during phase I, have discouraged most companies from heavily investing up to date.

Hoffmann (2007) conducted five case studies in German power generation companies in order to analyze the effect of EU-ETS on environmental investment decisions during the first period of the scheme (Phase I). Remarkably, this study shows that the economic principle of the scheme is working since the market price of CO₂ allowances is reflected in dispatch¹¹, investment decisions and energy prices. Nevertheless, this study concludes that the EU-ETS constitutes a main driver for small-scale investments with short amortization times while its impact on large-scale investments in power plants or in R&D efforts is limited. The study shows that high price volatility of allowances and the regulatory uncertainty that surrounds EU-ETS creates a high risk to long-term investments.

Furthermore, the author suggests that elements of the regulation that provide incentives for increasing efficiencies should be fostered, such as benchmarking or the *malus* rule¹². Regulatory uncertainty should also be reduced, for example by increasing the length of the trading periods to make them more comparable to typical amortization times. Finally, policy makers should provide guidance for the sector as a whole on how to balance the necessity for low carbon investments with favoring investments that increase electricity supply security.

Following the same line, Rogue and Hoffmann (2009) studied the impact of the EU-ETS on the sectorial innovation system for power generation technologies in Germany based on 42 interviews with experts in the field. The findings of this study show that EU-ETS has influenced the sectorial innovation system of power generation technologies of Germany in several areas. The most pronounced change concerns the Research, Development and Deployment (RD&D) on Carbon Capture and Storage (CCS) technologies and the rise of awareness of corporate actors about CO₂ emission consequences. These changes already occurred at the very beginning of the EU-ETS and have further gained in importance.

Based on these findings, the authors expect that the revised EU-ETS will continue to be an important, although insufficient in itself, element in the policy mix needed to promote investments in cleaner technologies within the power sector. Also, according to the authors, policy makers interested in increasing the innovation impact (cleaner investments) of the EU-ETS up to 2020 should strive for the cap to be raised, and consider communicating the

¹¹ Economic dispatch is the short-term determination of the optimal output of a number of electricity generation facilities, to meet the system load, at the lowest possible cost, while serving power to the public in a robust and reliable manner.

¹² The term *bonus-malus* (Latin for good-bad) is used for a number of business arrangements which alternately reward (*bonus*) or penalize (*malus*).

desired long-term reduction path more clearly, with the aim of decreasing uncertainty on the part of innovators (Engau and Hoffmann, 2010).

Rogge *et al.* (2010) leads a similar study based on 19 power generators in Germany. The author concludes that the innovation impact of the EU-ETS has remained limited because of the scheme's price volatility and the limited institutional predictability characterized by short trading phases (3-5 years). This lack of certainty undermines the long-term and capital-intensive investments decisions of power sector investors. In consequence, the EU-ETS is highly unlikely to lead RD&D decisions in line with the EU 2020 proposed targets. Nevertheless, there is a lot of positive expectancy about phase III of the mechanism in which allowances allocation will be made through auctions.

The authors structured their analysis by separating the impact of EU-ETS on different innovation dimensions of RD&D. About RD&D in CO₂ capture technologies, the implementation of EU-ETS triggered a strong increase in corporate CCS research, demonstrated by the initiation of pilot projects. While the efforts of power generators are to a large extent driven by the EU-ETS, technology providers' increased RD&D activities which are typically driven by their customers' needs, illustrating the trickledown effect of the EU-ETS through the value chain.

Also, it is noticed an increment in RD&D activities with the aim of increase coal plants efficiency up to 50% and beyond (>50%). The first main reason for this acceleration is the CO₂ price, while the second is the efficiency losses that would occur if CCS were installed in the future. The EU-ETS' impact on incremental RD&D activities in gas technologies appears to be positive but very small. In this line, there is evidence supporting that EU-ETS has a very limited and only indirect impact on the ongoing rapid incremental RD&D activities in wind power, resulting from learning effects due to the increased adoption of wind turbines. However, the perceived security of supply and the favorable coal-to-gas price ratio remain strong drivers for preferring new coal over new gas plants even after the implementation of EU-ETS.

Feilhauer (2009) developed an interesting economic analysis about the effects of EU-ETS on carbon emissions and investment decisions on power sector of Germany. In his research, the author concludes that after the implementation of the EU-ETS, coal power plants are the most extended investment option for electricity generators. The author provides that conclusion after testing three different analysis and methods: return analysis, marginal fuel

analysis from bottom-up model and spread analysis from commodity prices. The application of these methods has found that this pattern (coal based economy) is very unlikely to change due to the high profitability of coal compared to gas or renewable energies.

The author found a striking result since the large majority of days a coal plant shows a higher profitability than gas plants. But in summer time, the dark spread¹³ show a negative result indicating that gas generation is cheaper (or more profitable) than coal. Moreover, the absolute dark spread shows that coal plant investments have actually become more profitable versus gas since the introduction of carbon emissions trading. While in the times before the emissions trading it was more profitable to operate with coal plants the 66% of the days, in times after the emissions trading it is more profitable to operate with coal plants the 82% of the days. The author explains that this is a counter-intuitive outcome since the EU-ETS mechanism should discourage investment on more pollutant power plants (like coal based) and provides great explanatory power for the recent announcements of new coal builds.

Finally, Venmans (2012) provides a multi-criteria evaluation of the UE-ETS. In terms of environmental efficiency, the author affirms that EU-ETS succeeded in reducing emissions of the sectors covered. In this sense, the author calculated that, during phase I, the abatement compared to business as usual reached 2.5%-5% with no carbon leakage¹⁴ registered outside Europe. This implies that in fact pollutant industries are diminishing its carbon emissions instead of moving them outside Europe. Furthermore, since the crash price before phase II, the author conceives the necessity of a carbon price floor.

In terms of economic efficiency, the author affirms that EU-ETS was not cost efficient in the sense that the cap was not stringent enough to induce a marginal cost of abatement equal to the marginal social cost of carbon. Nevertheless, the author agrees that estimate the marginal social cost of carbon is very difficult since according to several authors this cost fluctuates between eight and eighty five euros per ton of CO₂ equivalent. The author agrees with the cornerstone idea of this research that assumes that the dynamic efficiency of EU-ETS is mainly driven by its capacity to boost technology development and environmental investments. In this sense, the high volatility of carbon price increases the risk profile of low carbon investments. Thus, the price volatility of EU-ETS hampers technology development.

¹³ Refers to the profit realized by a power generator after paying for the cost of coal fuel and carbon allowances.

¹⁴ leakage occurs when there is an increase in carbon dioxide emissions in one country as a result of an emissions reduction by a second country with a strict climate policy.

However, the plausible assumption of increasing carbon prices over time, which is less likely under a carbon tax, favours long-term strategic positioning of low carbon technologies.

The author agrees with the idea that the high volatility of the carbon price increased the risk of low carbon investments and its capital costs. In this sense, several authors mention that a carbon floor would increase price stability and in consequence reduce the risk for long-term cleaner investments, even though there are plausible assumptions that carbon prices will increase over time and they will remain steady in time. The author also mentions that there is an inherent propensity of the actual EU-ETS to provide incentives to low-cost abatement opportunities rather than more expensive technologies (long term investments) that could become in more efficient solution for the future.

Blanco and Rodrigues (2008) provide an analysis about the role of EU-ETS in promoting wind energy investments. In this sense, the authors affirm that EU-ETS constitute a valuable tool for reducing CO₂ emissions and at the same time encourage wind energy investments if some barriers of its actual design are solved. These barriers are focused on the political national influence and over-allocation of permits, the adoption of full auctioning and the inclusion of other pollutant sectors and gases.

However, since EU-ETS is solely concerned about reducing GHG emissions and does not comprehend other benefits of wind energy, like security supply and employment creation, it does not represent an optimal tool to remunerate the external benefits of this sector. According to the authors, EU-ETS is unlikely to provide sufficient incentives to promote wind power, in consequence other policies to internalize the societal benefits that accrue from deploying this technology should be used.

As a summary, it may be said that most of the literature reviewed related to the role of the EU-ETS as a cleaner investment promoter focuses its analysis in the impact of EU-ETS over investments on particular sectorial cases like refining, power generation industry and wind power. Geographically, most of these studies are focused in the German economy but also in Europe as a whole. These studies are mainly based on surveys and case-studies that conclude that the EU-ETS provide incentives for short-term payback investments but does not provide incentives for long-term investments. This situation is explained by different authors because of institutional uncertainty and price volatility.

5. Methodology

It is evident to notice the lack of studies that uses macroeconomic statistical databases about environmental investment since the implementation of the EU-ETS in order to evaluate the impact of EU-ETS as environmental investment promoter. The approach of this research attempts to provide a different macroeconomic perspective that delivers a better understanding about the role of EU-ETS as cleaner investment promoter through the use of aggregate statistical databases and econometric estimations. In this sense, it is planned to find the macroeconomic determinants of environmental investments (meaning by environmental investments as all outlays for machinery and equipment destined for environmental protection purposes) of private companies according to the economic theory.

Basically, classic economic theory explains the private investment as a consequence of the behavior of economic (GDP) growth, interest rates (costs of debt), and subjective expectations about the future. Within the EU-ETS context, private environmental investments are also defined by the price of CO₂ emissions. For example, if an industry receives an amount of emission allowances that is not enough to fulfill its actual emissions, this industry will have to face a dilemma: buy more allowances or reduce its emissions per unit of production through cleaner technology investments. The rational economic calculation would suggest the industry to choose its cheapest option available for the long-run. In this sense, the implementation of the EU-ETS and carbon pricing will become part of the companies' expectations and should affect to their environmental investments decisions. Carbon price drivers are mainly related to institutional decisions (that change the rule of the game), energy prices and extreme weather events (Chevallier, 2012).

The econometric estimation will measure the explanatory power of the independent variables (GDP growth, Interest Rates, EU-ETS implementation, carbon prices and energy prices) over the dependent variable (Environmental Investment as Percentage of GDP). The characteristics and use of these variables will be explained in the Variables Specification section below. The econometric estimation will be developed in two stages. The first stage will be a country individual analysis about the impact of EU-ETS on environmental investment through a multivariable OLS estimation. The second stage will cover panel-data estimation with all the information available from the countries under analysis. These two different approaches are necessary to verify the results of the estimation and fix problems with the amount of data (observations) available (especially for the country individual estimations).

After this, it will be able to determine the statistical significance of EU-ETS on the behavior of environmental investment and the weight of other variables (independent) at the moment of define environmental investment decisions.

The data source for this research is the European Commission (Eurostat) and it will be focused in the following countries: Germany, France, Spain and The Netherlands. The first three countries were chosen because of their importance in the amount of their total CO₂ emissions¹⁵ since these are amongst the five most important emitters in Europe in order of importance together with the United Kingdom and Italy. Nevertheless, due to the lack of statistical information, in particular data about private environmental investments from year 1998 until 2000, the analysis of Italy and UK is not considered. Furthermore, even though The Netherlands is not one of the most important CO₂ emitters in Europe, it is considered within this analysis because this research is made under the support of a Dutch institution: Twente University. The data available that will be used for this analysis will cover the period 1998-2007. For this reason it is possible to assess the entire phase I of the EU-ETS.

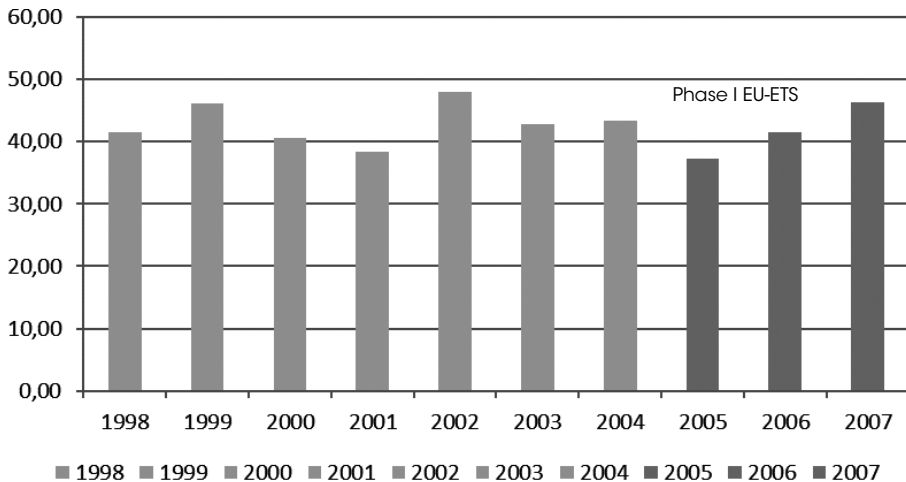
6. Environmental Investment

Before the econometric estimation, it is important to analyze private environmental investment data trends and how it behaves in time within all countries under analysis: Germany, France, Spain and The Netherlands. For this purpose it will be useful to analyze the environmental investment as a percentage of GDP and as a percentage of the total private investment in order to evaluate its behavior across time and its economic significance within each country. It is important to remark here that, since under this research it's being evaluated the power of EU-ETS in promoting environmental investments within the private sector, it will be more accurate to compare them with total private investments and not with total investments (private plus public).

15 Total of CO₂ emissions in tonnes from industry, energy and transport

6.1. Germany

Graph 4: Private Environmental Investment as Percentage of Total Private Investment - Germany

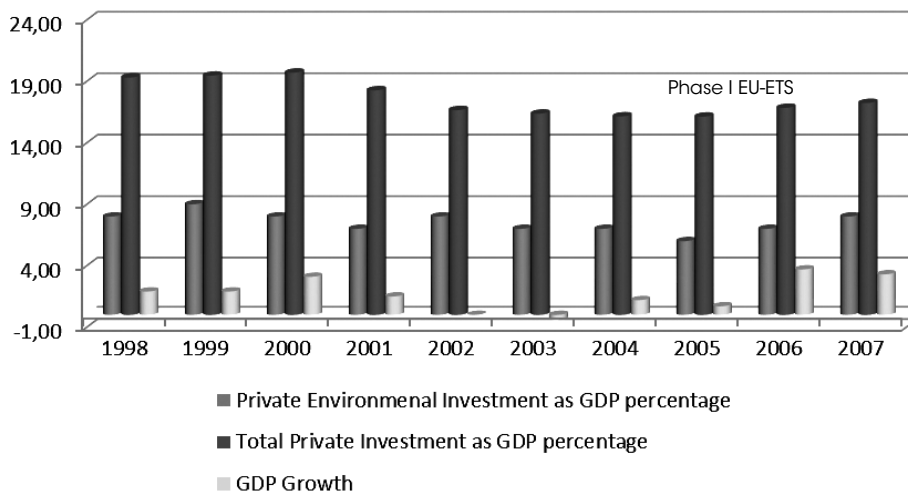


Source: Own Elaboration with Eurostat data

During the period previous to the EU-ETS (1998-2004), the environmental investment as a percentage of total private investment had a very volatile behavior. As it may be seen in Graph 3, this variable has been behaving in a cyclical pattern, finding its highest peaks during the years 1999, 2002 and 2007; and its lowest value during the years 2001 and 2005. For example, private environmental investment as percentage of total private investment reached values of 46%, 48% and 46% in 1999, 2002 and 2007 respectively; and values of 38% and 37% in 2001 and 2005 respectively.

A similar pattern can be found if environmental investment data is analyzed as a percentage of GDP as it may be seen in Graph 4. It is interesting to notice that on average during this period, environmental investments represented a 42% of the total private investments as GDP percentage. Nevertheless, the most important information about both graphs analysis is to notice that since the implementation of EU-ETS in 2005, the environmental investment started an ascendant tendency as a percentage of GDP and as a percentage of total private investments that does not follow GDP growth tendency and could be as a consequence of new environmental legislation and/or institutional changes like EU-ETS implementation.

Graph 5: Environmental Investment and Total Investment as Percentage of GDP - Germany

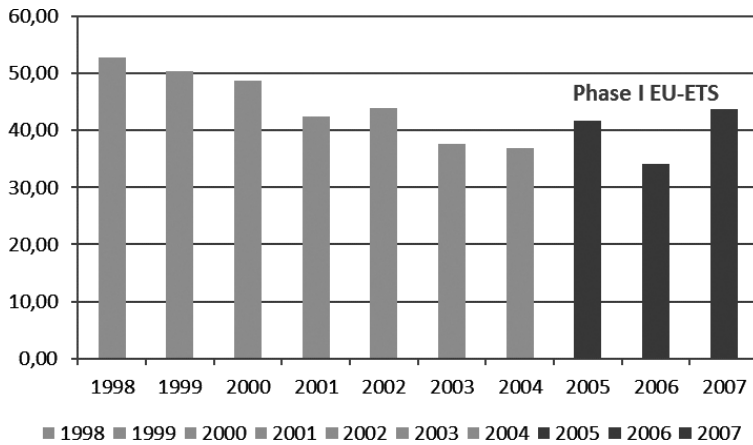


Source: Own Elaboration with Eurostat data

6.2. France

For the case of France, contrary to the case of Germany, during the period previous to the EU-ETS (1998-2004) the environmental investment as a percentage of private total environmental investment had a continuous and steady decreasing behavior as it may be seen in Graph 5. For example, the private environmental investment as percentage of total private investment decreased constantly from values of 52% in 1998 up to values of 36% in 2004, reaching a total decrease of 43% in seven years. Nevertheless, it is important to remark that since the implementation of EU-ETS in 2005, private environmental investments started to increase.

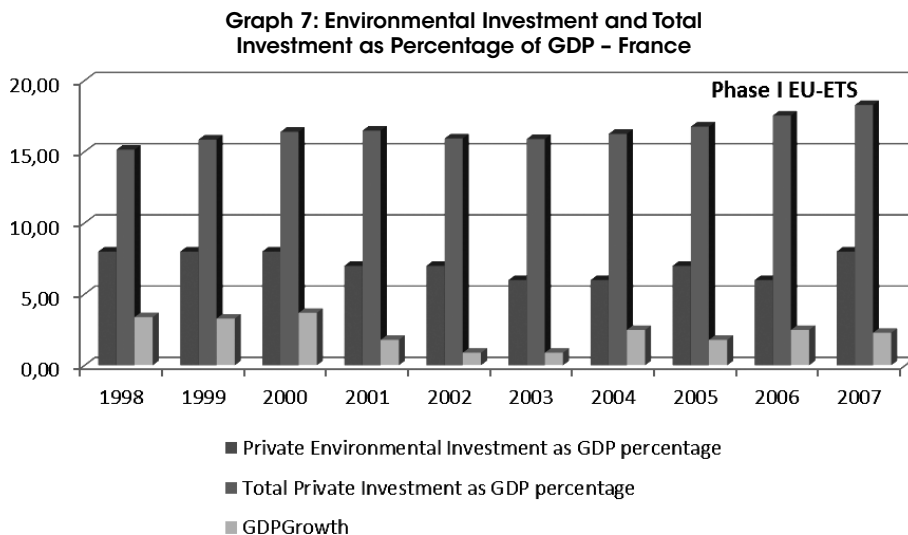
Graph 6: Private Environmental Investment as Percentage of Total Private Investment - France



Source: Own Elaboration with Eurostat data

A similar pattern can be found if it is analyzed environmental investment data as percentage of GDP as it may be seen in Graph 6. It is interesting to notice that in average during this period, environmental investments represented a 43% (one percentage point more than in Germany) of the total private investments as GDP percentage.

Nevertheless, the most important information about the behavior of environmental investment in France is that environmental investment is highly correlated (correlation coefficient equal to 0.74) with economic growth (especially since 2003) with one period lag. This strong relation could explain an important diminishment of environmental investment in 2006 that didn't allow EU-ETS implementation promote environmental investments as was the case of Germany previously explained.

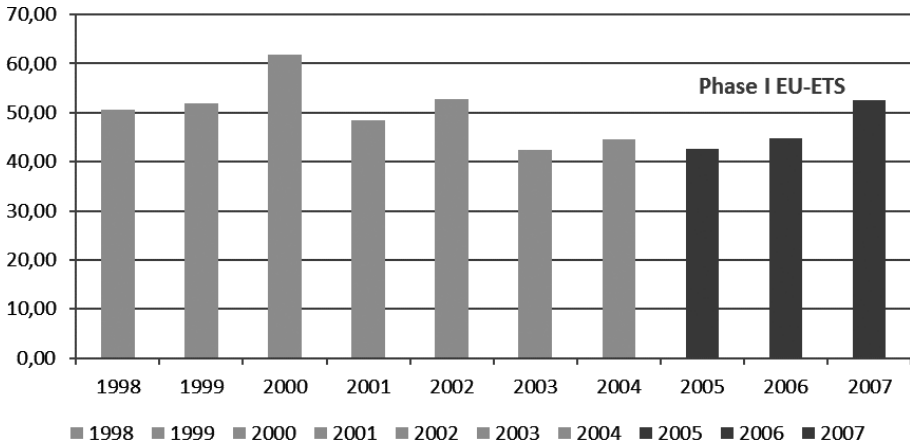


6.3. Spain

Similarly to the case of Germany, the behavior of environmental investment in Spain has been very volatile and followed a cyclical pattern during the period under analysis as it may be seen in Graph 7. Environmental investment as percentage of total investment reached its highest peaks in 2000 and 2007 (61% and 52% respectively) and reached its lowest in 2003 (42%).

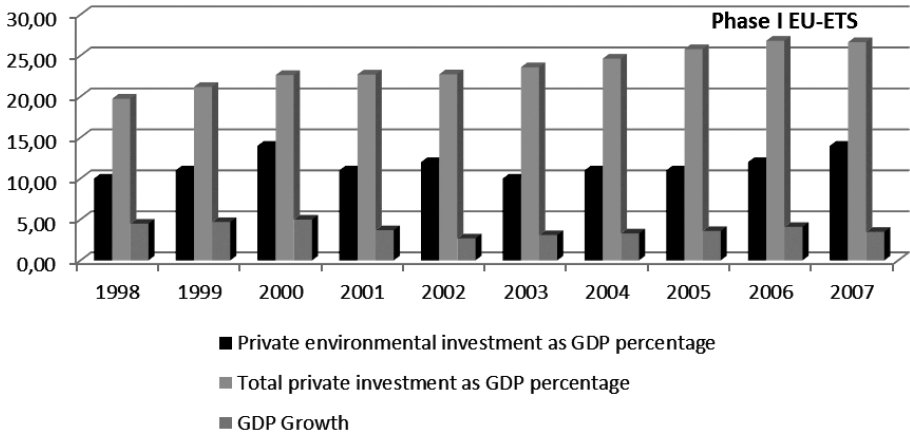
A similar cyclical pattern can be found if it is analyzed environmental investment data as percentage of GDP as it may be seen in Graph 8. It is interesting to notice that in average during this period, environmental investments represented a 49% (much higher in comparison to Germany and France) of the total private investments as GDP percentage. The most important information about the behavior of environmental investment in Spain is that since 2005 (the year of EU-ETS implementation) the environmental investment started a positive tendency in monetary terms as well as in GDP and private investment percentage. The relation between environmental investment and economic growth in this case is not as clear as in the previous cases but there is some evidence of slight correlation between them.

Graph 8: Private Environmental Investment as Percentage of Total Private Investment - Spain



Source: Own Elaboration with Eurostat data

Graph 9: Environmental Investment and Total Investment as Percentage of GDP - Spain



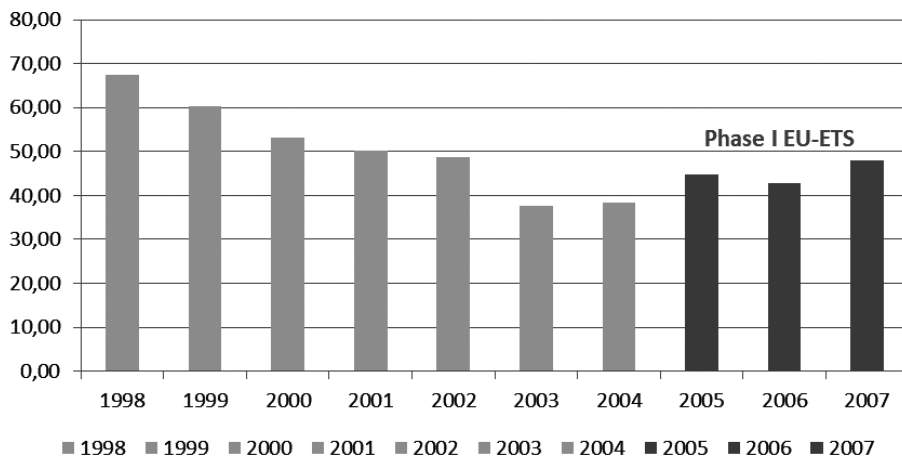
Source: Own Elaboration with Eurostat data

6.4. The Netherlands

The analysis of The Netherlands is very similar to the case of France since during the period previous to the EU-ETS (1998-2004) the environmental investment in The Netherlands had

a continuous and steady decreasing behavior as it may be seen in Graph 9. For example, in 1998 the private environmental investment as percentage of total private investment was in 68% and went down up to 38% in 2003. This diminishment of environmental investment as total private investment represents a decrease of 44% in six years.

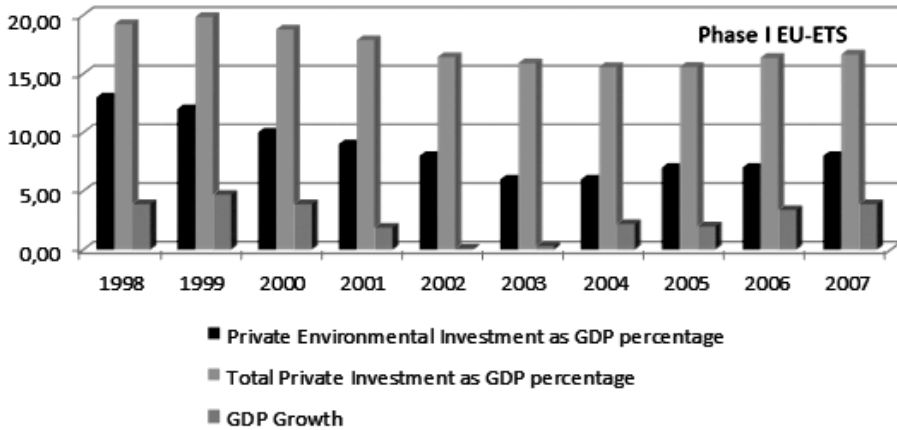
Graph 10: Private Environmental Investment as Percentage of Total Private Investment - The Netherlands



Source: Own Elaboration with Eurostat data

A similar pattern (decreasing from 1998 until 2004) can be found if it is analyzed environmental investment data as percentage of GDP as it may be seen in Graph 10. For this case it is very interesting to notice that there is a very high correlation (correlation coefficient of 0.80) between environmental investments and economic growth (especially since 2003). This situation could explain a reduction in environmental investments during 2006 lead by a negative economic shock. Furthermore, on average, during this period, environmental investments represented a 49% (same as Spain) of the total private investments as GDP percentage.

Graph 11: Environmental Investment and Total Investment as Percentage of GDP - The Netherlands



Source: Own Elaboration with Eurostat data

Finally, the most important information about the behavior of environmental investment in The Netherlands is that since 2005 (the year of EU-ETS implementation) the tendency of environmental investment changes and starts a positive recovery led by positive economic growth.

7. Econometric Estimation

This section will focus on the empirical testing, through an econometric analysis, of the impact of the EU-ETS on private environmental investments. As it was mentioned before, this section will be divided in two stages:

During the first stage, it will be developed a Multiple Linear Regression of each country under analysis through an Ordinary Least Square (OLS) econometric estimation technique that allows us to infer about the role of EU-ETS on environmental investments. One of the problems of this individual estimation is the number of observations available. Since the available data comes from 1998 until 2007 (only 10 observations) it is likely that the estimation's results could have some problems in terms of efficiency. This means that, when there are only a few observations or the sample size is small, like in this case, it is possible to obtain estimations with high standard error.

During the second stage, it will be developed a different econometric estimation approach. The advantages of this new estimation, called Panel-Data Estimation, are that provides better statistical consistency in terms of un biasedness and guarantees efficiency in the estimation's results since it improves the number of observations (4 countries times 10 years equals to 40 observations). This approach gathers together all the individual country information (in a panel of data) and provides a single estimation.

Both analysis are complementary and will help each other to check results in the first stage. In this sense, it will be possible to find and quantify information about the role of the Emission Trading Scheme and its promotion to investments in cleaner ways of production.

♦ **Multiple Linear Regression:**

In statistics, linear regression is an approach to modeling the relationship between a scalar dependent variable Y and one or more explanatory variables denoted X . Most commonly, linear regression refers to a model in which the conditional mean of Y , given the value of X , is an affine function of X . Linear regression has many practical uses, the most important one in this case is that: Given a variable Y and a number of variables X_1, \dots, X_p that may be related to Y , linear regression analysis can be applied to quantify the strength of the relationship between Y and the X_j , to assess which X_j may have no relationship with Y at all, and to identify which subsets of the X_j contain redundant information about Y .

Given a data set $\{y_i, x_{i1}, \dots, x_{ip}\}_{i=1}^n$ of n statistical units, a linear regression model assumes that the relationship between the dependent variable y_i and the p -vector of regressors x_i is linear. This relationship is modeled through a disturbance term or error variable ε_i — an unobserved random variable that adds noise to the linear relationship between the dependent variable and regressors. Thus the model takes the following form:

$$y_i = B_1 * X_{i1} + \dots + B_p * X_{ip} + e_i \quad i = 1, \dots, n$$

Often these n equations are stacked together and written in a vector form as:

$$y = X * B + e$$

Where:

$$y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} B_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ B_p \end{pmatrix} \quad e = \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{pmatrix}$$

- Y_i is called the dependent variable. The decision as to which variable in a data set is modeled as the dependent variable and which are modeled as the independent variables may be based on a presumption that the value of one of the variables is caused by, or directly influenced by the other variables.
- X_i are called independent variables.
- B_i is a p-dimensional parameter vector. Its elements are also called effects, or regression coefficients. Statistical estimation and inference in linear regression focuses on B .
- e_i is called the error term, disturbance term, or noise. This variable captures all other factors which influence the dependent variable Y_i other than the dependent variables X_i .

The estimation technique used here is the Ordinary Least Square (OLS). The OLS method minimizes the sum of squared residuals, and leads to a closed-form expression for the estimated value of the unknown parameter B_i :

$$B = (X^T X)^{-1} X^T y = \left(\frac{1}{n} \sum X_i X_i^T \right)^{-1} \left(\frac{1}{n} \sum X_i Y_i \right)$$

• **Panel Data Estimation:**

In statistics and econometrics, the term panel data refers to multi-dimensional data frequently involving measurements over time. Panel data contain observations on multiple phenomena observed over multiple time periods for the same firms or individuals. A panel has the form:

$$X_{it}, i = 1, \dots, N \quad \text{and} \quad t = 1, \dots, T$$

Where: i is the individual dimension and t is the time dimension. A general panel data regression model is written as:

$$Y_{it} = B'X_{it} + u_{it}$$

The technique estimation will also be OLS as the multiple linear regression case.

7.1. Variables Specification

In order to obtain consistent and coherent estimations, the variables used in this OLS estimation have all been obtained from a common source (Eurostat). In this way, it is possible to guarantee information homogeneity. The following table is a summary of the variables used:

**Table 1
Variables Summary**

Dependent Variable	Independent Variables					
Environmental Investment as GDP percentage	Economic Growth (GDP Variation)	Interest Rates (Short and Long Term)	EU-ETS Expectations	Electricity Prices	Gas Prices	Carbon Prices
Variable Description						
All outlays in a given year for machinery, equipment and land used for environmental protection purposes in private and public sector. (Millions of Euro) For each sample country (98-09) period.	Gross Domestic Product at current prices. (Millions of Euro) For each sample country (98-09) period.	Long and Short Term Banking Interest Rates (Percentage). For each sample country (98-09) period.	Implementations of EU-ETS in Phase I and Phase II. Dummy Variable. For each sample country (98-09) period.	Electricity prices for industrial consumers are defined as the average national price in Euro per kWh without taxes applicable for the first semester of each year for medium size industrial consumers.	Natural gas prices for industrial consumers are defined as follows: Average national price in Euro per Giga Joule (GJ) without taxes applicable for the first semester of each year for medium size industrial consumers.	Annual average prices calculated from daily spot markets.

Source: EuroStat and PointCarbon

7.2. Model Specification: Investment Equation

The objective of this research is to provide an insight about the role of the European Union Emission Trading Scheme (EU-ETS) as a cleaner investment promoter. The environmental (or

cleaner) investment (dependent variable) equation used for the econometric OLS estimation is determined by these independent variables: economic growth (GDP variation), interest rates, a proxy of the implementation of the EU-ETS, carbon prices and energy prices (gas and electricity). The time period under analysis is from 1998 until 2007 (3 years – complete phase I). The results of this equation estimation will determine the degree of importance and significance of the EU-ETS in environmental (cleaner) investment decisions.

$$\text{EnvInvest} = c + \beta_1 * \Delta\text{GDP} + \beta_2 * \text{IntRate} + \beta_3 * \text{EUETS} + \beta_4 * \text{EUAPrice} + \beta_5 * \text{Gasprice} + \beta_6 * \text{ElectricityPrice} + \varepsilon$$

For purposes of the estimation, private environmental investment will be accounted as GDP percentage. Also, for the estimation it will be used two kinds of interest rate, long and short term investment. Since all the countries under analysis are part of the Economic and Monetary Union, the short term interest rates are common between all of them. The variable related to the EU-ETS will represent the implementation of the policy in time. This will be represented by a dummy¹⁶ variable into the model. Carbon prices are the result of annual average prices since the original data was obtained from the daily spot market. Electricity and gas prices are obtained as the price in Euros per unit of kWh. Finally, the term ε represents the model error and the constant term c includes the omitted variables in the model.

7.3. Stage 1 - Results of the Individual Estimation

7.3.1. Germany

The results are obtained from the application of econometric estimation made by the software EViews. EViews (Econometric Views) is a statistical package for Windows, used mainly for time-series oriented econometric analysis. EViews can be used for general statistical analysis and econometric analyses, such as cross-section and panel data analysis and time series estimation and forecasting.

The econometric estimations demonstrated that, for the case of Germany, the private environmental investments depend positively on: economic growth (with one year lag), short

¹⁶ Dummy variables are "proxy" variables or numeric stand-ins for qualitative facts in a regression model. In regression analysis, the dependent variables may be influenced not only by quantitative variables (income, output, prices, etc.), but also by qualitative variables (gender, religion, geographic region, etc.). A dummy independent variable (also called a dummy explanatory variable) which for some observation has a value of 0 will cause that variable's coefficient to have no role in influencing the dependent variable, while when the dummy takes on a value 1 its coefficient acts to alter the intercept.

term interests, EU-ETS implementation and electricity prices. Environmental investments also depend negatively on: long term interests and gas prices. As it may be noticed, the variable carbon price is not in the estimations results. This is because the observations of this variable were not sufficient (only four observations: from 1995 until 1998) for the software with the aim of provide a consistent estimation. This situation does not affect the results since the dummy variable that represents the introduction of EU-ETS will be the tool that will allow this research to answer the research questions.

It is very important to note that the adjustment of the estimation is very good since the Adjusted R-Squared indicator is equal to 0.99, being 1 a perfect adjustment. This means that the model has an important explanatory power at the moment of identify the variables that determine the behavior and tendency of private environmental investments.

Table 2
Estimation Results – Germany

Dependent Variable: ENVINV_GDP				
Method: Least Squares				
Sample (adjusted): 1999 2006				
Included observations: 8 after adjustments				
White Heteroskedasticity-Consistent Standard Errors & Covariance				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-44.81714	0.279319	-160.4516	0.0040
GROWTH(-1)	0.873089	0.008587	101.6803	0.0063
INTERESTST	10.66622	0.064001	166.6562	0.0038
INTERESTLT	-4.258937	0.027181	-156.6885	0.0041
EU_ETS	3.999117	0.046254	86.46019	0.0074
ELECPICES	196.2091	0.655551	299.3040	0.0021
GASPRICES	-0.085346	0.001298	-65.77156	0.0097
R-squared	0.999970	Mean dependent var		7.375000
Adjusted R-squared	0.999793	S.D. dependent var		0.916125
S.E. of regression	0.013165	Akaike info criterion		-6.151924
Sum squared resid	0.000173	Schwarz criterion		-6.082413
Log likelihood	31.60770	Hannan-Quinn criter.		-6.620750
F-statistic	5649.241	Durbin-Watson stat		3.083111
Prob(F-statistic)	0.010184			

Source: Own Elaboration with Eurostat data

The estimation results demonstrate that economic growth is very important at the moment of explaining environmental investment decisions since the coefficient calculated rises up to 0.87 with a statistical consistency of 99.37% (0.0063 prob). Following the same line, the estimation results also shows that short term interest rates and electricity prices contribute positively to environmental investments decisions since the calculated coefficients rises up to 10.67 and 196.21 respectively, with a statistical consistency of 99.62% (prob 0.0038) and 99.79% (prob 0.0021).

Nevertheless, the most important result for the purposes of this research is the significance of the implementation of EU-ETS on environmental investments. As it may be seen in Table 2, the implementation of the emission trading system had a positive impact on environmental investments since the coefficient rises up to 3.99 with a statistical consistency of 99.26% (prob 0.0021).

In this particular case, the results show that long term interest rates and gas prices discourage environmental investment decisions since the coefficients (4.25 and 0.085 respectively) of both variables are (sign) negative. Nevertheless, both variables are statistically significant in 99.59% (prob 0.0041) for the case of long term interest rates and 99.03% (prob 0.0097) for the case of gas prices.

7.3.2. France

The results obtained by the econometric estimation realized by the software “Eviews” demonstrates that, for the case of France, the private environmental investments depend positively on: long term interests and EU-ETS implementation. And depends negatively on: economic growth (with one year lag), short term interests and gas prices. As it may be noticed, the variables carbon price and electricity prices are not included in the estimation results because they were not statistically consistent in explaining environmental investment. This means that for the case of France, electricity and carbon prices have no statistical influence on environmental investment decisions. The explanation of not including carbon prices was given previously (see German results).

Also, it is very important to note that the adjustment of the estimation is very good since the Adjusted R-Squared indicator is equal to 0.96, being 1 a perfect adjustment. This means that the model has an important explanatory power in order to identify the variables that determine the behavior and tendency of private environmental investments.

The estimation results demonstrate that long term interest rates are very important at the moment of explaining environmental investment decisions since the coefficient calculated rises up to 39.78 with a statistical consistency of 97.94% (0.0206 prob). Nevertheless, the most important result for the purposes of this research is the significance of the implementation of EU-ETS on environmental investments. As it may be seen in Table 3, the implementation of the emission trading system had a positive impact on environmental investments since the coefficient rises up to 4.17 with a statistical consistency of 99.67% (prob 0.0033). This means that the implementation of EU-ETS in 2005 encouraged and promoted the investments in environmental investments.

Table 3
Estimation Results - France

Dependent Variable: ENVINV_GDP				
Method: Least Squares				
Sample (adjusted): 1999 2007				
Included observations: 9 after adjustments				
White Heteroskedasticity-Consistent Standard Errors & Covariance				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	5.050809	0.888746	5.683072	0.0108
GROWTH(-1)	-0.964340	0.243809	-3.955308	0.0288
INTERESTST	-38.84907	8.910154	-4.360090	0.0223
INTERESTLT	39.78745	8.861963	4.489688	0.0206
EU_ETS	4.176210	0.484947	8.611687	0.0033
GASPRICES	-0.666309	0.065838	-10.12042	0.0021
R-squared	0.985027	Mean dependent var		7.000000
Adjusted R-squared	0.960072	S.D. dependent var		0.866025
S.E. of regression	0.173049	Akaike info criterion		-0.435757
Sum squared resid	0.089838	Schwarz criterion		-0.304274
Log likelihood	7.960908	Hannan-Quinn criter.		-0.719497
F-statistic	39.47196	Durbin-Watson stat		2.259371
Prob(F-statistic)	0.006137			

Source: Own Elaboration with Eurostat data

Finally, these results show (surprisingly) that economic growth, short term interest rates and gas prices discouraged environmental investment decisions during 1998 until 2007 since the coefficients (0.96, 38.84 and 0.67 respectively) of these variables have negative sign.

Nevertheless, all these variables are statistically significant in 97.12% (prob 0.0288) for the case of economic growth, 97.77% (prob 0.0223) for the case of short term interest rates and 99.79% (prob 0.0021) for the case of gas prices.

7.3.3. Spain

The results obtained by the econometric estimation demonstrate that private environmental investments in Spain depend positively on: long term interests, EU-ETS implementation and electricity prices. And depends negatively on: economic growth (with one year lag). Also, as it may be noticed, the variables carbon price, short term interest rates and gas prices are not included in the estimations results. This is because all these variables were not statistically consistent, or in other words, these variables didn't affect the behavior of environmental investments.

Following the results analysis, it is very important to notice that the adjustment of the estimation is very good since the Adjusted R-Squared indicator is equal to 0.97, being 1 a perfect adjustment. This means that the model has an important explanatory power at the moment of identify the variables that determine the behavior and tendency of private environmental investments.

Similarly to the case of France, the estimation results for Spain demonstrates that long term interest rates and electricity prices are very important at the moment of explaining environmental investment decisions since the coefficients calculated rises up to 4.04 and 70.00 respectively with a statistical consistency of 99.91% (0.0009 prob) and 94.49 (0.0551). Nevertheless, the most important result for the purposes of this research is the significance of the implementation of EU-ETS on environmental investments. As it may be seen in Table 4, the implementation of the emission trading system had a positive impact on environmental investments since the coefficient rises up to 3.14 with a statistical consistency of 99.26% (prob 0.0074).

Table 4
Estimation Results – Spain

Dependent Variable: ENVINV_GDP				
Method: Least Squares				
Sample (adjusted): 1999 2007				
Included observations: 8 after adjustments				
White Heteroskedasticity-Consistent Standard Errors & Covariance				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-7.484965	1.500443	-4.988502	0.0155
GROWTH(-1)	-1.349713	0.208170	-6.483716	0.0074
INTERESTLT	4.040815	0.304583	13.26672	0.0009
EU_ETS	3.147244	0.483679	6.506879	0.0074
ELECPRICES	70.00737	22.90427	3.056521	0.0551
R-squared	0.979725	Mean dependent var		11.87500
Adjusted R-squared	0.952692	S.D. dependent var		1.457738
S.E. of regression	0.317063	Akaike info criterion		0.809736
Sum squared resid	0.301586	Schwarz criterion		0.859387
Log likelihood	1.761057	Hannan-Quinn criter.		0.474860
F-statistic	36.24193	Durbin-Watson stat		3.194904
Prob(F-statistic)	0.007129			

Source: Own Elaboration with Eurostat data

Finally, these results show (surprisingly) that economic growth discouraged environmental investment decisions during 1998 until 2007 since the resultant coefficient of the estimation rises up to 1.35 (negative) with a statistical consistency of 99.26 (prob 0.0074).

7.3.4. The Netherlands

For the case of The Netherlands, the results obtained by the econometric estimation demonstrate that private environmental investments depend positively on: economic growth (with one year lag). And depends negatively on: EU-ETS implementation. Also, as it may be noticed, the variables carbon price, gas prices, short term interest rates, long term interest rates and electricity prices are not included in the estimations results. This is because all these variables were not statistically consistent at the moment of explaining environmental investment behavior.

The Adjusted R-Squared indicator is equal to 0.81, which gives to the estimation a significant power of adjustment to the reality. This means that the model has an important explanatory power at the moment of identify the variables that determine the actual behavior and tendency of private environmental investments even though, in comparison to previous country analysis, there are only two significant variables into the model.

The case of The Netherlands is very peculiar since there are only two variables that explain environmental investment consistently. In this sense, the estimation results demonstrates that only economic growth promoted environmental investment decisions since the coefficient calculated rises up to 1.03 with a statistical consistency of 94.48% (0.0552 prob). The most important and surprising result of this analysis is the negative impact that EU-ETS implementation had on environmental investments. As it may be seen in Table 5, the implementation of the emission trading system discouraged environmental investments since the coefficient rises up to 1.23 (negative) with a statistical consistency of 99.67% (prob 0.0033).

Table 5
Estimation Results – Netherlands

Dependent Variable: ENVINV_GDP				
Method: Least Squares				
Sample (adjusted): 1999 2007				
Included observations: 9 after adjustments				
White Heteroskedasticity-Consistent Standard Errors & Covariance				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	5.949771	0.173385	34.31529	0.0000
EU_ETS	-1.235592	0.520447	-2.374099	0.0552
GROWTH(-1)	1.033877	0.219688	4.706107	0.0033
R-squared	0.809984	Mean dependent var		8.111111
Adjusted R-squared	0.746645	S.D. dependent var		1.964971
S.E. of regression	0.989056	Akaike info criterion		3.077071
Sum squared resid	5.869394	Schwarz criterion		3.142812
Log likelihood	-10.84682	Hannan-Quinn criter.		2.935201
F-statistic	12.78812	Durbin-Watson stat		1.625566
Prob(F-statistic)	0.006861			

Source: Own Elaboration with Eurostat data

7.4. Stage 2 - Panel Data Estimation Results

The panel data estimation results demonstrate an overall adjustment (R-squared indicator) of the model rises up to 0.75. This estimation result means that the model has an acceptable explanation power in order to identify the variables that determine environmental investment behavior. As it may be seen in the estimation results of Table 6, the environmental private investment has a positive and statistically consistent relation with economic growth in a current year and one year lagged. This means that current and previous economic performance (growth) determine private environmental investment decisions in a current year. The coefficients of these variables (growth and lagged growth) are 0.57 and 1.07 respectively with a statistical consistency of 95.13% (prob 0.0487) and 99.96 (prob 0.0004).

Table 6
Panel Data Estimation Results

Dependent Variable: ENVINV_GDP				
Method: Panel Least Squares				
Sample (adjusted): 1999 2007				
Periods included: 9				
Cross-sections included: 4				
Total panel (unbalanced) observations: 32				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	8.695993	2.533179	3.432838	0.0021
GROWTH	0.570215	0.275123	2.072579	0.0487
GROWTH(-1)	1.077827	0.264836	4.069795	0.0004
INTERESTLT	-1.978697	0.582075	-3.399386	0.0023
INTERESTST	1.560714	0.683520	2.283347	0.0312
EU_ETS(-1)	1.828381	0.925931	1.974641	0.0595
GASPRICES	-0.434156	0.152965	-2.838263	0.0089
R-squared	0.753291	Mean dependent var		8.625000
Adjusted R-squared	0.694080	S.D. dependent var		2.365750
S.E. of regression	1.308496	Akaike info criterion		3.566274
Sum squared resid	42.80406	Schwarz criterion		3.886904
Log likelihood	-50.06039	Hannan-Quinn criter.		3.672554
F-statistic	12.72231	Durbin-Watson stat		1.496498
Prob(F-statistic)	0.000001			

Source: Own Elaboration with Eurostat data

Following the same direction, the estimation results for the block of countries show that short term interest rates affected positively environmental investments since the estimated coefficient rises up to 1.56 with a statistical consistency of 98.88% (prob 0.0312). Nevertheless, as was in the case of single country estimations, the most important result of the panel data estimation is the effect that EU-ETS implementation had on private environmental investment decisions. In this sense, it is possible to see in Table 6 that EU-ETS promoted positively environmental investments with one year lag since the estimated coefficient rises up to 1.82 with a statistical consistency of 94.05% (prob 0.0595).

Finally, panel data estimation results shows that there are two variables that discouraged or had a negative impact on private environmental investments. These are: long term interest rates and gas prices. Long term interest rates have an estimated coefficient equal to 1.97 (negative) with a statistical consistency of 99.77% (prob 0.0023). Gas prices, by its side, have an estimated coefficient equal to 0.43 (negative) with a statistical consistency of 99.11% (prob 0.0089).

7.5. Summary of Results

As it may be seen in Table 7, even if the implementation of EU-ETS affected positively private environmental investments in Germany, its degree of impact was moderate in comparison to the impact of other variables under analysis. In this sense, short and long term interest rates had a stronger impact (with contrary signs: positive and negative respectively) on private environmental investments than EU-ETS implementation. From this situation it is possible to understand that interest rates in Germany are promoting short term financing for private investments.

Following the same line, electricity prices encouraged strongly private environmental investments in Germany since electricity prices increased a lot in the last years. Gas prices affected negatively but in small proportion environmental initiatives. This situation is explained basically by a price effect since gas is a cheaper source of energy than coal or electricity. Finally, economic growth had a small participation in promoting (positively) private environmental investments.

EU-ETS implementation had a positive and moderate impact on environmental investment initiatives in France as similarly happened in Germany. Nevertheless, the variables that affected strongly the behavior of private environmental investments were short and long

term interest rates as was also the case of Germany but with a slight difference. The difference is that for the case of France, short term interest rates affected negatively environmental investments and long term interest rates affected positively (opposite to the case of Germany).

In this sense, interest rates in France are promoting long-term financing for private investments. One surprisingly result is that economic growth discouraged (affected negatively) environmental investments in a moderate proportion. This situation is explained by a poor economic performance that didn't allow the French economy to promote the use of resources in environmental investments. Finally, the behavior of gas prices discouraged private environmental investments in a moderate proportion.

Table 7
Sign and Degree of Impact of Dependent Variables
on Private Environmental Investment

	Economic Growth	Short Term Interest Rates	Long Term Interest Rates	EU-ETS Implementation	Electricity Prices	Gas Prices
Germany	+ (Low)	+ (Strong)	(Strong)	+ (Moderate)	+ (Strong)	(Low)
France	- (Moderate)	- (Strong)	+ (Strong)	+ (Moderate)	x	- (Moderate)
Spain	- (Moderate)	x	+ (Strong)	+ (Moderate)	+ (Moderate)	x
Netherlands	+ (Strong)	x	x	- (Moderate)	x	x
Country Block	+ (Moderate)	+ (Strong)	- (Strong)	+ (Moderate)	x	- (Moderate)

Source: Own Elaboration

Like in the previous cases, the EU-ETS implementation in Spain had a positive but moderate impact on private environmental investments behavior. Nevertheless, the results show that long term interest rates provide the strongest impulse in order to encourage positive private environmental investment. This situation signifies that interest rates in Spain are promoting financing in long term investment initiatives. Also, similarly to the case of France, economic growth discouraged in a moderate proportion private environmental initiatives since its economic performance didn't allow to the Spanish economy to promote the allocation of resources to environmental investments. Finally, electricity prices impacted

positively on private environmental investment behavior in a moderate proportion, similarly to the case of Germany.

For the case of The Netherlands, the results demonstrate (surprisingly) that EU-ETS implementation discouraged private environmental investments in a moderate proportion. As it may be seen in Section 8 (Environmental Investments), the Netherlands was the country that suffered the most the diminishment of environmental investments since the signature of Kyoto Protocol in 1997. In this sense, the EU-ETS implementation didn't allow to The Netherlands to recover to its previous environmental investment levels. Nevertheless, the economic growth influenced positively and very strongly the recovery of private environmental investment initiatives since the Dutch economy had the best economic performance among all the economies analyzed measured on the basis of GDP growth.

Finally, the country block (panel data) estimation's results demonstrate that, if the four countries are analyzed as a whole, the EU-ETS implementation provide a moderate but positive impact to the behavior of private environmental initiatives confirming the single country results. Also, as was the case in each of the single country estimations, short and long-term interest rates are the variables that affect strongly the behavior of private environmental investment. In this sense, panel data results confirm a positive and strong impact of short term interest rates on environmental investments and a negative but strong impact of long-term interest rates on environmental investments. Economic growth and gas prices provide a moderate (positive and negative respectively) impact to private environmental investment initiatives.

8. Clean Development Mechanism (CDM) and Investment Promotion in Developing Countries

The Clean Development Mechanism was conceived with the idea of facilitate and efficient global response to climate change. The core idea behind the CDM is that GHG emissions could be reduced at lower costs in non-Annex I countries in comparison with Annex I countries. In this sense, non-Annex I countries in which are undertaken emission reduction projects could improve its living standards through sustainable development and could acquire some profit from the sale of emissions reduction credits. In exchange, Annex I countries could lower the costs of meeting their emission reduction commitments by buying credits from CDM projects.

CDM projects could involve Annex I investors which provide capital in return of the credits but the most common source of financing is implemented by host country investors. The most common arrangement between Non-Annex I and Annex I parties is the Emission Reduction Purchase Agreement (ERPA). Under an ERPA a project developer commits to implement an emission reduction project and the Annex I entities commit to buy credits generated by the project at specified prices.

8.1. Investment by Project Type

According to the UNFCCC (2012), the total investment driven by CDM projects registered and on registration reaches US\$ 215.4 billion until June of 2012. From this total, the investment related to operational projects reaches US\$ 92.2 billion, US\$ 87.6 billion is financed by registered projects where it is not certain if they have started operating yet and US\$ 35.5 billion comes from projects undergoing registration. The total investment by project type is shown in Table 8 below and it is possible to identify that the total investment in CDM projects is dominated by wind and hydro projects due to the large number of projects and the capital intensive nature of these technologies.

Table 8
Capital Investment by Project Types (US\$ million)

Project Type	Registered and Operating	Registered but Implementation Unknown	Expected to be Registered	Total
Afforestation/Reforestation	115	156	12	283
Biomass Energy	3,435	2,716	708	6,859
Cement	158	77	6	241
CO2 Usage	23	9	10	42
Coal Bed/Mine Methane	802	277	248	1,327
Energy Efficiency Households	37	17	6	60
Energy Efficiency Industry	797	242	370	1,409
Energy Efficiency Own Generation	4,375	1,757	777	6,909
Energy Efficiency Service	28	20	1	49
Energy Efficiency Supply Side	1,782	15,044	4,491	21,317
Energy Distribution	821	1	270	1,092

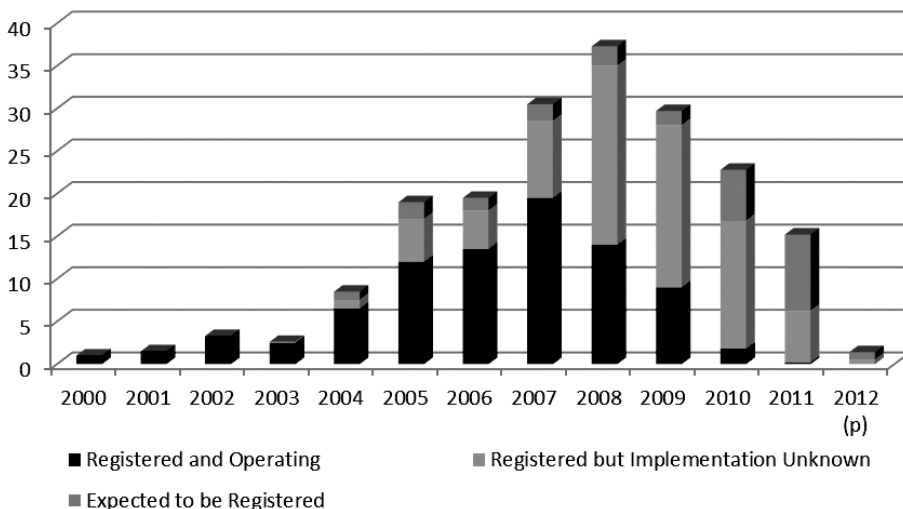
Project Type	Registered and Operating	Registered but Implementation Unknown	Expected to be Registered	Total
Fossil Fuel Switch	9,585	1,133	1,462	12,180
Fugitive	1,638	268	107	2,013
Geothermal	1,324	142	1,447	2,913
HFCs	59	6	-	65
Hydro	23,252	21,805	8,445	53,502
Landfill Gas	1,411	1,055	737	3,203
Methane Avoidance	556	506	185	1,247
N ₂ O	380	62	84	526
PFCs and SF	106	18	-	124
Solar	962	4,178	820	5,960
Tidal	384	-	-	384
Transport	2,206	4,999	2,941	10,146
Wind	37,981	33,131	12,406	83,518
Total	92,217	87,619	35,533	215,369

Source: UNFCCC

8.2. Investment by Year

The annual investment in CDM projects by year is showed below in Graph 12. Annual investment registered a highest peak in 2008 with US\$ 13.9 billion in operating projects and US\$ 40.4 billion in all projects (registered and in ongoing registration). As it is possible to see, there is a decline of investment in operating and registered projects since 2009 apparently due to the lag between the start date (stated in the PPDs) and the date of submission of the monitoring report which constitutes reliable evidence that the project is operating. On average, GHG monitoring starts 3.8 years after the project actually starts. For instance, it is likely that more projects and investment have been implemented than is shown in Graph 12.

Graph 12: Investment in CDM Projects by Year (US\$ billion)

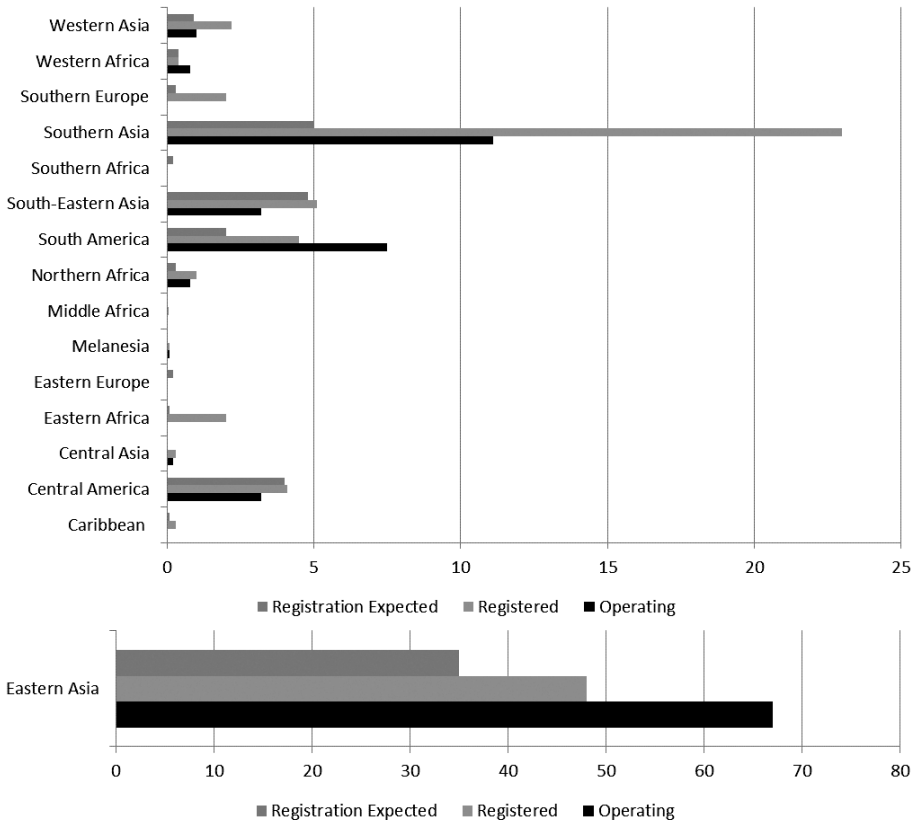


Source: UNFCCC

8.3. Geographic Distribution of Investment

The estimated total investment in projects registered and undergoing registration by host country region is shown in Graph 13. China and India which make up the majority of projects in Eastern Asia and Southern Asia respectively account for 65% of the total investment with 45% of the projects. Projects in Eastern Asia have relatively large capital investment due to the capital intensive nature of the projects undertaken (renewables) and their large average size. In contrast, the capital intensity of almost every other region is equal to or below the overall average.

Graph 13: Investment in CDM Projects by Sub-Region (US\$ billion)



Source: UNFCCC

9. Conclusions

After analyzing the econometric estimation's results (single country and block country) and the behavior in time of private environmental investment data, it was gathered enough evidence that allows the current research to affirm that the implementation of the European Union Emission Trading System (EU-ETS) has in fact promoted environmental investments initiatives during the period 2005-2007 in Germany, France, Spain and The Netherlands (except for the latter according to the single country results).

Nevertheless, even though environmental investments started a positive tendency since EU-ETS implementation in 2005, and thus changed the negative tendency observed since the signature of Kyoto protocol in 1997 until 2004, the EU-ETS implementation didn't succeed in recovering private environmental investment to levels observed in the late 1990's. In fact, environmental investment data shows that after the signature of Kyoto protocol in 1997, the industries started to slow down and reduce their environmental investments and adopted a strategy similar to "wait and see" as a response to the uncertain climate about possible future environmental policies that could affect their production and finance.

The implementation of EU-ETS together with its institutional uncertainty and prices volatility improved partially this climate for private industries but not in a proportion that allows them to reach previous levels of environmental investment. In consequence, the signature of Kyoto Protocol reduced environmental investments before EU-ETS implementation (from 1998 until 2004) and it wasn't capable to overcome this situation during phase I (2004 until 2007) of the mechanism. Therefore, it is possible to say that the signature of Kyoto protocol brought "perverse" incentives for the promotion of private environmental investments.

In addition to the implementation of EU-ETS and according to the results obtained, short- and long-term interest rates play a key role at the moment of determine the behavior of private environmental investments. The positive impact of short-term interest rates and the negative impact of long-term interest rates on the behavior of private environmental investments imply a strong promotion of short-term financing instead of long-term financing. Low long-term interest rates that promote long-term financing are essential for meaningful environmental investments that allow the reduction of carbon intensive economies in the long-run.

Reading the summary of the literature review it is possible to conclude, based on previous studies, that EU-ETS constitutes a main driver for small-scale investments with short amortization times. Nevertheless, according to the results observed in this research, small-scale investments with short amortization times are real so the result of interest rates that do not promote long term investments. In this sense, it is not accurate to attribute short term investments to carbon price volatility and/or institutional uncertainty (both inherent to EU-ETS institutionality). There are also external deficiencies to the EU-ETS (like interest rates) that work together in the economies and should be attended in order to accomplish 2050 targets.

Energy prices (electricity and gas) are also important at the moment of explain the behavior of private environmental investments. In this sense, while electricity prices continue to increase, private industrial investors will be eager to invest in energy efficiency and renewable energy projects that allow them to consume less electricity per unit of production and therefore reduce expenses. Gas prices have become an interesting alternative for industries since it is cheaper than electricity and cleaner than coal.

The results and methodology used to evaluate the role of the EU-ETS as environmental investment promoter under this research constitute an innovative and different approach in comparison to the studies mentioned in the literature review. The economically broad country results, typical of a macroeconomic analysis, matches with the microeconomic analysis seen under the literature review and helps to provide a more comprehensive understanding about the variable relations the determine the promotion of environmental investments along to EU-ETS. For this reason, the academic analysis made on this research becomes in a starting point from which it is possible to show new variable relations with the only aim to contribute to the debate and improvement of the EU-ETS mechanism.

Finally, it is important to mention that there was a huge amount of resources destined for sustainable development through CDM projects in developing countries. As it was possible to see, China and India were the countries that exploited this mechanism the most mainly because they acquire rapidly the know-how for drafting PDDs. Nowadays CDM projects and the subsequent selling of CERs are oriented to take place only in the Least Developing Countries (LDC). The LDCs could acquire the experience from China and India in order to improve its participation in this mechanism and attract foreign capital for sustainable development

10. Recommendations

It is important to say that it will be imperative to expand this research to the analysis of the whole system (phase I, phase II and phase III) in order to provide a better understanding about the role of EU-ETS in promoting private environmental investments. Also, it will be interesting for future research to analyze if the relations demonstrated here remain in time or change during the years. For this purpose it is essential to improve the availability of public data, especially the one related to environmental investments beyond the year 2007 and carbon prices.

Finally, it will be interesting to provide a sensitivity analysis for the econometric estimations in order to back up them properly and evaluate how sensitive are the results to changes in parameters. For this purpose, it may be consulted *Sensitivity Analysis in Linear Regression* (Chatterjee, 1988). It is worth to say that this analysis is extensively time consuming and it was not considered under this research due to the marginal benefits of its realization for the objectives of the current research.

Artículo recibido en: 15 de mayo de 2014

Manejado por: ABCE

Aceptado en: 9 de agosto de 2014

References

1. Barret, J., (2009). *Arguments for Auctioning Carbon Permits*. Clean Economy Development Center for Economics for Equity and the Environment Network.
2. Blanco, M. & G. Rodrigues (2008). "Can the future EU-ETS support wind energy investments?" *Energy Policy*, 36(4), 1509-1520.
3. Chatterjee, S. (1988). *Sensitivity Analysis in Linear Regression*. Wiley, First Edition.
4. Chester, L. & S. Rosewarne (2011). *What is the relationship between derivative markets and carbon prices?* Australian Political Economy. Department of Political Economy, University of Sydney.
5. Chevallier, J. (2012). *Econometric Analysis of Carbon Markets: The European Union Emissions Trading Scheme and the Clean Development Mechanism*. Springer Netherlands.
6. Dornbusch, R. & S. Fischer (2004). *Macroeconomía*. España: McGraw-Hill. 9^o ed.
7. Ellerman, D. & P. Joskow (2008). *The European Emission's Trading System in Perspective*. MIT Center for Energy and Environmental Policy Research.
8. European Commission (2005). *EU action against climate change: EU emission trading – an open scheme promoting global innovation*. European Communities.
9. Feilhauer, S. (2009). "Impact of European Emissions Trading System (EU-ETS) on Carbon Emissions and Investment Decisions in the Power Sector." Massachusetts Institute of Technology (Master Thesis).
10. Graus, W, U. Sreenivasamurthy & B. Wesselink, (2009). *EU climate policy impact in 2020 - With a focus on the effectiveness of emissions trading policy in an economic recession scenario*. Ecofys.
11. Gudbrandsdottir, H. (2011). "Predicting the Price of EU ETS Carbon Credits: A Correlation, Principal Component and Latent Root Approach." Reykjavik University, Iceland (Master Thesis).
12. Hoffman, V. (2007). EU ETS and Investment Decisions: The Case of the German Electricity Industry. *European Management Journal*, 25(6), 464-474.
13. Koenig, P. (2011). "Modelling Correlation in Carbon and Energy Markets." Electricity Policy Research Group, Working Paper 1107 and Cambridge Working Paper in Economics 1123.

14. Kossoy, A. & F. Ambrosi (2012). "State and Trends of the Carbon Markets." Carbon Finance at World Bank.
15. Kumar, K. (2011). "Carbon Trading, Dissemination Paper Series. Centre of Excellence in Environmental Economics". Madras School of Economics.
16. Lacombe, R. (2008). "Economic Impact of the EU-ETS: Evidence from the refining sector". Massachusetts Institute of Technology (Master Thesis).
17. Larrain, F. & J. Sachs (2002). *Macroeconomía en la economía global*. Pearson Education, 2º edition.
18. Leguet, B. (2012). "Understanding the Link between Macroeconomic Environment and the EU Carbon Price". *Newsletter* N° 66, CDC Climat Research.
19. Milunovich, G. & R. Joyeux (2007). "The Temporal Links Between Spot and Futures Carbon Allowance Markets". Division of Economic and Financial Studies Macquarie University.
20. North, D. (1990). "Institutions, Institutional Change and Economic Performance". Cambridge University Press.
21. Obermayer, J., (2010). "An analysis of the fundamental price drivers of EU ETS carbon credits". Royal Institute of Technology (Master Thesis).
22. Rogge, K. & M. Schneider (2010). "The innovation impact of the EU Emission Trading System. Findings of company case studies in the German power sector." *Ecological Economics*, 70(3), 513-523.
23. Rogge, K. & V. Hoffman (2010). "The impact of the EU ETS on the sectoral innovation system for power generation technologies. Findings for Germany". *Energy Policy*, 38(12), 7639-7652.
24. Schuttelaar, F. (2012). "Correlation between Carbon and Energy Markets". Presentation at Workshop HEC Energy and Finance Chair. GDF SUEZ Trading.
25. Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press.
26. Venmans, F. (2012). "A literature-based multi-criteria evaluation of the EU ETS." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5493-5510.
27. Zhang, Y. & Y. Wei (2010). "An overview of current research on EU ETS: Evidence from its operating mechanism and economic effect." *Applied Energy*, 87(6), 1804-1814.

Annex I:

Kyoto Protocol - Annex I and Non-Annex I Parties

The Kyoto Protocol was adopted in Kyoto, Japan, on 11 December 1997. Due to a complex ratification process, it entered into force on 16 February 2005. In short, the Kyoto Protocol is what “operationalizes” the United Nations Framework Convention on Climate Change. It commits industrialized countries to stabilize greenhouse gas emissions based on the principles of the Convention. The Convention itself only encourages countries to do so (UNFCCC webpage¹⁷).

KP, as it is referred to in short, sets binding emission reduction targets for 37 industrialized countries and the European community in its first commitment period. Overall, these targets add up to an average five per cent emissions reduction compared to 1990 levels over the five-year period 2008 to 2012 (the first commitment period). KP was structured on the principles of the Convention. It only binds developed countries (Annex I parties of the Convention) because it recognizes that they are largely responsible for the current high levels of GHG emissions in the atmosphere, which are the result of more than 150 years of industrial activity. KP places a heavier burden on developed nations under its central principle: that of “common but differentiated responsibility”.

In Doha, Qatar, on 8 December 2012, the Doha Amendment to the Kyoto Protocol was adopted. This launched a second commitment period, starting on 1 January 2013 until 2020. The Annex I parties of the convention are: Australia, Austria, Belarus, Belgium, Bulgaria, Canada, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, European Union, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Japan, Latvia, Liechtenstein, Lithuania, Luxemburg, Malta, Monaco, Netherlands, New Zealand, Norway, Poland, Portugal, Romania, Russian Federation, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, Ukraine, United Kingdom and United States of America (UNFCCC webpage¹⁸).

¹⁷ Access Date: May 13, 2013.

¹⁸ Access Date: May 13, 2013.

Annex II: Clean Development Mechanism (CDM)

The Clean Development Mechanism (CDM), defined in Article 12 of the Protocol, allows a country with an emission-reduction or emission-limitation commitment under the Kyoto Protocol (Annex I Party) to implement an emission-reduction project in developing countries. Such projects can earn saleable certified emission reduction (CER) credits, each equivalent to one tonne of CO₂, which can be counted towards meeting Kyoto targets. It is the first global, environmental investment and credit scheme of its kind, providing a standardized emission offset instrument, CERs.

A CDM project activity might involve, for example, a rural electrification project using solar panels or the installation of more energy-efficient boilers. The mechanism stimulates sustainable development and emission reductions, while giving industrialized countries some flexibility in how they meet their emission reduction or limitation targets. Operational since the beginning of 2006, the mechanism has already registered more than 1,650 projects and is anticipated to produce CERs amounting to more than 2.9 billion tonnes of CO₂ equivalent in the first commitment period of the Kyoto Protocol, 2008–2012 (UNFCCC webpage¹⁹).

¹⁹ Access Date: May 13, 2013.

Energy-mix Scenarios for Bolivia

Escenarios de la matriz energética para Bolivia

*Javier Aliaga Lordemann**
*Alejandro Herrera Jiménez***

Abstract

Nowadays the Bolivian energy-mix is misbalanced due to the primary production of energy, which is focused in gaseous hydrocarbons, whereas the consumption is intensive in liquid hydrocarbons. At the same time the Bolivian electric system is mainly thermo, while the country present high hydro potential. In this framework this document makes reference to the trending evolution of the Bolivian energy-mix and proposes a mitigation scenarios based on the a) reduction of liquid hydrocarbons consumption; b) and introduction of renewable energies an energy efficiency measures in the electric system. Methodologically, the construction of such scenarios is developed by a bottom-up simulation for the time span 2007-2025. We based our estimations on previous results we obtained in the project Renewable Energies Generation in South America (REGSA), founded by the European Union.

Keywords: LEAP, renewable energy, energy mix, hydrocarbons and electricity.

Resumen

En la actualidad, la matriz energética de Bolivia se encuentra desbalanceada debido a la producción primaria de energía, la cual se enfoca principalmente en la producción de hidrocarburos gaseosos. Sin embargo, el consumo es en cambio intensivo en hidrocarburos líquidos. Adicionalmente, el sistema eléctrico en Bolivia se caracteriza principalmente por la generación termoeléctrica, siendo que el país cuenta con un potencial para la generación

* Executive Director Institute of Socio-Economic Research IISEC. Contact: jaliaga@ucb.edu.bo

** Associate Reseracher IISEC. Contact: aherreraj@ucb.edu.bo

hidroeléctrica. En este contexto, este trabajo referencia la evolución de la tendencia de la matriz energética de Bolivia y propone escenarios de mitigación basados en: a) la reducción del consumo de hidrocarburos líquidos; b) introducción de energías renovables y medidas de eficiencia energética en el sistema eléctrico nacional. La construcción de estos escenarios, se desarrolla metodológicamente mediante simulaciones tipo *bottom-up* para el periodo 2007-2025. Las estimaciones presentadas en este documento, se basan en resultados anteriores que los autores obtuvieron en el proyecto de Generación de Energías Renovables en América del Sur (REGSA), fundada por la Unión Europea.

Palabras clave: LEAP, energía renovable, matriz energética, hidrocarburos y electricidad.

Classification/Clasificación JEL: O14, Q2, Q3, Q32, Q42, Q43.

1. Introduction

The supply side of the Bolivian energy mix is composed by fossil fuels, while in the demand side is mainly fossil fuel derivatives, electricity and biomass. In the last years the hydrocarbon sector shows a constant reduction in oil production explained by a decline of the wells and low levels of investment. Aliaga (2012) calculate low levels of capital expenditures (CAPEX) since 2007 for this sector. As a consequence of the low investment rates, gas reserves started to decrease significantly since 2005. This situation opens a critical scenario; in which it is possible that Bolivia will present problems in order to match production and consumption. This scenario implies from one side a potential increase of diesel imports, and from the other side difficulties to fulfill export of natural gas to Brazil and Argentina (Aliaga and Mercado, 2009).

In the case of the electric sector, Bolivia is segmented vertically in three activities: generation, transmission and distribution. The companies are regulated due to its natural monopoly structure. Nowadays, the Bolivian electric system has a variety of gas-fired power plants with an effective capacity that reaches the 854 MW. Hydroelectric centrals by its side reach an effective capacity of 372 MW while the gross generation of the whole system is 3,972,911 MWh¹. According to Aliaga (2012), this structure is biased towards thermo generation, because the sector does not reflect the real generation opportunity costs of the entire energy-mix. This situation obeys to the existence of a subsidized price of natural gas for thermo generation that distorts market signals.

¹ Statistical Yearbook of the Electric Industry in Bolivia: Year 2011.

This background shows the necessity for a better formulation of governmental policies in the energy field. We require tools based on a systemic focus that takes into account the interrelations between the energy system, the economy, the society and the environment. In this framework, this research seeks to contribute to a better understanding of the energetic situation of the country and to provide elements for the construction of an energy policy. We plan to generate a base scenario that prospects the Bolivian energy system up to year 2025 and propose a mitigation scenario. To achieve these objectives, we will model with LEAP (Long Range Energy Alternatives Planning System).

The organization of the paper is as follows. In the next section we discuss the structure and characteristics of the energy mix in Bolivia and describe the main changes that has taken place in recent years. In Section II we present a methodological review about some approaches found in the economic and engineering literature about the topic. In Section III we present and detail the main characteristics of the model and subsequently in Sections IV and V, we present the main results and forecast based on the methodology. Finally, in Section VI, the concluding remarks are detailed.

2. The Bolivian Energy-Mix

Energy production in Bolivia is characterized by its high dependency of primary fossil energy resources. A review of the characteristics of the National Energy System (NES, hereafter) by analyzing the National Energy Balance² (NEB, hereafter) can describe the flow of the main energy aggregates of Bolivia.

2.1. Evolution of Energy Aggregates

According to the NEB, there has been significant growth in the production of primary energy. This significant increase is evident in the increase of: 40782.19 Kboe produced in 2000, 105522.29 Kboe in 2006 and 139297.10 Kboe 2012. This increase in primary energy production has been followed by a sluggish increase in *per capita* consumption. In this sense, energy consumption *per capita* went from 0.26 Boe/hab. in 2000, 0.30 Boe/hab in 2007 and equal to 0.38 Boe/hab in 2012. The aggregate energy production and *per capita* consumption dynamics show that one of the features of this system is the slow growth in consumption of secondary energy, which is accompanied by an intensive use of fossil structure derivatives.

² National Energy Balance (2000-2012) – Ministry of Energy and Hydrocarbons.

2.2. Production and Supply of Primary Energy

According to the NEB (2012), the Total Gross Domestic Supply (TGDS) of primary energy was equal in 2012 to 51464.77 Kboe, exceeding supply recorded in 2006 (47826.13 Kboe) and 2000 (26100.62 Kboe). The composition of the TGDS, can be summarized as: i) oil and derivatives: 39% in 2000, 34% in 2006 and 37% in 2012. ii) Natural Gas: 37% in 2000, 52% in 2006 and 47% in 2012. iii) 5% in 2000, 3% in 2006 and 3% in 2012. Finally, iv) Biomass: 20% in 2000, 12% in 2006 and 13% in 2012. Changes registered in the composition of the TGDS show us that, in 2012 83% of the total supply is generated from non renewable resources while the remaining 17% came from renewable resources. As reference, in 2000 75% was generated based on non-renewable sources while in 2006 this kind of energy represented the 86% of the gross supply. As mentioned above, this determines that the production and supply of primary energy in Bolivia is highly dependent of fossil derivatives.

The evolution of aggregate secondary power supply shows a slower growth compared to primary energy. This offer, passed from 16651.30 Kboe produced in 2000, in 2006 21211.11, and reached 23910.60 Kboe in 2012. For 2012, the production of secondary energy by energetic (in percent) represented: 22.7% on gas, electricity 22.7%, 19.2% diesel, 10.5% in LPG and 20.1% in other derivatives. Therefore, the picture of the composition of secondary and primary energy production to the country shows: a growing trend in primary energy production and a slight reduction in oil production since 2007, as can be seen in Table 1. This last could be explained by the fact that the country's proven oil reserves were depleted and no major discoveries of wells were recorded. Furthermore, we can determine that hydropower production has not grown significantly in recent years; this fact accompanies the increased production of primary energy from non-renewable sources.

Table 1
Evolution of Oil in kboe (2000-2012)

	Production	Exports	Changes in inventories
2000	11256,2	1293,22	172,8
2001	12624,7	940,75	-130,97
2002	12766,3	675,46	-225,52
2003	13985,7	990,95	674,77
2004	16480,1	1796,27	-297,11
2005	18093,3	1616,8	114,93
2006	17442,7	1525,55	102,32
2007	17710,4	1038,38	-37,57
2008	16914,3	-	162,1
2009	14718,6	-	162,1
2010	15355,8	-	-7,59
2011	15938,45	-	-1,16
2012	18875,43	-	6,85

Source: Own calculations based on data from the NEB 2012

2.3. Energy Consumption

According to the NEB, the consumption of primary energy is concentrated in Natural Gas and Biomass. The total primary energy consumption in 2012 reached 14992.11 Kboe, while 7229.9 Kboe were consumed in 2000. The composition of primary energy consumption between 2000 and 2012 can be summarized as: i) in 2000, 35% natural gas and 65% of biomass. ii) In 2006, 46% of natural gas and 54% of biomass. Finally, iii) in 2012, 59% of natural gas and 41% of biomass were consumed. Regarding the consumption of high energy consumption in Bolivia this consists of: electricity, LPG, Diesel, Petrol and other derivatives. Table 2 shows the composition of secondary energy consumption between 2000 and 2012.

Table 2
Evolution in secondary energy consumption (2000-2012)

ENERGETIC	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Electricity	10,76%	10,86%	10,95%	10,70%	10,51%	10,80%	10,74%	10,74%	11,13%	11,06%	10,95%	10,50%	10,40%
LPG	10,00%	10,45%	10,72%	10,65%	10,89%	10,83%	10,41%	9,94%	9,13%	8,84%	8,50%	8,00%	7,70%
Diesel Oil	22,80%	23,06%	23,12%	24,63%	25,70%	26,24%	26,74%	26,57%	25,41%	23,43%	24,23%	24,30%	24,70%
Gasoline	16,05%	15,31%	14,38%	13,75%	13,41%	12,06%	12,36%	13,63%	15,37%	16,14%	16,52%	16,70%	16,90%
Natural Gas	12,28%	12,27%	13,30%	13,75%	14,40%	15,45%	16,34%	17,60%	18,51%	20,59%	20,41%	21,60%	22,30%
Biomass	22,96%	23,38%	22,76%	21,92%	20,79%	20,14%	19,29%	18,20%	17,34%	16,95%	16,44%	15,90%	15,70%
Other	5,15%	4,66%	4,76%	4,62%	4,30%	4,48%	4,13%	3,32%	3,11%	2,98%	2,94%	3,00%	2,40%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Source: Own calculations based on data from the NEB 2012

3. Methodological Approaches

The E-3 (energy, economic, environment) models represent the evolution of the energy, economic and environmental systems during a specified period of time. At a given instant, the structure of the economy can be considered fixed but with over time occurs gradual structural changes and allow the appearance of innovations. In the short run, the capital stock is fixed, while in the medium and long term technology changes, the capital stock is changed and the allocation of resources to productive sectors evolves.

The time horizon of a model defines the terms under which the system is represented by influencing the type of relationships that this holds. Also, this view influences the importance of the exogenous variables, depending on the variability of these inputs for the time horizon considered. Thus, we can define some temporal criteria such as:

- In the short term, it is considered that technology is fixed and that the population is constant or varies according to a known pattern.
- In the medium term, changes in: technology, capital stock and in demographic and economic patterns may be anticipated reasonably well from recent historical data.
- Based on the time horizon, the technologies that are already in use or those that are about to begin to be used, must be considered.
- In the long term, it is considered structural changes such as depletion of non-renewable energy resources, the development of alternative energies and the penetration of new technologies.

Second, the models also differ in their ability to analyze specific sectors and technologies. In the energy sector, some models with low detail allow the study of few sources of energy (such as oil or electricity), while models with a higher level of detail can handle hundreds of forms of energy. The same range of possibilities of disaggregation exists outside the energy sector. Some models distinguish between a few categories of energy demand, such as transportation or manufacturing, while others allow the consideration of hundreds of industrial processes or end uses.

Third, expectations about the evolution of prices in the E3 models are based on two competing hypotheses for calculating prices. On the one hand, the hypothesis of myopic forecast, which implies that economic agents expect prices to remain present or vary in a known manner. This assumption implies that agents do not know the model endogenous structural relationships or future values of the exogenous variables. On the other hand, the assumption of perfect foresight is also used, which considers that economic agents predict prices through the model. This implies that all agents adjust their consumption, production and investment according to expected change in prices.

Fourth, the models can do both, optimization and simulation. In the first, objective functions subject to a variety of restrictions trying to minimize energy costs and maximize consumer utility are used. The solution provided is optimal among all possible alternatives. Optimization models identify an optimal solution and allow us to set the stage to get to that point, so are suitable for the design of policies. Furthermore, simulation models variables evolve according to behavioral equations, trying to represent how the real system under given conditions represent works. These models are used to evaluate a given scenario.

Fifth, E3 models differ in the treatment of energy technologies. The assumptions on which the models are based are important for the description of technologies and projections of future developments, determining the conclusions that can be derived on technological options. All the models contain or refer to any information that describes a technology in a base or reference year, may even be described capital costs and operating fuel requirements, technical life time, the ability to production and environmental impacts of technology.

Most models attempt to predict which technologies are more likely to be incorporated and its insertion rate. These projections are often based on the evolution of the relative costs of technologies. Usually, described in terms of initial investment and annual costs of operation and maintenance. Some models go a little further and take into consideration the entire life

cycle of the technology, *i.e.*, include the costs of dismantling and recycling. In other cases also take into account the costs of the externalities they cause.

In this framework, the constraints imposed to avoid absurd results inconsistent with reality are as important as the technology descriptions. Similarly, economic constraints may be limitations on the investment, while environmental restrictions may consist in establishment of production goals with renewable energy or emission limits.

The literature argues that long-term models have to consider the impact of the emergence of technologies that are still in their early development stages. Costs, yields and dates of occurrence of these technologies are in many cases just speculative. For this reason technology is usually treated in an aggregate manner, so that the model results represent very general technology improvements.

Models of long term take into account restrictions on the depletion of natural resources and environmental constraints and technologies backstop, *i.e.*, they are not restricted in the simulation period (*e.g.*, renewable energy), where its importance increases as you go up prices of exhaustible energy resources.

Sixth, the methods to model and/or future prospect attributes of technologies, ranging from the use of exogenous parameters to the use of behavioral equations that depend on other variables. Suppose the use of the learning curves (Isoard and Soria, 1999; Isoard and Soria, 2001; Kouvaritakis, Soria and Isoard 2000a; Kouvaritakis, Soria, Isoard and Thonet, 2000b), in which the lowering of costs of a technology is plotted over time as cumulative production increases. Lowering costs and increasing the efficiency and productivity of a technology can also be modeled as functions of R & D.

3.1. Type of Energy Models

We can distinguish four groups of models according to their sectoral coverage, the configuration of the energy sector and/or its functional relationship with respect to the rest of the economy or specific sectors of the economy. In general, these categories are:

- The engineering models of energy or a specific, industry known as “bottom-up”.
- Hybrid models with a mixed economic-engineering approach, which couple a model of the energy sector or one part of the overall economy.

- ♦ Models of economic general equilibrium approach (top-down) representing all sectors of the economy.
- ♦ IAM: integrated assessment models of climate change, which associate an economic model to climate, ecological, and even social models.

3.2. Bottom-Up Models

The engineering models (bottom-up) represent an energy system in detail, considering it as a set of technologies for production, distribution and final energy demand, competing. Over time, technologies undergo changes in their use, efficiency, cost and power requirements. On one hand, the demand for energy and non-energy sectors of the population evolution is defined exogenously. On the other hand, energy prices are calculated in the model. This type of model allows a breakdown by region and energy sources.

The operation of this type of models is generated from exogenous inputs (such as GDP or population), of energy prices and supply. From this information, the activity levels in the sectors considered in the model (*i.e.*, the demand for transport, etc.) are determined. With these levels of activity, the demands of different forms of secondary energy (electricity, gasoline, diesel, etc.) are calculated.

Thus, the scheme allows the primary energy production be related to the high energy demand, energy production from renewable sources, and exogenous factors such as technological efficiency. Thus, both production and demand for energy, and sectorial activity levels are then influenced by the prices of the different forms of energy considered. Meanwhile, prices are calculated based on historical prices, and as a result of changes in supply and demand.

Operational research has been widely used for modeling energy systems from an engineering point of view (Kavrakoglu, 1982; Samouilidis, 1980; Samouilidis and Berahas, 1983). Some In the literature review and ratings of some models of energy systems appear in Boyd, Fox and Hanson (1990), Huntington, Weyant and Sweeney (1982), Rath-Nagel and Voss (1981), and some comparisons and review in Koreisha (1980) and Ulph (1980).

Most often, we find references to specific models of the electricity sector (Amagai, 1991; Baughman, Krafka and Sullivan, 1984; Frankel, 1971; Hillsman, Alvic and Church, 1988; Hoster, 1998; Neubauer, Westman and Ford, 1997; Parikh and Deshmukh, 1992;

Soloveitchik, Ben-Aderet, Grinman and Lotov, 2002; Thompson, Moore, Calloway, Young, Lievano and Nawalanic, 1976; Uri, 1976, Uri, 1977, Xie and Kuby, 1997). There are also references to models of industrial processes (McLaren, Parkinson and Jackson, 2000; Pilati and Sparrow, 1980), or specific industries such as manufacturing (Newton, 1985), steel (Ackerman and Almeida, 1990; Anandalingam and Bhattacharya, 1985; Hidalgo, Szabo, Ciscar and Soria, 2005; Polenske and McMichael, 2002).

There are also hybrid models, which can represent the interactions between the energy system and the rest of the economy. Economic growth is described by an aggregate production function in which the different forms of energy are added as a primary factor of production. The energy production activities cannot be described separately according to this formulation, therefore production aggregate function is coupled to a detailed engineering model that represents the energy system (Boyd *et al.*, 1990; Lakhani, 1980; Pandey, 2002; Samouilidis and Mitropoulos 1982; Viguier, Babiker and Reilly, 2003).

4. The Model

The Long Range Energy Alternatives Planning System (LEAP) is useful tool for modeling energy and environmental scenarios. These scenarios are based on complete energy-mix balances. The drivers of the model are the demographic growth, the sectorial economic development, specific energy technology, prices and other characteristics.

Demand: The technology in the model is a coupling of the macro-energy model and the structure of energy consumption of the economy. It is included a demand level in terms of different disaggregated final consumptions of energy in a way that converge to the macro-energy scheme. In this framework, the final energy consumptions of each economic sector evolve in a way that is convergent to the speed of adjustment of the economy and demographic growth.

With this structure it is possible to generate alternative scenarios by modifying the demographic profile or economic sectors in the economy. As a consequence, it is possible to examine the evolution of the total consumption and disaggregate it by sources through time in all sectors of the economy. All the computations are determined by the levels of final demand. In this research we include the following sector: households, industry, transport, commerce and agriculture.

At the beginning is defined a sector (i) an activity (j), such that it is obtained a pair (i, j) that configures all the economy in terms of an energy final demand. Here, energy consumption (EC) is calculated as the product of a level of activity and the annual energy intensity (EI) or energy use by unit of activity. The final EI is the final annual average EC of an energy branch, when the source is a pure energy form, like electricity, the units must be of energy – and when the EI is specified for a branch of aggregated EI , the intensity can only be taken into account in energy units.

$$EC = AL * EI(1)$$

EC = Energy Consumption

AL = Activity Level

EI = Energy Intensity

$$AL = \sum AL(i, j)$$

The AL is a measure of the energy consumption in each economic activity. The demand structure analysis involves the levels of activity in absolute terms (*e.g.*, household's quantity) in a level of hierarchy and in both, share of participation and percentage of saturation in all hierarchy levels. In this way, the total activity shows the result of multiplying each one of the AL branch chains, with an associated speed of economy adjustment for a final EI . This is the annual average of final energy consumption for a branch of technology, but also can be defined in the immediate superior level as aggregated EI .

The share of each source represents the total final energy consumed, while the activity share reflects the quantity of "activities". The percentages of efficiency are used to calculate the useful general intensity for final consumption and base year participations. As a result the branches of energy intensity are the measures of the energy service provided by a unit of activity as following:

$$Efficiency = 100 * (useful\ distributed\ energy / final\ energy\ consumed)$$

With this framework, the energy demand is calculated for the base year and for a future year in each scenario in the following way:

$$D(b, s, t) = TA(b, s, t) * EI(b, s, t)$$

Where:

D = is Energy Demand

TA = is Total Activity

EI = is Energy Intensity

b = is the Branch

s = is the Scenario

t = Year (since year 0 until final year)

All the scenarios evolve from the base year, where each technology branch is identified with a particular source. The model added all technology branches and calculates the final energy demand for each source as following:

$$D(b, 0) = TA(B, 0) * EI(b, 0)$$

The total activity level for each technology is the product of the activity levels in all branches:

$$TA = (b, s, t) = A(b_1, s, t) * A(b_2, s, t) * A(b_3, s, t) * \dots * A(b_n, s, t)$$

Where:

$A(b)$ = is the Activity Level in a Branch (b)

b_1 = is the branch b of origin

b_2 = is the branch that depends on the previous one

Analysis of Existences: The energy consumption for a device that consumes energy is base on the current and forecasted existences of it, and the annual EI of such device. In the model we consider the vehicle park by a wide range of motorized vehicles. In the base year we specified the current existence, *e.g.*, of vehicles and the average of EI of those existences. The model admits the addition of new artifacts through the application of an exogenous growth rate. Then, it is calculated the average EI from the existences and for instance the general level of CE .

$$CE = Device\ existences * artifact\ EI$$

Transformation Analysis: This module simulated all the conversion and transportation stages of energy, from the primary energy extraction and imported energy until their consumption. These are the results of the primary energy requirements and import in each area.

Load Factor: The load curve of the system is the following average:

$$\text{Load Factor} = \frac{\text{Total Production}(MWh/\text{year})}{\text{Max Load of the System}(MW) * 8760(\frac{h}{\text{year}})}$$

The Reserve Margin: The planned reserve margin let us to decide the adequate moment to include additional endogenous capacity. This means enough capacity to maintain the planned reserve margin to some specific technical value or above it.

$$\text{Planned Reserve Margin}(\%) = 100 * \frac{(\text{Module Capacity} - \text{Max Load})}{\text{Max Load}}$$

$$\text{Capacity} = \sum \text{Capacity} * \text{Value of Capacity}$$

For all the module processes, the max load was calculated over the base of electricity requirements and the load factor of the module. Furthermore, the requirements of capacity are calculated over the base of the analysis of energy demand and all electricity losses in the modules of superior levels (transmission and distribution). When each process is included endogenously, it reaches its specified useful life and it's retired automatically.

The Dispatch Process: First, we calculate the share of energy outcomes in each process. The rule is that each dispatch is proportional to the production of base year. Then we have:

$$\text{Process Share}(i) = \frac{\text{Base Year Outcome}(t)}{\sum_{i-1}^x \text{Base Year Outcome}}$$

Also the dispatch norm is proportional to the available capacity (full)

$$\text{Process Share}(i) = \frac{\text{Capacity}(i) * \text{MCF}(i)}{\sum_{i-1}^x \text{Capacity}(i) * \text{MCF}}$$

The Dispatch Processes of a Load Curve: The merit dispatch order is the increasing order of the variable costs.

$$\begin{aligned}
 CVT &= CVOM(i) + \frac{CT \text{ of the source}(i)}{Efficiency(i)} \\
 &\quad \text{Max Power Requierement of the System}(MW) \\
 &= \frac{\text{Energy Requierement}(MWh)}{\text{Load Factor} * 8760}
 \end{aligned}$$

First, we build a list of the processes in order of merit in order to calculate the available capacity of each group with the same order of merit. Then, it is made a discrete approximation to the load curve.

5. The Scenarios

Socio-Economic Scenario: This research will work with a socioeconomic scenario and two energy scenarios (trending or business as usual and mitigation). The formulation of a socioeconomic scenario responds to the need of having a vision about the evolution of the most important socioeconomic aggregates which at the same time affect the energy use, the future energy consumptions and the inherent greenhouse gas (GHG) emissions. At the end, we plan to obtain the evolution of explanatory variables that affect energy consumptions by sector of demand.

We assume the Bolivian GDP will grow in a rate of 4% annually³ during the period 2007-2025. Aliaga and Rubin de Celis (2011) considered that the economic growth will be below the 4% from 2015 and will converge to its steady growth of 3.45%. This assumption is made taken into account that the most dynamic sectors of the economy will be the manufacture industry, transport and commerce and services and they will grow at 4.3%, 4.2% and 15% respectively. Instead, sectors like agro, fishing, mining and other will grow at 3.5% and 3.38%, respectively.

Energy Business as Usual (BAU) Scenario: The Business as Usual Scenario is a consistent description about how the Bolivian energy system will develop in the future in the absence of new and explicit energy policies and mitigation measures. This scenario incorporates

³ Source: "Energy Development Plan-Scenario Analysis 2008-2027", Ministry of Hydrocarbons and Energy.

technologic innovations (as a market process), but also production improvements or process substitution that will be verified even in the absence of explicit policies.

Residential Sector:

- ♦ Urban household's electrification will change from 87% nowadays to 97% in 2025. In the case of the rural electrification, we expect to change from 33% nowadays to 97%, (Espinoza and Jimenez, 2012).
- ♦ The energy intensities (Kboe/household), measured in terms of useful energy, will grow according to the evolution of GDP/household, with an elasticity of 0.83 for the urban households and 0.96 for rural households (Aliaga and Capriles, 2011).
- ♦ We expect a higher *per capita* incomes, with a moderate growth in the use of electric devices in urban households.
- ♦ We expect a marginal improvement in the efficiency of electric devices-energy intensities, measured in net energy, will reduce until reaching a 3% less in 2025 compared to 2007 in urban and rural households.

Commercial and Services Sector:

- ♦ It is considered a reduction of the energy intensity (Boe/US\$ of aggregated value), measured in net energy, in a 3% during all period as a consequence of the increase in energy productivity of the sector.
- ♦ We expect a moderated penetration of natural gas substituting LPG, according to the elasticities calculated in Aliaga and Capriles (2011).

Industrial Sector:

- ♦ The natural gas will substitute diesel, according to the elasticities calculated in Aliaga and Capriles (2011),
- ♦ The consumption growth will be 7% following the sector trend of the last five years.
- ♦ The share of electricity will increase 6% each year following the trend of the last ten years.

Transport Sector:

- ♦ We expect a moderate trend of the substitution of gasoline and diesel by compressed natural gas (CNG) (Aliaga and Torrez, 2011).

- ♦ We expect an important improvement in the average age of the vehicle park, as since 2012 it is only possible to import vehicles of a maximum antiquity of 3 years.

Other Consumption Sectors:

- ♦ We expect that technology improvements will reduce in 3% the net energy intensities.

In the case of the energy supply, we based our assumptions in the Bolivian Plan of Energy Development 2008-2027, made by the Ministry of Hydrocarbons and Energy:

- ♦ The share between thermo and hydro generation (60/40) will remain constant during the whole exercise, since the subsidy of natural gas for thermo generation is still operative.
- ♦ The of growth of biomass will follow historic rates and the new thermo power plants will work with combined cycles using natural gas (it is not predicted the elimination of natural gas subsidy).
- ♦ The share of diesel generation for isolated systems it is assumed to be constant.
- ♦ It is assumed that refineries production follows the one considered in the “Bolivian Strategy of Hydrocarbon 2005-2025”.
- ♦ It is assumed for this exercise that Bolivia has no hydrocarbon production problems until year 2016.

The Mitigation Scenario: This scenario introduces measures that promote energy efficiency during the period of simulation. As a result we expect a reduction in energy consumption, less intensity of oil derivatives consumption, higher energy efficiency impact and higher share of renewable energies in the energy-mix.

Residential Sector:

- ♦ We considered the substitution of incandescent lamps for low consumption lamps (LFC). In 2025, the 3% of the lamps will be of low consumption.
- ♦ It is considered a gradual substitution of inefficient refrigerators with more than 10 years of use. In 2025, it is expected that the 45% of the refrigerators will be efficient.
- ♦ It is assumed that the 35% of the households that use wood for cooking will do it with efficient wood-burning stoves in 2025.

- ♦ It is considered an increase in the use of natural gas as substitute of LPG in relation to the BAU scenario, reaching up to 35% of the useful consumption in the urban households.
- ♦ In the rural households it is not considered the use of natural gas, but it is considered a substitution of wood by LPG assuming that a 15% of rural population until 2025 will introduce decentralized systems of renewable energies.

Commercial and Services Sector:

- ♦ It is considered improvements in illumination, air conditioning and efficient refrigeration, with associated savings of 10% in electricity consumption until 2025.
- ♦ Energy efficiency measure modifies consumption patterns, with associated savings up to 3% until 2025.

Industrial Sector

- ♦ It is considered an improvement of 10% in the use of natural gas in comparison to the BAU scenario.

Transport Sector

- ♦ It is considered an increase of 10% in comparison to the scenario BAU depending on the type of vehicle.

6. The Energy-Mix Forecast

Energy Demand Forecasts: The total net consumption of energy⁴ will grow in the BAU scenario, from 31,872 Kboe in year 2006 to 57,908 Kboe in year 2025, with an annual growth rate of 3.4%; while in the mitigation scenario, the growth of energy consumption will be smaller than in BAU due to energy efficiency measures and the substitution of wood in the residential sector, reaching in 2025 53,210 Kboe, with an average growth rate of 2.9%. Considering that GDP evolution will have an annual average growth of 4% in both scenarios (BAU and mitigation).

In Table 3, are shown the results of energy consumption forecasts for each socioeconomic sector incorporating non energy consumption and internal consumption. From final

⁴ Total Net Consumption = Final Consumption + Own Consumption.

consumption sectors, the sector with higher growth under BAU scenario will be the industrial sector since it's the most dynamic sector. The energy consumption growth rate in this scenario will be 4%. In the mitigation scenario, the socioeconomic sector with the higher growth will be agro, fishing and mining, with a rate of 3.5%; while industry will grow in 3.1%. This implies a smaller growth rate of the industry due to energy efficiency measures.

Table 3
Forecast of Net Energy Consumption by Sectors 2007-2025 (Kboe)

Sector	2007	2025		Tasa 2007-2025	
		Trending	Mitigation	Trending	Mitigation
Residential	5,586	9,283	7,069	2.9%	1.3%
Commercial and Services	839	1,658	1,396	3.9%	2.9%
Industrial	8,093	16,404	14,084	4.0%	3.1%
Transport	11,225	17,853	17,951	2.6%	2.6%
Agro Fishing and Mining	2,651	4,924	4,924	3.5%	3.5%
Non Energy	631	1,279	1,279	4.0%	4.0%
Own Consumption	2,846	6,507	6,507	4.7%	4.7%
Total	31,872	57,908	53,210	3.4%	2.9%

Source: Results from Simulation

The residential sector will have an energy consumption growth of 2.9% under BAU scenario and of 1.3% under mitigation scenario. The total number of households (rural and urban) will grow by a rate of 1.65%; by its side, GDP per household (GDP/households) will grow in a 2.3%. Considering income-energy consumption elasticity of 0.85 for urban households and 1 for rural households; the intensities of useful energy (boe/household) will grow in 1.7% and 2% respectively, which implies growth rates between 2007 and 2025 of 36% and 34% respectively for both scenarios.

In Table 4, we present the energy savings that will occur in the mitigation scenario in comparison to BAU scenario. In 2025, in the mitigation scenario will be consumed 4,688 Kboe less than in BAU scenario. This means a consumption reduction of 23.9%. In the industrial, commercial and services sectors, there will be a purples of 14.1% and 15.8% of energy in each sector respectively. At the same time, there will be a small increase (0.5% in 2025) in the energy consumption within transport sector under mitigation scenario, in comparison to BAU scenario as a consequence of a bigger participation of CNG with minor efficiency than gasoline.

In the whole forecasted period under the mitigation scenario it will be a surplus of 38,431 Kboe. This is equivalent to 1.2 times the total net consumption of the country in the base year 2007. These savings are a result of a 51% reduction in the residential sector; a 45.9% in the industrial sector, a 5.2% in the commercial and services sector and a -2.2% in the consumption growth in transport sector.

Table 4
Energy Savings in Mitigation Scenario Compared to Trending Scenario

Sector	2005		2025	Accumulated 2007-2025	
	Kboe	% s/Tend.	%	Kboe	%
Residential	2,215	23.9%	47.1%	19,610	51.0%
Commercial and Services	262	15.8%	5.6%	2,006	5.2%
Industrial	2,320	14.1%	49.4%	17,645	45.9%
Transport	-98	-0.5%	-2.1%	-830	-2.2%
Agro Fishing y Mining	0	0.0%	0.0%	0	0.0%
Non Energy	0	0.0%	0.0%	0	0.0%
Own Consumption	0	0.0%	0.0%	0	0.0%
Total	4,699	8.1%	100.0%	38,431	100.0%

Source: Results from Simulation

The evolution of the total net consumption by sources is presented in Table 5, where natural gas shows higher improvements; changing from 21.11% in the base year to 25.9% in 2025 in the BAU scenario and 35.8% in the mitigation scenario. This means annual average growth rates of 4.6% and 6%, respectively. In the opposite way, the main sources of consumption regression will be LPG, biomass and gasoline. Finally, the electricity will change from 9.8% of total net consumption in the base year to 11.9% in year 2025 for the BAU scenario. Meanwhile, in the mitigation scenario, the total net consumption of electricity will be 10.4% in 2025 due to the use of artifacts and efficient electric components (lamps, refrigerators and engines).

Table 5
Total Net Consumption by Sources

Sectores	2007		2025		2025	
			Trending	Mitigation	Trending	Mitigation
Avgas	27	0.1%	55	55	0.1%	0.1%
Biomass	5,037	15.8%	7,436	4,175	12.8%	7.8%
Diesel	7,588	23.8%	13,299	12,911	23.0%	24.3%
Electricity	3,135	9.8%	6,905	5,516	11.9%	10.4%
Gasoline	3,863	12.1%	4,820	3,497	8.3%	6.6%
Jet Kerosene	879	2.8%	1,780	1,780	3.1%	3.3%
Kerosene	119	0.4%	227	223	0.4%	0.4%
LPG	2,839	8.9%	4,733	2,346	8.2%	4.4%
Natural Gas	6,717	21.1%	15,004	19,059	25.9%	35.8%
Non Energy	631	2.0%	1,279	1,279	2.2%	2.4%
Refinery Gas	1,036	3.3%	2,370	2,370	4.1%	4.5%
Total	31,872	100.0%	57,908	53,210	100.0%	100.0%

Source: Results from Simulation

Electricity Supply: Neither of both scenarios considered the exchange of electricity with other countries. The gross total consumption of electricity will grow in 4.5% a.a. (annually accumulated) during the whole period in the BAU scenario, and in 3.2% a.a. in the mitigation scenario. The smaller growth in the mitigation scenario compared to BAU is explained by energy efficiency in the residential, commercial and services and industrial sectors. In 2025 the mitigation scenario will generate 2,609 GWh less than in trending scenario; this means the equivalent to 45% of base year (2007) generation. In accumulative terms, in the whole period 2007-2025, the mitigation scenario will generate 20,900 GWh less, 3.6 times the base year generation (See Table 6).

Table 6
Gross Generation of 2007-2025, GWh

Sectors	2007	2015	2020	2025	Tasa
Trending Scenario					
Auto producers	321	440	535	651	4.0%
Power Plants (SP)	5,514	7,926	9,863	12,211	4.5%
Total	5,835	8,366	10,398	12,862	4.5%
Mitigation Scenario					
Auto producers	321	440	535	651	4.0%
Power Plants (SP)	5,514	7,083	8,256	9,602	3.1%
Total	5,835	7,523	8,791	10,253	3.2%

Source: Results from Simulation

The self producers will continue generating from bagazze since it's a residual production, which it was 5.5% of the total gross generation in 2007. We expect that in 2025 will represent 5.1% in the BAU scenario and 6.3% in the mitigation scenario. Finally, the generation by type of power plant, it was simulated in LEAP by processes participation. The new hydroelectric centrals will start to operate in full capacity since year 2021 y and the geothermic will start working in 2016. The unsatisfied requirements of generation will be covered by new plants of combined cycle using natural gas.

Natural Gas Supply: In year 2025, under mitigation scenario, the total net consumption of natural gas will be 4,0055 Kboe more than in BAU scenario for the same year due to the higher penetration of natural gas in the final consumption sectors. In the case of the electricity generation in 2025, in the mitigation scenario there be a 4,698 Kboe less of natural gas than in BAU scenario due to the incorporation of geothermic generation and the measures of energy efficiency proposed that reduce electricity requirements. Both effects practically compensate each other, the increase of natural gas in final consumption and the reduction of intermediate consumption in thermo power plants. Only it is noticed a small increment in the exports of natural gas, from 666 Kboe in the mitigation scenario for 2025.

7. Conclusions and Recommendations

The reserves of natural gas provide an interesting flexibility to the energy-mix in order to support economic growth, given the assumption that Bolivia will invest the adequate amounts in the sector to produce enough gaseous hydrocarbons and promote focalized energy polices.

Under these assumptions, the mitigation scenario shows savings of 38,430 Kboe, 1.2 times the country total net consumption in the base year.

The electricity sector, due to energy efficiency tools, shows savings near 20,900 GWh, 3.6 times the current total gross generation. These savings and the expected geothermal generation will reduce the consumption of natural gas toward 4,700 Kboe in the year 2025. Nevertheless, these savings does not take into account potential reduction of natural gas consumption for thermoelectricity, as a result of the removal of the subsidy price of natural gas for thermo generation. The effect of this measure will be huge, but difficult to implement (Aliaga and Tapia, 2012).

The transport sector is the main consumer of energy and also causes a huge misbalance in the energy-mix, for two reasons. First, the country is intense in gaseous hydrocarbons, while the sector is relative intense in liquid hydrocarbons. It is necessary to design and implement energy policies destined to change rapidly the transport consumption toward natural gas. Second, because the gasoline price is subsidized, this causes several relative prices distortion in the economy, repressing inflation and produce fiscal deficit. It is very difficult to remove this subsidy, but also necessary in the long term - focalized policies must be design for this purpose.

The country does not have full energy autarky and security, because the energy-mix structure is disorganize. In order to match the energy-mix behavior with sustained economic growth it is necessary to remove or focalize the energy subsidizes prices. Without this measure the current misbalanced will highly increase in the next years. This structure reflects also small reductions of GHG emissions, near 1,920 Gg of CO₂ equivalentents in the year 2015. In the current energy structure, the energy efficiency measure and the renewable energies penetration, only explained 16% of lower GHG emissions, bring the main explanation the natural gas penetration instead of oil consumption (Aliaga and Paredes, 2010).

Artículo recibido en: 7 de junio de 2014

Aceptado en: 18 de septiembre de 2014

References

1. Ackerman, F. and P. de Almeida (1990). "Iron and Charcoal the Industrial Fuelwood Crisis in Minas Gerais". *Energy Policy*, 18 (7), 661-668.
2. Aliaga, J. (2012). "El sector eléctrico en Bolivia". Documento de trabajo N° 4/12. Instituto de Investigaciones Socio Económicas (IISEC), Universidad Católica Boliviana.
3. Aliaga, J. and A. Mercado (2009). "Short-Run Oil Price Drivers: South America´s Energy Integration". Documento de trabajo N° 10/09. Instituto de Investigaciones Socio Económicas (IISEC), Universidad Católica Boliviana.
4. Aliaga, J. and F. Torrez (2011). "Perspectivas de la matriz energética boliviana". La Paz, Bolivia: Soipa.
5. Aliaga, J. and H. Villegas (2011). "Articulación del mercado de las energías renovables en Bolivia". Documento de trabajo N° 11/11. Instituto de Investigaciones Socio Económicas (IISEC), Universidad Católica Boliviana.
6. Aliaga, J. and M. Tapia (2012). "Determinación de un adecuado precio del gas natural para el sector eléctrico boliviano". Documento de trabajo N° 10/12. Instituto de Investigaciones Socio Económicas (IISEC), Universidad Católica Boliviana.
7. Aliaga, J., and A. Capriles (2011). "Análisis de la sustitución de fuentes energéticas en Bolivia". *LAJED*, 16, 57-80.
8. Aliaga, J., and R. Rubin de Celis (2011). "Hodrick–Prescott, Goodwin and Business Cycles in Bolivia." *LAJED*, 16, 29-38.
9. Aliaga, J. and M. Paredes (2010). "Cambio climático, desarrollo económico y energías renovables: estudio exploratorio de América Latina." Documento de trabajo N° 02/10. Instituto de Investigaciones Socio Económicas (IISEC), Universidad Católica Boliviana.
10. Amagai, H. (1991): "Environmental Implications of Fuel Substitution and Thermal Efficiency: A Case Study of Japan's Electricity Sector", *Energy Policy*, 19(1), 57-62.
11. Anandalingam, G. and D. Bhattacharya, (1985). "Process Modelling and Industrial Energy Use in Developing Countries-The Steel Industry in India", *Omega*, 13(4), 295-306.
12. Baughman, M. J.; J. Krafka and R. Sullivan (1984). "Modeling Emergency Interregional Electric Power Transfer", *Electric Power Systems Research*, 7(3), 213-224.

13. Boyd, G.; J. Fox and D. Hanson (1990). "3.4. Set of models", *Energy*, 15(3-4), 345-362.
14. Espinoza, L. and W. Jiménez (2012). "Equidad en la presentación de servicios en Bolivia. Tarifa Dignidad en Electricidad", *LAJED*, 17, 135-168.
15. Frankel, R. (1971). "Environmental Quality Considerations in Planning the Future of the Coal-Electric Power Industry", *Atmospheric Environment* (1967), 5(12), 1051-1056.
16. Hidalgo, I.; L. Szabo, J.; Ciscar and A. Soria (2005). "Technological Prospects and CO2 Emission Trading Analyses in the Iron and Steel Industry: A Global Model", *Energy*, 30(5), 583-610.
17. Hillsman, E.; D. Alvic and R. Church (1988). "A Disaggregate Model of the U.S. Electric Utility Industry", *European Journal of Operational Research*, 35(1), 30-44.
18. Hoster, F. (1998). "Impact of a Nuclear Phase-out in Germany: Results from a Simulation Model of the European Power Systems", *Energy Policy*, 26(6), 507-518.
19. Huntington, H.; J. Weyant and J. Sweeney (1982). "Modeling for Insights, not Numbers: The Experiences of the Energy Modeling Forum", *Omega*, 10(5), 449-462.
20. Isoard, S. and A. Soria (1999): "Flexible Returns and the Diffusion of Innovation Policy", *International Journal of Technology Management*, 18(5/6/7/8), 576-589.
21. Isoard, S. and A. Soria (2001). "Technical Change Dynamics: Evidence from the Emerging Renewable Energy Technologies", *Energy Economics*, 23(6), 619-636.
22. Kavrakoglu, I. (1982). "OR and Energy: Problems of Modelling", *European Journal of Operational Research*, 11(3), 285-294.
23. Koreisha, P. (1983). "Energy Models and the Policy Process: The Dutch Scenario", *Game Simulation & Gaming*. 445-464.
24. Kouvaritakis, N.; A. Soria and S. Isoard (2000). "Modelling Energy Technology Dynamics: Methodology for Adaptive Expectations Models with Learning by Doing and Learning by Searching", *International Journal of Global Energy Issues*, 14(1/2/3/4), 104-115.
25. Kouvaritakis, N.; A. Soria; S. Isoard, S. and C. Thonet (2000). "Endogenous Learning in World post-Kyoto Scenarios: Application of the POLES Model under Adaptive Expectations", *International Journal of Global Energy Issues*, 14(1/2/3/4), 222-248.

26. Lakhani, H. (1980). "Forecasting the Economic, Energy, and Environmental Impacts of National Energy Plans, 1990-2000", *Technological Forecasting and Social Change*, 18(4), 301-320.
27. McLaren, J.; S. Parkinson and T. Jackson (2000): "Modelling Material Cascades. Frameworks for the Environmental Assessment of Recycling Systems", *Resources, Conservation and Recycling*, 31(1), 83-104.
28. Neubauer, F.; E. Westman and A. Ford (1997). "Applying Planning Models to Study New Competition: Analysis for the Bonneville Power Administration", *Energy Policy*, 25(3), 273-280.
29. Newton, J. (1985). "Modelling Energy Consumption in Manufacturing Industry", *European Journal of Operational Research*, 19(2), 163-169.
30. Pandey, I. (2002). "Capital structure and market power", Indian Institute of Management Ahmedabad, W.P. No. 2002-03-01.
31. Pandey, R. (2002): "Energy Policy Modelling: Agenda for Developing Countries", *Energy Policy*, 30(2), 97-106.
32. Parikh, J. and S. Deshmukh (1992). "Policy alternatives for Western and Southern power systems in India, *Utilities Policy*, Indira Gandhi Institute for Development Research, 2(3) 240-247.
33. Pilati, D. and F. Sparrow (1980). "The Brookhaven process optimization models" *Energy*, 5(5), 417-428.
34. Polenske, K. and F. McMichael (2002): "A Chinese Cokemaking Process-Flow Model for Energy and Environmental Analyses", *Energy Policy*, 30(10), 865-883.
35. Rath-Nagel, S. and A. Voss (1981). "Energy models for planning and policy assessment" *European Journal of Operational Research*, *EJOR*. Amsterdam : Elsevier, ISSN 0377-2217, ZDB-ID 2430034 – 8(2), 99-114.
36. Samouilidis, J. (1980). "Energy Modelling: A New Challenge for Management Science", *Omega*, 8(6), 609-621.
37. Samouilidis, J. and A. Berahas (1983). "Energy Policy Modelling in Developing and Industrializing Countries", *European Journal of Operational Research*, 13(1), 2-11.
38. Samouilidis, J. and C. Mitropoulos (1982). "Energy-Economy Models: A Survey", *European Journal of Operational Research*, 11(3), 222-232.

39. Soloveitchik, D.; N. Ben-Aderet; M. Grinman and A. Lotov (2002): "Multiobjective Optimization and Marginal Pollution Abatement Cost in the Electricity Sector. An Israeli Case Study", *European Journal of Operational Research*, 140(3), 571-583.
40. Thompson, R.; L. Moore; J. Calloway; H. Young; R. Lievano and L. Nawalanic (1976). "Environment, Energy, and Capital in the Fossil Fueled Electric Power Industry", *Computers & Operations Research*, 3(2-3), 241-257.
41. Ulph, A. (1980). "World Energy Models. A Survey and Critique", *Energy Economics*, 2(1), 46-59.
42. Uri, N. (1976). "Optimal Investment, Pricing and Allocation of Electrical Energy in the USA", *Applied Mathematical Modelling*, 1(3), 114-118.
43. Uri, N. (1977). "An Assessment of Interfuel Substitution by Electric Utilities", *Applied Mathematical Modelling*, 1(5), 253-256.
44. Viguiet, L.; M. Babiker and M. Reilly (2003). "The costs of the Kyoto Protocol in the European Union," *Energy Policy* 31(5):459-483.
45. Xie Z. and M. Kuby (1997). "Supply-Side/Demand-Side Optimization and Cost-Environment Tradeoffs for China's Coal and Electricity System", *Energy Policy*, 25(3), 313-326.

Disponibilidad, consumo y utilización biológica de alimentos en Bolivia: análisis y perspectivas (1990-2030)

Availability, Consumption and Biological Utilization of food in Bolivia: Analysis and Perspectives (1990-2030)

*Blanca Rivero Lobo**

*Javier Aliaga Lordermann***

Resumen

El presente documento evalúa cuatro dimensiones de la seguridad alimentaria (*i.e.*, disponibilidad, soberanía, estabilidad y consumo y utilización biológica), encontrando brechas para los siguientes grupos de alimentos: frutas y verduras, proteínas y carbohidratos, a partir de la comparación de la oferta de cada producto con los requerimientos nutricionales mínimos de la población boliviana en el periodo 1990-2012. El resultado más relevante de la investigación es que, por grupo de alimento, sólo el grupo de carbohidratos cumple con las dimensiones estudiadas. Tanto el grupo de proteínas como el de frutas y verduras no cumplen con ninguna dimensión. También se evidencia que existen factores culturales que inciden sustancialmente en la alimentación. Asimismo, no existen incentivos ni políticas de seguridad alimentaria a largo plazo, por lo que se genera una situación de vulnerabilidad. Estas brechas nutricionales son indicadores de desnutrición y desabastecimiento de alimentos.

* Asistente de Investigación del Instituto de Investigaciones Socio Económicas de la Universidad Católica Boliviana "San Pablo". Contacto: blanka16@hotmail.com

** Director del Instituto de Investigaciones Socio Económicas de la Universidad Católica Boliviana "San Pablo". Contacto: jaliaga@ucb.edu.bo

Palabras clave: seguridad alimentaria nutricional, inseguridad alimentaria, seguridad alimentaria y soberanía alimentaria.

Abstract

This paper evaluates four dimensions of food security (*i.e.*, availability, sovereignty, stability and consumption and biological utilization), finding gaps for food groups (fruits and vegetables, proteins and carbohydrates), from comparing the supply of each product with minimum nutritional requirements of the Bolivian population in the period 1990-2012. The most important result of the research is that food group, only the carbohydrate group meets the dimensions studied. Both groups of proteins, such as fruits and vegetables do not meet any dimension. Is also evidence that there are cultural factors that materially affect the feed. Likewise, there are no incentives or policies on food security in the long term, so that a position of vulnerability is generated. These nutritional gaps are indicators of malnutrition and food shortages.

Key words: Food Security and Nutrition, Food Insecurity, Food Security and Food Sovereignty.

Clasificación/Classification JEL: Q11, Q18, Y40.

1. Introducción

Las estimaciones más recientes de la FAO (2013) indican que la gran mayoría de la población pobre (827 millones de personas que padecen hambre) vive en regiones en desarrollo, donde la prevalencia de la subalimentación en el periodo 2011-2013 se estima actualmente en el 14.3 % de la población. Para Mallea (2010) Bolivia está clasificada como un país con alta vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria (IA) y con alto grado de pobreza.

Haquim (2009) explica que existe poco acceso de los hogares a los alimentos en un país en el cual el 47% de la población es pobre y el 76% de los pobres quienes viven en el área rural no tiene acceso a los servicios básicos ni de infraestructura. En el ranking sobre vulnerabilidad a la IA, elaborado por UDAPE (2007), se demuestra que las comunidades son el sector más vulnerable del país, representando alrededor del 53%.

Según el perfil nutricional realizado por la FAO/WHO/UNU (2001) para Bolivia, se demuestra que las ciudades más densamente pobladas presentan condiciones de desnutrición. Dentro del estado nutricional de los niños menores de 5 años resalta un retardo de crecimiento e insuficiencia ponderal. Importantes diferencias en los niveles de desnutrición en menores de 5 años persisten entre las regiones. La región del llano es la que presenta los mejores indicadores, mientras que en el Altiplano se encuentran los niveles más altos de desnutrición.

El análisis y cartografía de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria en Bolivia realizado por FAO/PMA (2002) concluye que existe una alta concentración de los municipios vulnerables en el altiplano, parte de los valles y algunos municipios de Pando. Ormachea (2010) resalta que los datos referidos al comportamiento de las importaciones de productos de origen agropecuario permiten sostener que el país tiende a depender de mayor cantidad de alimentos importados.

El propósito del trabajo es evaluar las dimensiones (*ie.*, disponibilidad de alimentos, consumo y utilización biológica, estabilidad y soberanía alimentaria) de la seguridad alimentaria (SA). Para ello se evalúa la disponibilidad de alimentos en términos de la diferencia entre la oferta y el requerimiento calórico.

Nutricionalmente se observan las diferencias entre los grupos de alimentos necesarios para una buena alimentación y su requerimiento óptimo, ambas dentro de un marco temporal para mostrar la estabilidad de la SA en el tiempo, y se analiza el componente importado para evaluar la soberanía.

El documento presenta la siguiente estructura: la siguiente sección revisa el marco conceptual y la forma en la que se cuantifica la SA, posteriormente se presenta la aproximación metodológica utilizada, a continuación se exponen los criterios utilizados para su operacionalización, seguidos de los principales resultados, y por último se presentan las conclusiones más pertinentes.

2. ¿Qué es seguridad alimentaria?

Dentro de la comunidad científica no existe un consenso sobre la definición de SA, debido a que la misma ha ido evolucionando en el transcurso del tiempo. El término aparece

por primera vez a mediados de los años setenta, debido a la crisis global de alimentos¹. El significado ha evolucionado significativamente durante las últimas décadas (Haddinnott, 1999) y desde entonces se han hecho varias redefiniciones del tema.

Por ello, en esta sección se citaran las consideraciones más importantes y sus variaciones en función al tiempo, haciendo hincapié en que antiguamente se conceptuaba a la SA como un derecho que debería ser provisto por el Estado, y en la actualidad se involucran agentes particulares para promoverla.

En los años setenta, la atención mundial se enfocó fundamentalmente en la oferta y almacenamiento de alimentos, buscando asegurar la disponibilidad y estabilidad de los precios de los alimentos básicos. En este sentido, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) define la SA como “la disponibilidad en todo momento de adecuados suministros mundiales de alimentos básicos para mantener de forma constante el consumo, sin que se vea afectado por las fluctuaciones de producción y de precios” (Cumbre Mundial de la Alimentación celebrada en 1974). También se la ha definido como la “seguridad de suministros y situación de equilibrio entre oferta y demanda de alimentos básicos en el mercado internacional” (Informe del Programa Mundial de Alimentos en 1979).

De la Vega (2004) explica que en los años ochenta resultó evidente que la oferta no bastaba por sí sola para asegurar el acceso de la población a los alimentos, ya que quedó demostrado que las hambrunas ocurren sin que exista déficit de alimentos a nivel mundial, por lo que se incluyó la importancia del acceso en una dinámica temporal. Debido a estas situaciones, la SA pasa de ser entendida en términos de oferta a ser comprendida desde el punto de vista de la demanda², es decir, “cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a los alimentos básicos que necesitan” (FAO, 1983).

En relación a la calidad de la alimentación, se introduce el concepto de alimentos sanos y nutritivos, con el que se enfatiza el hecho de que no solo es necesaria la existencia de los alimentos, si no que éstos deben ser nutritivos. El Banco Mundial (BM) plantea la siguiente definición: “el acceso de todas las personas y en todo momento a suficientes alimentos para una vida activa y sana” (Informe “Pobreza y hambre” del Banco Mundial, 1986)

1 En 1973, con motivo de la crisis energética, se produjo la caída del dólar, seguida de una importante inflación que repercutió en una subida del precio de los insumos de producción agrícola. Ello trajo como consecuencia un retroceso en la producción agrícola.

2 Donde la demanda individual de bienes alimentarios puede ser abastecida de tres maneras: autoabastecimiento, compra u obtención mediante la ayuda alimentaria.

A fines de los años ochenta, la FAO (1996) incorpora el concepto de las preferencias. Éstas deben ser interpretadas en el contexto de las diferentes tradiciones, culturas y creencias religiosas que frecuentemente se relacionan con las costumbres alimentarias de las comunidades³. Esta aproximación conceptual se define como: “La SA a nivel individual, familiar, nacional, regional y global se alcanza cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico a suficientes alimentos inocuos, sanos y nutritivos que les permitan satisfacer sus necesidades y sus preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana”⁴ (FAO, 1996).

Finalmente, FAO (2001) hace referencia a las desigualdades de acceso dentro de un mismo hogar por motivos de discriminación de género hacia las mujeres u otros tipos de jerarquía familiar, e incorpora el término social. Al ser ésta la última definición de SA, ampliamente aceptada, es la que es utilizada en la presente investigación. Sin duda alguna, para llegar a ésta se partió de las anteriores y se intentó corregir sus carencias. A su vez, esta definición fue desagregada en cinco dimensiones: “Existe SA cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, económico y social a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos para cubrir sus necesidades alimenticias y sus preferencias culturales en cuanto a los alimentos, a fin de llevar una vida sana y activa” (FAO, 2001).

2.1. Dimensiones de la seguridad alimentaria

Barrett (2002) señala que, como el concepto de SA es inherentemente inobservable, durante mucho tiempo se ha eludido una definición operacional precisa. Este autor identifica tres fases en el desarrollo del concepto, de las cuales surgen las cinco dimensiones.

- a) Para la primera dimensión, el énfasis recayó en el lado de la oferta, dando lugar a la importancia de la *disponibilidad*, la cual, según el Informe de políticas de la FAO (2006), es definida como la existencia de cantidades suficientes de alimentos de

3 Asimismo, la última Conferencia Mundial de los Pueblos sobre Cambio Climático y la Defensa de los Derechos de la Madre Tierra (CMPCC) introduce el término de la soberanía alimentaria, la cual “implica el derecho de los pueblos a controlar sus propias semillas, tierras, agua y la producción de alimentos, garantizando, a través de una producción agroecológica, local y culturalmente apropiada, el acceso de los pueblos a alimentos suficientes, variados y nutritivos en complementación con la Madre Tierra y profundizando la producción autónoma de cada nación y pueblo” (CMPCC, 2010).

4 La definición actual de seguridad alimentaria habla de alimentos nutritivos para todos, lo que hace que el término “seguridad alimentaria familiar” sea redundante y por tanto innecesario (FAO, 1996).

calidad adecuada⁵ y suministrados a través de la producción del país y en caso extremo por importaciones o ayuda alimentaria externa.

- b) Seguidamente se buscó abarcar la SA por el lado de la demanda, lo cual dio lugar al tema del *acceso a los alimentos*. Por acceso se entiende tanto el acceso físico como el económico y el social, de los agentes a los recursos adecuados para adquirir alimentos apropiados⁶, garantizando la inocuidad de los alimentos por medio de un control de sanidad.
- c) En la tercera fase se concibe a la SA dentro del marco de la elección intertemporal, abarcando *la estabilidad*, lo que implica el cumplimiento de las otras dimensiones de manera continua, estable y sin correr el riesgo de quedarse sin alimentos a consecuencia de crisis repentinas⁷, es decir, resolviendo las condiciones de inseguridad o acontecimientos cíclicos; como la IA estacional.
- d) La dimensión de *consumo y utilización biológica* es tomada de la seguridad nutricional. Gros y Schoeneberger (2002) explican que el marco conceptual para el análisis de la malnutrición ha sido desarrollado por UNICEF (1990)⁸ y esta ligado a la seguridad nutricional, centrándose en el consumo de alimentos por unidad (familiar o individuo) y la forma en que los alimentos son utilizados por el organismo.
- e) La última dimensión emerge de la "Vía campesina"⁹, y comprende *la soberanía alimentaria*¹⁰, que es considerada como el derecho de los pueblos, naciones o uniones

5 Para considerar adecuados a los alimentos se requiere que sean culturalmente aceptables (incluyendo factores tanto sociales como religiosos) y que se produzcan en forma sostenible tanto para el medio ambiente como para la sociedad.

6 Por el lado de la oferta implica el acceso a factores de producción. En economía los factores de producción son K, T y L, acompañados de tecnología.

7 Se define crisis repentina a un shock que recibe una economía ante una externalidad económica (incremento de precios, crisis internacionales) o climática (diluviós o sequías, entre otras causas).

8 Sobre la base del marco conceptual de UNICEF, el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias propuso que "la seguridad nutricional se puede definir como un estado nutricional adecuado en términos de proteínas, energía, vitaminas y minerales para todos los miembros de la unidad familiar en todo momento" (IFPRI, 1995).

9 La "Vía campesina" (movimiento internacional) es una coalición de 148 organizaciones en 69 países del mundo que defiende una agricultura familiar y sustentable. Esta coalición lanzó el concepto de soberanía alimentaria.

10 La última Conferencia Mundial de los Pueblos sobre Cambio Climático y la Defensa de los Derechos de la Madre Tierra (CMPCC) ha indicado que la soberanía alimentaria "implica el derecho de los pueblos a controlar sus propias semillas, tierras, agua y la producción de alimentos, garantizando, a través de una producción agroecológica, local y culturalmente apropiada, el acceso de los pueblos a alimentos suficientes, variados y nutritivos en complementación con la Madre Tierra y profundizando la producción autónoma de cada nación y pueblo" (CMPCC, 2010).

de países a definir sus políticas agrícolas y de alimentos, sin ningún *dumping*¹¹ frente a otros países.

3. ¿Cómo se “mide” la seguridad alimentaria?

Giraldo, Betancur y Arango (2011) desagregan las metodologías utilizadas en índices (Anexo 1). A nivel agregado provienen de dos tipos de modelos: proyección de tendencia y comercio mundial. Los primeros pronostican la brecha entre el consumo y la producción alimentaria, suponiendo que los precios relativos son constantes en el tiempo. La segunda línea permite evaluar la interacción entre varios países en relación al comercio, encontrando precios y cantidades. El Cuadro 1 muestra trabajos que utilizan estas metodologías.

Cuadro 1
Características de los modelos más reconocidos

Nombre	Metodología	Alcance	Fuente
International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade IFPRI	Modelo de equilibrio parcial	Ofrece una metodología para el análisis de líneas de referencia y escenarios alternativos de la demanda global de alimentos, oferta, comercio, ingreso, población	Rosegrant, Ringler, Msangi, Cline y Sulser (2005). International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade (IMPAC-WATER): Model Description.
Food Security Assessment USDA	Modelo de equilibrio parcial	Evalúa la SA de un país mediante la brecha existente entre la proyección del consumo doméstico alimentario y el requerido en 70 países.	Shapouri y Rosen (2005) Food Security Assessment. Electronic Outlook Report from the Economic Research Service. GFA-16.
Policy Dialogue Model. A Water and Food Security Planning Tool	Modelo de proyección de tendencia	Determina la demanda de agua en 2025 y encuentra los requerimientos alimentarios como resultado del crecimiento de la población y los cambios en la dieta.	Seckler, Amarasinghe, Molden, de Silva, Barker (1998). World water demand and supply, 1990 to 2025: scenarios and issues. Research Report N° 19, International
World Food FAO	Modelo de equilibrio general	Provee un marco para proyectar la disponibilidad, acceso y flujo neto alimentario entre 150 países.	Water Management Institute (WMI), Colombo, Sri Lanka. FAO. (1993). The World Food Model-Model Specifications ESC/M/93/1.

Fuente: Extraído de Análisis Metodológico para la Modelación de la Seguridad Alimentaria a nivel nacional

¹¹ Se entiende como *dumping* a la práctica por la cual una empresa establece un precio inferior para los bienes exportados que para los costos de producción que tiene la empresa desde el país a donde se importan esos bienes, sacando de competencia a la empresa local.

Para el propósito de esta investigación se sigue la línea de los modelos de proyección de tendencia, debido a que se pronostican la brecha entre el consumo, en este caso el requerimiento óptimo, y la oferta interna¹², que incluye la producción del país. En la siguiente sección se presenta la aproximación metodológica que se utiliza en este documento.

4. Aproximación metodológica

Debido a que resulta difícil hacer un estudio que abarque las cinco dimensiones de la SA y a su vez cumpla con los tres determinantes de la SN, la presente metodología abarcará las dimensiones de consumo y utilización biológica, disponibilidad, estabilidad y soberanía, entendida como autarquía¹³, dejando de lado la dimensión de acceso a los alimentos y los determinantes de la SN.

- a) Para corroborar la *disponibilidad*, se observa la participación del componente importado en la oferta alimentaria.
- b) Bajo el supuesto de una distribución equitativa, se trabaja con una oferta *per cápita*, lo cual impide que se analice la dimensión de *acceso a los alimentos*.
- c) Para evaluar la estabilidad, el análisis realizado es de carácter temporal, dentro de un periodo considerable (1990-2012).
- d) En este documento se entenderá *soberanía* como autarquía, ya que al autoabastecerse, la producción boliviana es soberana sobre la importada e implica que se consumen alimentos tradicionales.
- e) Para que se cumpla la dimensión de *consumo y utilización biológica* la oferta alimentaria debe abastecer los requerimientos nutricionales mínimos de la población.

Para dicho propósito, se calcula la oferta alimentaria interna y el requerimiento que demanda una población bien alimentada. La diferencia entre la oferta y demanda generan la brecha que bajo determinados criterios explicarán si el país cumple cuatro de las cinco dimensiones de la SA.

12 Definimos oferta interna como la cantidad de bienes alimentarios que se encuentra en el mercado nacional, sin hacer referencia al origen de la producción.

13 Sistema económico según el cual una nación debe ser capaz de abastecerse a sí misma y subvenir a todas sus necesidades con un mínimo de intercambios comerciales con el exterior y rechazando los capitales extranjeros. Es sinónimo de economía cerrada al comercio exterior o al mercado global, lo que conlleva establecer restricciones al intercambio entre individuos de distintos sitios.

Por un lado, la oferta se compone de alimentos producidos internamente e importados; la producción se destina a la exportación y al consumo interno. Las importaciones proceden de donaciones, comercio por vía legal e ilegal. Toda esta oferta alimentaria crea una cesta en la que la composición porcentual define la relevancia de los sectores externo e interno de la economía para la SA del país.

La demanda de alimentos es afectada por el crecimiento poblacional. Sectorialmente, sea la población urbana o rural, la cantidad de energía que requerirá depende de las actividades que realice y el clima en el que la población habite. Esta demanda, calculada siguiendo criterios de consumo meritorio, se representa por una línea nutricional¹⁴, la cual es calculada a partir de los requerimientos energéticos de un agente promedio, que se explicará en detalle a continuación.

4.1. Línea alimentaria nutricional

Según Elmadfa y Leitzmann (1990), el requerimiento de un nutriente se define como la cantidad necesaria para el sostenimiento de las funciones corporales del organismo humano dirigidas hacia una salud y rendimiento óptimos. Los requerimientos nutricionales del ser humano tienen tres componentes: el requerimiento basal, el requerimiento adicional (crecimiento, gestación, lactancia o actividad física) y la adición de seguridad para considerar pérdidas de nutrientes por manipulación y procesamiento.

La línea alimentaria nutricional es el requerimiento mínimo de un bien alimentario a nivel *per cápita*, ponderado a precios constantes. Para cuantificarla se utilizará el método de ingesta de calorías Food Energy Intake (FEI)¹⁵. En este método se trabaja bajo el supuesto de individuos saludables, es decir, que no se toman requerimientos adicionales para condiciones de subnutrición.

14 La línea nutricional se define como las cantidades mínimas necesarias de un producto alimentario para el sostenimiento de las funciones corporales del organismo humano dirigidas hacia una salud y rendimiento óptimos. Dicha línea se encuentra medida a precios constantes.

15 Esta metodología supone la definición de una ingesta mínima de alimentos por parte de un individuo, a fin de que pueda llevar a cabo una vida decente. Con esta acepción, aquellos individuos que no puedan asumir el coste de la FEI son considerados pobres. El concepto de pobreza que se deriva se construye exclusivamente a partir de la alimentación como necesidad básica. Será pues especialmente precisa en realidades subdesarrolladas, en las cuales una fracción significativa del presupuesto se asigne a este concepto. En países más desarrollados, la proporción destinada a alimentación será menor y, por tanto, será necesario completar la cesta con otros bienes no alimenticios. Tal y como plantea Deaton (1997), esta aproximación a los estándares de vida a partir del consumo de una cesta de alimentación adecuada entra en conflicto con una visión meramente economicista.

4.1.1. La tasa de metabolismo basal

La tasa de metabolismo basal (TMB) es la medida de la energía necesaria en calorías para mantener el funcionamiento del cuerpo en reposo¹⁶, se mide en condiciones estandarizadas: 12-14 horas después de una comida, y en un ambiente térmico neutro¹⁷. La FAO/OMS (2004) utiliza las ecuaciones predictivas desarrolladas por Dubois en 1916. Autores como Ismail, N., Chee, S., Roslee, R. y Zawiah, H. (1998) replicaron la metodología para Malasia. Estas ecuaciones están basadas en variables como edad, género y peso (Cuadro 2).

Cuadro 2
Valores promedio de las ecuaciones utilizadas para el cálculo de las necesidades de energía

Adultos	Edad en años	kcal/d
Hombres	18.0 - 29.99	15.057 kg + 692.2
	30.0 - 59.99	11.472 kg + 873.1
	60 y más	11.711 kg + 587.7
Mujeres	18.0 - 29.99	14.818 kg + 486.6
	30.0 - 59.99	8.126 kg + 845.6
	60 y más	9.082 kg + 658.5

Fuente: FAO (2004)

Se utilizaron las ecuaciones establecidas por Schofield, Schofield y James (1985) en las que se revisaron aproximadamente 11.000 mediciones¹⁸ de la TMB para inferir ecuaciones de predicción para hombres y mujeres. Estas ecuaciones luego fueron adoptadas para su uso en la FAO, OMS y UNU en 1985.

$$IMC = \frac{W}{H^2} \tag{1}$$

¹⁶ Reposo corporal y mental. Esta energía mínima es utilizada por la célula en las reacciones químicas intracelulares necesarias para la realización de funciones metabólicas esenciales, como es el caso de la respiración.

¹⁷ El gasto energético tiene tres fuentes: alrededor del 60 al 70% se da por la TMB, del 20 al 30% se genera por el nivel de actividad física (NAF) y el saldo por la acción termogénica de los alimentos consumidos.

¹⁸ Para las mediciones de las TMB se utilizó el método de agua doblemente marcada, así como también un monitoreo de la frecuencia cardíaca.

Donde:

IMC = Índice de Masa Corporal¹⁹

W = Peso en kg

H = Altura en m

Despejando W se tiene:

$$W = IMC * H^2 \quad (2)$$

Introduciendo el valor W en las ecuaciones de predicción, se encuentra la TMB :

$$TMB = \alpha + \beta W + \varepsilon \quad (3)$$

Donde:

TMB = Tasa de metabolismo basal

W = Peso corporal óptimo en kg

ε = Error estándar

4.1.2. Nivel de actividad física

El nivel de actividad física (NAF) es un múltiplo de la TMB y la cantidad de energía (en kilocalorías) que una persona necesita para la línea de base de funcionamiento del cuerpo en reposo²⁰. En función al área en el que viva la población (sea rural o urbana), el tiempo dedicado a cada actividad varía, y por lo tanto el NAF cambia (Anexo 2).

$$NAF = \delta TMB \quad (4)$$

Donde:

δ^2 = Proporción de la TMB

¹⁹ El IMC es una razón de peso para la talla que a menudo se utiliza para estimar la grasa corporal.

²⁰ Se indica el nivel de energía necesaria tanto para el funcionamiento línea de base como para el resto de la actividad física llevada a cabo por el agente, además de la absorción, distribución y almacenamiento de energía de los alimentos.

²¹ $\delta = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_i \times c_i}{24}$, donde t es la asignación de tiempo dedicado a la actividad i medido en horas; i implica las siguientes actividades: 1° dormir, 2° comer, 3° cuidado personal (vestirse, bañarse), 4° movilizarse en autobús, 5° caminar, 6° levantar objetos ligeros, 7° estar sentado, 8° tareas domésticas, 9° ejercicio aeróbico de baja intensidad, 10° actividades de ocio (por ejemplo; ver televisión, leer) y c es el coste de energía de una sola actividad como un múltiplo de TMB .

4.1.3. Gasto energético

Las mediciones de gasto de energía (ecuación 5) se expresan como unidades de energía termoquímica (kilocalorías, kcal)²², es decir, la energía total en kilocalorías que se necesita para satisfacer las necesidades diarias de energía de cada agente en una determinada edad o género (o de toda la población). La cantidad de energía que requiera la población se encuentra dentro de los parámetros estimados internacionalmente²³.

$$e = TMB + NAF \quad (5)$$

Donde:

e = Gastos de energía

Para la creación de la cesta, el requerimiento energético utilizado es mayor al gasto energético, debido a que se considera el desperdicio y los servicios de comida, entre otros.

$$E = e + \gamma e \quad (6)$$

Donde:

E = Requerimiento energético

e = Gastos de energía

γ = Proporción destinada al desperdicio

Aun siendo posible formular una dieta que cumpla con los requerimientos nutricionales mínimos, no hay que olvidar que los destinatarios de esa dieta son personas, y que los agentes comen alimentos, no nutrientes. La línea alimentaria nutricional es fijada en función de requerimientos alimenticios mínimos.

Para el nivel de energía requerida a nivel *per cápita*, se realiza la conversión del requerimiento energético²⁴ en alguna unidad de medida, por ejemplo, gramos, kilogramos, etc., según sus respectivas equivalencias, es decir, kcal a gramos según cada producto alimentario. Dado

22 La unidad de energía, kcal, es la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 g de agua por 1°C. Los múltiplos de mil kilocalorías (kcal) se utilizan en la nutrición humana.

23 Los requerimientos de energía contenidos en esta investigación contemplan el supuesto de tener individuos "sanos", no se contemplan energía y nutrientes adicionales para enfrentar condiciones de desnutrición, enfermedades, infecciones y otras patologías. Según la Organización Mundial de la Salud, la ingesta en Bolivia fluctúa entre 2000 y 2300 [kcal/día].

24 Para dichas conversiones se utilizaron las tablas aprobadas por el Colegio Nacional de Nutricionistas (Bolivia).

que para la oferta se trabaja para el periodo de 1990-2012, el requerimiento también tendrá una frecuencia anual, (ecuación 7) y será ponderado en precios constantes para que sea contrastado con la oferta interna (ecuación 8):

$$\mathfrak{R} = \mu m * 365 \text{ días} \quad (7)$$

Donde:

\mathfrak{R} = Requerimiento anual en [um]

Habiendo encontrado el requerimiento, éste es ponderado a precios constantes, para poder ser comparado con la oferta interna, formando así la línea alimentaria nutricional:

$$LAN = \mathfrak{R} * P \quad (8)$$

Donde:

LAN = Línea Alimentaria Nutricional

\mathfrak{R} = Requerimiento óptimo en cantidad

P = Precios

4.2. Oferta

Sea la oferta interna *per cápita* (ecuación 9), la cual debe abastecer el consumo mínimo *per cápita* requerido por la población, definido por la línea nutricional.

$$O_i = \frac{P_i - X_i + M_i + \varepsilon_i}{N_i} \quad (9)$$

Donde:

O = Oferta de los bienes alimentarios

P = Producción interna de bienes alimentarios destinados al consumo

X = Exportación de bienes alimentarios

M = Importación de bienes alimentarios

ε = Error

N = Población

4.3. Equilibrios

Los posibles resultados del trabajo mostrarán, por un lado, la situación del agente promedio respecto a su ingesta calórica, y por otro, si la fuente de dicha energía cumple requerimientos nutricionales. A la luz de ambos instrumentos, en función a la fuente de la oferta, sea de origen propio, importado o donado, se concluirá el estado de las dimensiones de la seguridad alimentaria del país a partir de considerar la brecha, que es la diferencia existente entre la línea alimentaria nutricional (LAN) y la oferta en la sucesión de varios periodos (O_t).

$$LAN = O_t \quad (10)$$

4.3.1. Brecha calórica

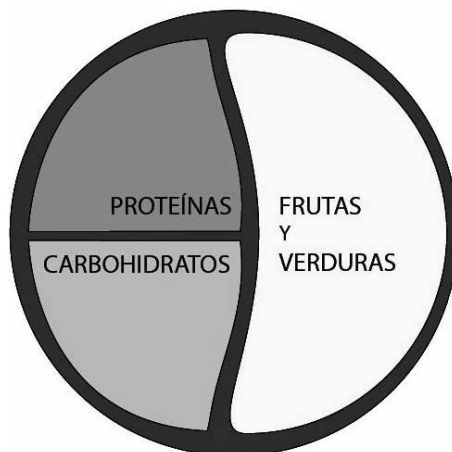
De manera general, la ingesta de alimentos puede abastecer, sobrepasar o ser insuficiente, dado el requerimiento calórico. La construcción de estos escenarios requiere el gasto de energía de los agentes (ecuación 6) y la oferta ponderada en kilocalorías netas; de esta manera se obtienen los posibles escenarios siguientes:

- a) Con excedente: la oferta abastece el requerimiento con una brecha positiva $O > e$.
- b) Suficiente: situación de equilibrio en la que la oferta abastece con el requerimiento $O = e$.
- c) Insuficiente: la oferta es insuficiente para el requerimiento de la población $O < e$.

4.3.2. Brechas nutricionales

Para encontrar las brechas a nivel nutricional, se plantea un análisis para cada grupo de alimento, utilizando la versión del "Plato de Harvard", el cual se ilustra en el Gráfico 1, que representa un plato óptimo de ingesta de alimentos que distribuye los alimentos en tres sub-grupos; carbohidratos, proteínas, y frutas y verduras. Dentro de cada grupo de alimento se encontrarán distintas brechas al comparar el requerimiento mínimo de dicho producto alimentario con la oferta, encontrando así los distintos posibles resultados, explicados a continuación.

Gráfico 1: Plato saludable



Fuente: Elaboración de los autores en base al logo del plato de Harvard.

5. Criterios de evaluación

Cuadro 3
Criterios de evaluación

DIMENSIONES	CUMPLE	NO CUMPLE	JUSTIFICACIÓN
Disponibilidad	$LAN < O$	$LAN > O$	La oferta supera a la línea alimentaria, lo cual implica que se abastece el mercado interno. Puede haber un exceso de oferta interna; además, el país puede exportar el saldo.
Soberanía	$LAN = P$ $LAN < P$	$LAN > P$	La producción del país es destinada para el consumo interno, sin comercio exterior $LAN = P$. El comercio exterior puede ser favorable o no, incidiendo en la soberanía alimentaria. No se contará con soberanía alimentaria si el comercio exterior se da por razones comerciales ($\overline{LA} > O_i$). Se contará con soberanía alimentaria si el comercio existe debido a ventajas comparativas ²⁶ en la producción de algunos alimentos. Por ello, la razón del comercio es la diversidad de la oferta ($\overline{LA} < O_i$).

25 El modelo de la ventaja comparativa es uno de los conceptos básicos que fundamenta la teoría del comercio internacional y muestra que los países tienden a especializarse en la producción y exportación de aquellos bienes que fabrican con un coste relativamente más bajo respecto al resto del mundo, en los que son comparativamente más eficientes que los demás y que tenderán a importar los bienes en los que son más ineficaces y que por tanto producen con unos costes comparativamente más altos que el resto del mundo.

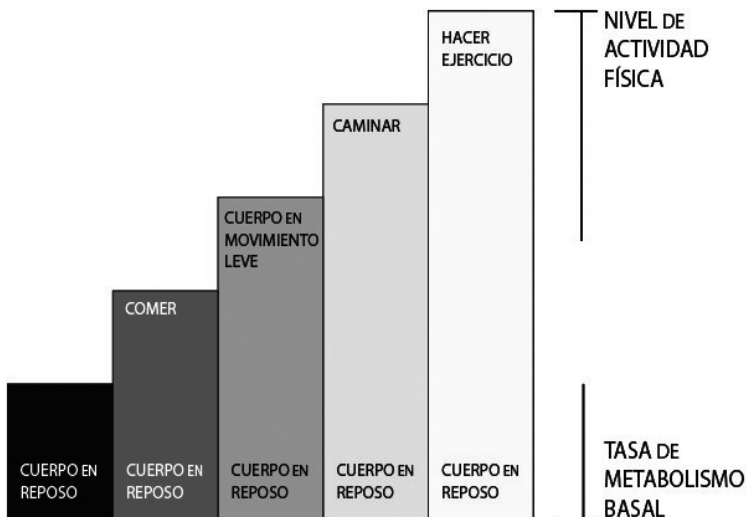
DIMENSIONES	CUMPLE	NO CUMPLE	JUSTIFICACIÓN
Estabilidad	$LAN_i \leq O_i$	$LAN_i > O_i$	La estabilidad implica disponibilidad en la sucesión de varios períodos.
Consumo y utilización biológica	$LAN \leq O$	$LAN > O$	Para el cumplimiento de dicha dimensión, la oferta deberá abastecer el requerimiento mínimo nutricional de cada grupo de alimento. Para ello se revisarán las brechas nutricionales.

Fuente: Elaboración de los autores

6. Criterios para la operacionalización

Para el propósito de esta investigación, lo más importante es definir la línea nutricional, para lo cual se utilizan criterios nutricionales. En base a las cestas se define una línea nutricional para cada producto; para hacer el cálculo de éste se estima el requerimiento de energía de un boliviano promedio. Dicho agente destina su energía en función a su tasa metabólica basal (TMB), el cual es el gasto energético de línea base que requiere; el gasto se incrementa en función al nivel de actividad física (NAF).

Gráfico 2: Gasto energético



Fuente: Elaboración de los autores

6.1. Cestas

En la literatura de la buena alimentación, el plato de Harvard y la versión de My Plate de Estados Unidos para la composición de alimentos, son los estudios más novedosos; ambos son introducidos en esta investigación. Para hacer un análisis a nivel nutricional se tomaron tres grupos de alimentos: carbohidratos, frutas y verduras y proteínas; grupos de productos que luego se desagregan²⁶.

Si bien los requerimientos nutricionales, entendidos como la participación de cada grupo de alimento dentro de una dieta, no varían en gran medida en el tiempo, la evidencia empírica muestra que la ingesta energética, es decir, la cantidad de calorías que se requieren dado un periodo de tiempo, puede variar; por lo que para el presente trabajo se realizarán dos mediciones, específicamente, los años 2001 y 2012, para el cálculo de los requerimientos energéticos (e), y con ellos inferir los requerimientos nutricionales (\mathfrak{R}).

6.2. Línea nutricional

Para facilitar la aplicación de esta metodología, FAO y OMS desarrollaron una herramienta de aplicación estandarizada para el cálculo de los requerimientos calóricos denominada Population Energy Requirement²⁷ (POPER).

6.2.1. Tasa de metabolismo basal

Para las ecuaciones (1) y (2) no existen datos nacionales sobre pesos y alturas. Izquierdo (2014) explica que los últimos estudios antropométricos de la evaluación del crecimiento de niños de 0 a 5 años y de 5 a 19 años, demuestran que un niño alimentado con el seno materno por lo menos hasta los seis meses y con adecuada ingesta complementaria, en cualquier parte del mundo, tendrá el mismo crecimiento.

Los resultados del Censo de talla realizado en 1989-1990 en escolares, confirmaron un alto nivel de retardo de crecimiento (35%), siendo los varones de 6 a 9 años los más afectados. La situación fue aún más grave en el área rural (40%) y en 18 provincias de los departamentos de Potosí, Cochabamba y Chuquisaca, caracterizadas por altas tasas de pobreza y de

²⁶ Se desagregan según el tipo de clasificador que el INE utiliza, hasta llegar a productos precisos.

²⁷ Janice Albert (Oficial de nutrición de FAO) expresa que este software se creó en una sola versión, y en la actualidad aún se la utiliza. Viale Delle Terme di Caracala 00153 Roma, Italia.

analfabetismo, falta de infraestructura y de servicios básicos y poca o ninguna potencialidad para la producción agropecuaria.

La única información acerca de los adolescentes (12-17 años) fue recolectada en 1993 en las escuelas de la ciudad de La Paz, y evidenció 19% de retardo de crecimiento. En la ENDSA de 1998 se indica que la talla en madres de 15-19 años con niños menores de 3 años es de 151 cm, y el índice de masa corporal promedio es de 25.3 kg/m², ligeramente mayor a lo encontrado en 1994. Con referencia a los adultos, no existe información a nivel nacional.

Asimismo, se concluye que la talla baja de la población boliviana se debe principalmente a la desnutrición crónica que le afecta²⁸. Por ello, Izquierdo (2014) recomienda utilizar pesos (W) y alturas (H) óptimas según edades, en base a las cuales se calculó el IMC, y con cuyos resultados, según las ecuaciones de predicción (3), se obtuvieron las TMB.

Para esta investigación se utilizaron los valores recomendados por la OMS (2009) para países en vías al desarrollo. Las alturas que se utilizan para calcular los pesos corporales medios específicos de la edad provienen de las curvas de crecimiento previstas en Schofield, Schofield y James (1985). Estas curvas de crecimiento se utilizan en la actualidad; la OMS ha desarrollado una amplia literatura sobre el tema. La edad y el peso corporal específicos por género provienen de un perfil de alturas derivado mediante la agrupación de países similares, que han sido convertidos a pesos corporales de altura óptimos dados por la FAO (2004).

6.2.2. Nivel de actividad física

Al ser un múltiplo de la TMB que una persona necesita sobre la línea de base de energía para funcionamiento del cuerpo en reposo²⁹. En función al área en el que viva la población, existen distintos costos establecidos, por lo que la proporción de la TMB (δ) oscila en un rango entre 0.10 y 1.00, tanto para el área rural como para el área urbana. Expertos de la FAO recomiendan que para países en vías al desarrollo el mismo se mantenga entre 0.10 y 0.50 (se recomienda 0.10 para el área urbana y 0.50 para el área rural) sobre el nivel de gasto energético de línea base, es decir, de la TMB.

²⁸ Lo cual se corrobora mediante la aplicación del software para la evaluación antropométrica individual y poblacional de la OMS (ANTRO y ANTROPLUS).

²⁹ Se indica el nivel de energía necesaria tanto para el funcionamiento línea de base como para el resto de la actividad física llevada a cabo por el agente, además de la absorción, distribución y almacenamiento de energía de los alimentos.

Es de esperar que en el área rural el nivel de actividad física (NAF) sea mayor, porque se realizan actividades agropecuarias, agroindustriales, extractivas y de silvicultura. En un año agrícola, las épocas de siembra y cosecha incrementan la jornada laboral entre dos y cuatro horas más que en el área urbana; además, en el área rural el trabajo manual es mayor, sobre todo en unidades campesinas no industrializadas.

Por ello, para asignar el NAF y obtener el gasto energético, como indica el Cuadro 4, se tomaron en cuenta las características de cada región y sus necesidades por piso geográfico. Para todo el país se utilizaron los valores medios del NAF obtenidos de los distintos pisos geográficos, siendo éstos de 0.15 (área urbana) y 0.40 (área rural). Utilizar distintos niveles de actividad física, diferenciándolos por piso geográfico, es importante, ya que el requerimiento energético varía más en función al nivel de actividad física que en función a la talla real de la población³⁰.

Cuadro 4
Asignación del nivel de actividad física por piso geográfico

DEPARTAMENTOS	La Paz, Oruro y Potosí		Cochabamba, Chuquisaca y Tarija		Pando, Beni y Santa Cruz	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural
NAF	0,25	0,45	0,20	0,40	0,15	0,35
CARACTERÍSTICA DE LA REGIÓN	Un clima frío implica mayor gasto de energía para mantener el cuerpo a temperatura corporal normal		En climas templados disminuye el gasto energético para mantener la temperatura corporal. El movimiento y actividad física ya implican mantener una temperatura corporal normal		Los climas cálidos requieren de aún menor gasto energético para mantener la temperatura corporal. Un cuerpo en estado de reposo se aclimata sin requerir de un mayor gasto energético.	
PRODUCCIÓN	La producción agrícola realizada en el altiplano requiere de mayor actividad física, a diferencia de otras actividades agrícolas		El trabajo agrícola requiere menor esfuerzo, tanto por el tipo de productos como por el clima propio del lugar		El clima favorece a la vegetación y hace que la producción sea más fácil. Asimismo, el Oriente del país tiene la característica de ser más industrializado	

Fuente: Elaboración de los autores

³⁰ El nivel de actividad física puede representar entre 25 y 40% del total del requerimiento energético.

6.2.3. Gasto energético

Al gasto energético obtenido según la ecuación (6) se le agrega la proporción destinada al desperdicio, el cual incluye cáscaras, huesos y servicios de comida, entre otros. Este gasto energético es de 0.25 al ser el recomendado³¹ para países en vías al desarrollo, ya que se espera que en estos países el desperdicio represente lo mínimo. Para obtener la conversión del requerimiento energético a gramos, se tiene:

$$E \text{ kcal} * \frac{100 \text{ gr}}{E' \text{ kcal}} = \text{energía en gr} \quad (10)$$

El valor estimado por la ecuación (10) será expresado posteriormente, haciendo conversiones³², en toneladas métricas, debido a que el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) las utiliza como unidad de medida para las matrices insumo-producto, lo cual se explicará al analizar la oferta.

6.3. Oferta

Siguiendo la metodología del INE para la cuantificación de la oferta dada la ecuación (2), se utilizaron las matrices insumo-producto³³, desde 1990 hasta 2012. Debido a que, al hacerse el cambio de base dentro de los clasificadores hay variaciones estadísticas, quedando una ruptura en el periodo 1990-2005 y 2006-2012, al usar las MI-P se utilizaron datos agregados, quedando la serie completa y coherente. Se los desagregó hasta llegar a producto revisando la manera en la que se han agregado. Para ello se utilizaron varios clasificadores; asimismo, se eliminó la parte del producto destinada a consumo intermedio, como la producción agrícola que no tiene aporte nutricional³⁴.

31 El desperdicio generado por el proceso de la preparación de alimentos y el de desechos, como huesos, cáscaras y otros, no ha sido medido en el país; es una aproximación calculada por expertos de la FAO. Sin embargo para tener una idea el desperdicio cuantificado en EEUU bordea el 50%.

32 TM=Toneladas métricas diarias necesarias

$$\frac{\text{gr}}{1000 \text{ kg}} * \frac{\text{kg}}{1000 \text{ TM}}$$

33 Para la elaboración de las matrices insumo producto se cuenta con resultados estadísticos provenientes de censos, encuestas y registros administrativos, obtenidos de fuentes estadísticas muy diferentes: encuestas industriales, encuestas de gasto de los hogares, encuestas de inversión, estadísticas de comercio exterior, etc. Todas ellas están sujetas a los errores e insuficiencias propias de esta clase de eventos en medios como el nuestro. Las matrices insumo-producto tienen un alto grado de agregación, para la cual se utilizan todos los clasificadores de cuentas nacionales, por lo que es información completa.

34 A la producción se le descontó: fibras, café y cacao, forrajes, flores, servicios prestados a los PANI y mejora de tierras y desarrollo de plantaciones del grupo productos agrícolas industriales, como ser la producción de: tabaco en rama, fibra de algodón, hojas de té, servicios prestados a PAI, mejora de tierras y desarrollo de plantaciones del

Al utilizar las MI-P se obtuvieron los datos de las importaciones, exportaciones y el sub-registro, para poder analizar la dependencia del sector externo. El tratamiento para cada año se realizó de manera individual, revisando los datos de cuentas nacionales del INE considerados datos no públicos, para lo cual se trabajó en coordinación con dicho departamento estadístico. Por ello, lo que se hizo, a grandes rasgos, fue tomar la producción interna (P) destinada para el consumo³⁵, de la cual se excluyeron las exportaciones (X) y se añadieron las importaciones (M) y el sub-registro³⁶.

Siguiendo la metodología de la elaboración de las matrices insumo-producto, para estimar el valor monetario del bien alimentario se utiliza el valor de la producción, debido a que las unidades de medida para los productos son tonelada, kilo fino, barril, metro cúbico, entre otros, y éstos no son aditivos. Es decir que, para agregarlos, es necesario encontrar una unidad de medida común.

$$V = Q \times P \quad (10)$$

Donde:

V = Valor monetario del bien alimentario

Q = Cantidad del bien analizado

P = Precios constantes de 1990

Las cantidades se miden en magnitudes físicas y se expresan de acuerdo al número de unidades producidas o según unidades de medida (longitud, peso, entre otros). El precio es el monto de dinero entregado por cada unidad de un producto, por lo que todas las variables a usar en el modelo se miden a precios constantes.

7. Principales resultados

Habiendo sido establecidos los criterios de operacionalización utilizados, en esta sección se muestra la brecha kilocalórica estimada para el periodo trabajado, seguida por las brechas

grupo productos agrícolas no industriales. También: extracción de maderas, desarrollo de plantaciones y otros productos de silvicultura del grupo silvicultura y pesca. Para cada año se descontaron distintos niveles, debido a que, como es de esperarse, la participación de estos grupos fluctúa en el tiempo.

35 Se toma la producción interna de alimentos, descontando el consumo intermedio y el destinado a actividades pecuarias.

36 El sub-registro es una variable proxy al contrabando, que utiliza el INE.

con los tres grupos de alimentos. Dados estos resultados, los criterios de evaluación permitirán sacar conclusiones sobre el estado de la SA en el país, su relación con el comercio exterior y los posibles escenarios futuros.

7.1. Brecha kilocalórica

El Cuadro 5 muestra los requerimientos energéticos *per cápita* diarios, separados por género y a nivel departamental, para los años 2001 y 2012. El requerimiento promedio de energía para el año 2001 es de 2395 kcal, y varía marginalmente para el año 2012 a 2386 kcal. Esto puede atribuirse a la migración rural-urbana de los últimos treinta años.

Romero (2012) muestra que en 1976 la población urbana era el 41.3% de la población nacional, pasando a un 60.6% en 1996. Según los datos de los censos, ya en el 2001 el 62% de la población vivía en el área urbana, y para el año 2012 se incrementa a 67%. Podemos notar que Bolivia presenta un proceso de urbanización creciente, debido a que en el área rural el requerimiento calórico es mayor al registrado en el área urbana. La migración campo-ciudad, en agregado, genera que el requerimiento promedio disminuya.

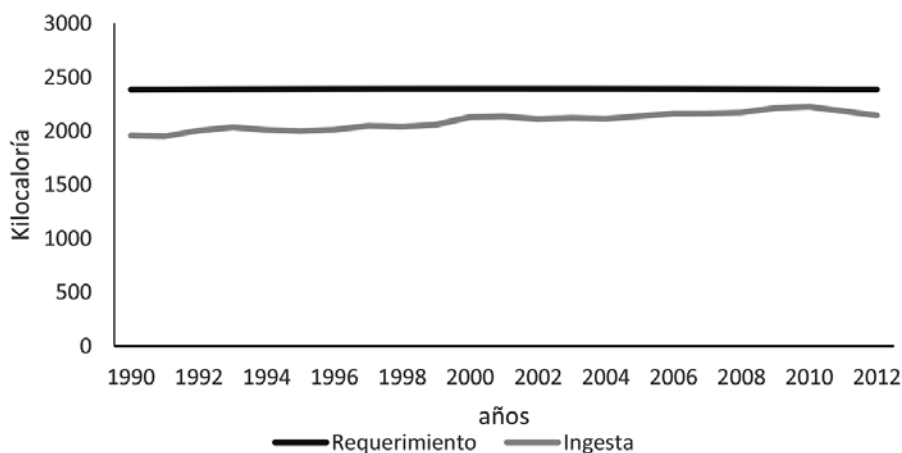
Cuadro 5
Requerimientos calóricos

	2001 Kcal/día			2012 Kcal/día		
	Hombres	Mujeres	Promedio	Hombres	Mujeres	Promedio
Bolivia	2647	2143	2395	2637	2134	2386
La Paz	2648	2144	2396	2648	2144	2396
Oruro	2664	2156	2410	2653	2148	2401
Potosí	2729	2210	2470	2711	2195	2453
Cochabamba	2640	2137	2389	2620	2121	2371
Chuquisaca	2690	2178	2434	2673	2164	2419
Tarija	2632	2131	2382	2627	2127	2377
Pando	2649	2145	2397	2649	2145	2397
Beni	2593	2100	2347	2586	2090	2338
Santa Cruz	2576	2085	2331	2563	2075	2319

Fuente: Elaboración de los autores en base a los valores estimados con POPER

El Gráfico 3 ilustra la brecha existente entre el requerimiento calórico calculado y la oferta alimentaria ponderada en kilocalorías (Anexo 4). Como puede verse, el año 1990 la ingesta efectiva de un boliviano promedio era de 1959 (kcal/día), mientras el requerimiento era de 2386 (kcal/día). Para el año 2000, la ingesta efectiva alcanza 2130 (kcal/día) y el requerimiento se incrementa a una menor tasa, hasta llegar a ser 2395 (kcal/día). Y el año 2012, la ingesta llega a 2146 (kcal/día) y el requerimiento a 2386 (kcal/día).

Gráfico 3: Brecha calórica 1990-2012



Elaboración de los autores en base al requerimiento kilocalórico simulado en comparación a la oferta alimentaria encontrada por medio de los datos extraídos de las matrices insumo-producto del INE (1990-2012) y ponderada en kilocalorías, descontando el desperdicio de ésta.

Como puede apreciarse en el Gráfico 3, es de esperar que, *ceteris paribus*, la ingesta llegue a abastecer al requerimiento, si continúa creciendo como hasta la actualidad. Sin embargo, dados los escenarios establecidos, la oferta no abastece el requerimiento ($0 < \bar{e}$), lo cual coloca al país en una situación de requerimiento calórico insuficiente. Los valores pueden verse en el Anexo 4. El siguiente acápite revisará los requerimientos nutricionales, y uniendo estos criterios se establecerá el escenario existente en el país.

7.2. Brechas nutricionales

Para este apartado, el requerimiento energético fue distribuido según la cantidad de ingesta óptima por tipo de alimento (carbohidratos, proteínas, frutas y verduras) y ponderado en valor, para ser comparado con la oferta de dichos grupos de alimentos.

Se analiza la oferta alimentaria por grupo de alimento, en la que se muestra la oferta siguiendo la ecuación (10), es decir, incluidas las importaciones. Pero también se ha proyectado la producción interna sin las exportaciones, para aportar al análisis la importancia del sector externo en la seguridad alimentaria boliviana.

7.2.1. Hidratos de carbono³⁷

Como puede verse en el Gráfico 4, para el grupo de hidratos de carbono se cumplen las dimensiones de disponibilidad, soberanía alimentaria, estabilidad y consumo y utilización biológica. Sin embargo, existe dependencia hacia la producción extranjera, debido a las preferencias de los agentes hacia el consumo de estos alimentos, específicamente cereales y azúcares, ambos dentro del grupo de carbohidratos.

Evalutando la disponibilidad, se observa que la oferta (producción e importación) abastece el requerimiento mínimo, y que el país no tiene déficit en este grupo de alimento. Bajo el supuesto de *ceteris paribus*, la producción se incrementa, pero, dado el crecimiento poblacional, a nivel *per cápita* se mantiene constante. La oferta alimentaria tiene una tendencia creciente; a pesar de que el requerimiento sea abastecido con la producción, se recurre a la importación.

Dado esto, se podría concluir que las importaciones no son necesarias para abastecer el requerimiento mínimo; sin embargo, se observa que la participación de las importaciones en la oferta ha sido creciente todos estos años. En 1990 las importaciones representaban tan sólo el 19% de la oferta, en el año 2000 llegan a 52%, y luego fluctúan levemente hasta el año 2012, año en el que representan el 51%.

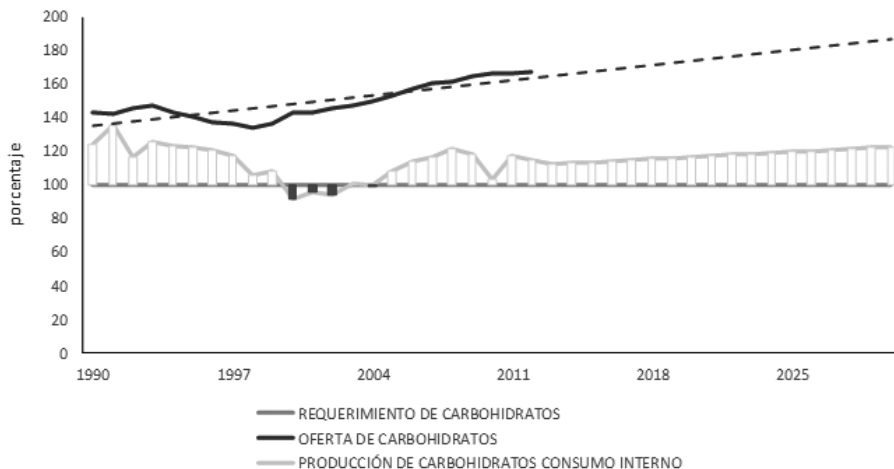
Con respecto a la soberanía alimentaria, existe autarquía, ya que el requerimiento es abastecido con un excedente del 23% por la producción interna, lo cual implica a su vez que la producción interna es suficiente. El comercio exterior existente favorece la soberanía alimentaria, ya que se realiza por razones de ventajas comparativas, diversificando la oferta interna.

Respecto a la estabilidad de la oferta de carbohidratos en el tiempo, como puede verse, si bien la producción interna tiene algunas fluctuaciones, en los años 2000-2003 la producción

³⁷ También llamados azúcares, son compuestos que proporcionan energía al cuerpo. Están presentes en alimentos de origen vegetal, por ejemplo, cereales, que incluyen al arroz, trigo y maíz; tubérculos, como la papa y el camote, y algunas frutas, como la manzana, la guayaba y el plátano.

cae abruptamente (91%, 95% y 94%, respectivamente), pero esta disminución se recupera representando el año 2012 el 115% del requerimiento. Si se incluyen las importaciones, la oferta alimentaria es estable en el tiempo.

Gráfico 4: Brecha de carbohidratos, 1990-2030



Fuente: Elaboración de los autores en base a la oferta de carbohidratos *per cápita* encontrada por medio de los datos extraídos de las matrices insumo-producto del INE (1990-2012), en comparación con el requerimiento, dados el nivel calórico simulado y el requerimiento según el plato de Harvard adaptado para el país, ambos ponderados según la metodología del INE y proyectados en base a las proyecciones del BCB (2013-2030).

En cuanto a la dimensión de *consumo y utilización biológica*, la línea alimentaria nutricional, entendida como el requerimiento de carbohidratos, es inferior a la oferta, ya que ésta la supera en 42%, 43% y 66% en los años 1990, 2000 y 2012, respectivamente. Dados los datos proyectados, se espera que para el año 2030 la producción que se destina para el consumo interno exceda en 22% el requerimiento.

7.2.2. Proteínas³⁸

Como puede verse en el Gráfico 5, en el grupo de proteínas no se cumplen las dimensiones de disponibilidad, soberanía, estabilidad y consumo y utilización biológica. Las proteínas de origen animal y sus derivados han incrementado estos últimos años, debido a la producción del Oriente, por lo que es muy posible que el requerimiento de carnes se abastezca, debido al

³⁸ Son sustancias que permiten el crecimiento del organismo. La mayor parte se encuentran en alimentos de origen animal y en plantas leguminosas.

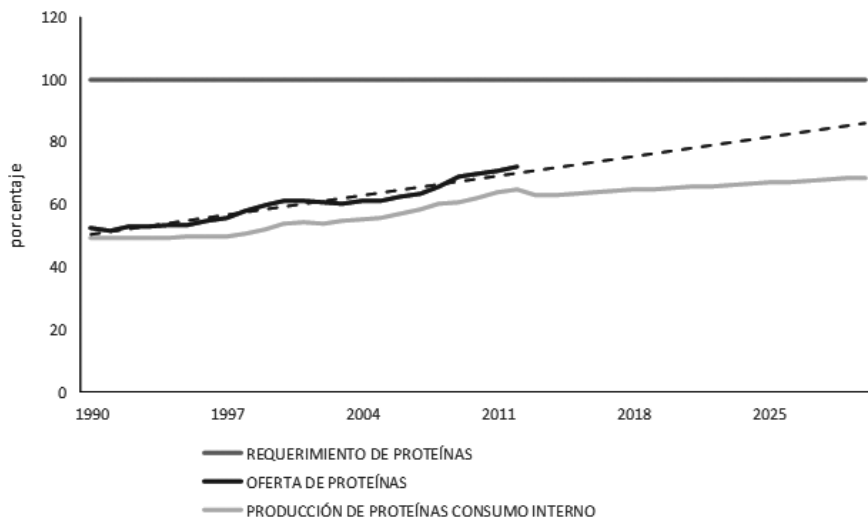
crecimiento en ganado vacuno, lo que conllevará a que la producción de lácteos también se amplíe.

La dimensión de disponibilidad de alimentos no se cumple. Puede verse que la oferta alimentaria de proteínas, es decir, el agregado de la producción que se destina al consumo interno y las importaciones, muestra cómo la brecha disminuye con el tiempo, pero sin llegar a cerrarse para el año 2030, asumiendo *ceteris paribus*.

Respecto de la soberanía, a pesar de no existir autarquía, evaluando el comercio exterior puede apreciarse que, en lo que respecta a leguminosas, la variación de la oferta que depende de la producción interna estará en función de la demanda externa y sus fluctuaciones. Las proteínas de origen vegetal son significantes dentro de la producción, pero del total producido, el 80% se destina principalmente a torta de soya, y la mayoría se exporta para alimento balanceado de ganado en el exterior; el 20% restante se convierte en aceite y de esta cantidad, sólo una quinta parte se queda en el país.

Para evaluar la estabilidad, si bien no existe disponibilidad de alimentos, la producción interna no presenta grandes fluctuaciones, así como también la oferta. La producción interna representa el 49% para el año 1990 y se incrementa a una tendencia creciente debido a la favorable evolución de la matriz productiva alimenticia, por trasladarse al Oriente. El año 2000 representa el 53%, y el 65% el año 2012. Las importaciones no tienen una participación muy alta: en 1990 representaban el 3% del requerimiento, en el año 2000 se incrementan hasta un 8%, y el año 2012, un 7%.

Respecto al consumo y utilización biológica, nutricionalmente, para los años 1990, 2000 y 2012, el déficit es de 48%, 39% y 28%, respectivamente. La producción interna responde a presiones internacionales y el sector industrial obtiene mayores utilidades en el mercado externo, por lo que se prioriza la exportación.

Gráfico 5: Brecha de proteínas, 1990-2030

Fuente: Elaboración de los autores en base a la oferta de proteínas *per cápita* encontrada por medio de los datos extraídos de las matrices insumo-producto del INE (1990-2012) en comparación con el requerimiento, dados el nivel calórico simulado y el requerimiento según el plato de Harvard adaptado para el país, ambos ponderados según la metodología del INE y proyectados en base a las proyecciones del BCB (2013-2030).

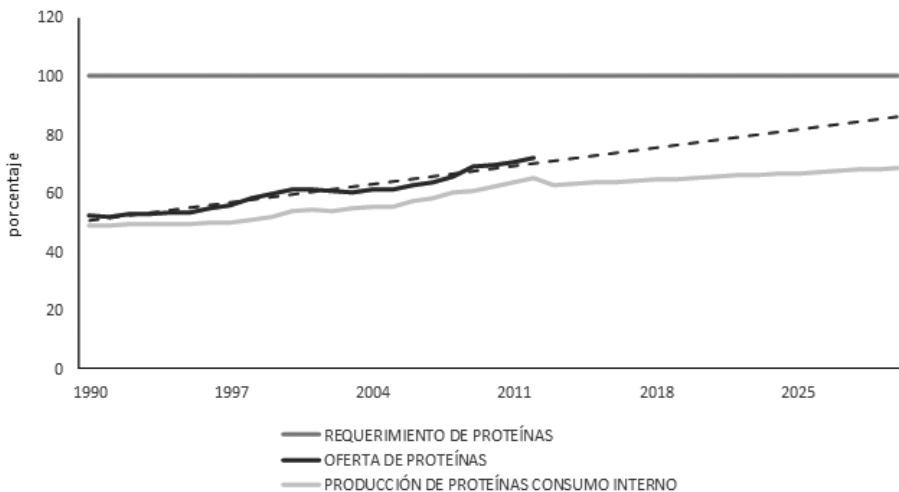
7.2.3. Frutas y verduras

Como puede verse en el Gráfico 6, no se cumplen las dimensiones de disponibilidad, soberanía, estabilidad y consumo y utilización biológica. Sin embargo, el boliviano promedio no tiene la costumbre de comer frutas y verduras, por lo que un incremento de la oferta no solucionaría, por sí solo, el problema nutricional que existe en el país. Las importaciones representan casi el 50% del total de la oferta interna, por lo que el país depende de la producción internacional para abastecerse, a pesar de cumplir con las condiciones climáticas para la producción de este tipo de alimentos.

Respecto a la disponibilidad, la oferta alimentaria (importaciones y producción destinada al consumo interno) abastece tan sólo el 13% del requerimiento mínimo de frutas y verduras, incrementándose en los años 2000-2003 hasta un 23%, debido a una mejora en la productividad de este tipo de cultivos. Sin embargo, debido a que la población no tiene la costumbre de ingerir estos alimentos, el incremento en la productividad se ve reflejado en el aumento de la exportación de este grupo de alimentos.

No existe soberanía alimentaria, ya que, al margen de no cumplirse la autarquía para el grupo de frutas y verduras hay un déficit de alimentos. La producción interna representa alrededor del 9% del requerimiento. Proyectando la producción bajo las condiciones actuales, para el año 2030 la producción cubrirá sólo un 10% del requerimiento. En 1990 las importaciones representan el 5% del requerimiento, aumentando hasta el año 2000, para mantenerse constantes hasta el 2003, representando 12% del requerimiento.

Gráfico 6: Brecha de frutas y verduras, 1990-2030



Fuente: Elaboración de los autores en base a la oferta de frutas y verduras *per cápita* encontrada por medio de los datos extraídos de las matrices insumo-producto del INE (1990-2012) en comparación con el requerimiento, dados el nivel calórico simulado y el requerimiento según el plato de Harvard adaptado para el país, ambos ponderados según la metodología del INE y proyectados en base a las proyecciones del BCB (2013-2030).

Tanto para la dimensión de estabilidad como para la de consumo y utilización biológica es necesario que la dimensión de disponibilidad se cumpla. Al no ser así, se puede concluir que, si bien la producción no fluctúa en el tiempo, manteniéndose constante alrededor del 10% del requerimiento nutricional mínimo, ésta deberá incrementarse. Por su parte, a nivel nutricional el requerimiento de frutas y verduras sobrepasa la oferta alimentaria, con 86%, 76% y 82%, para los años 1990, 2000 y 2012, respectivamente.

8. Conclusiones

A nivel calórico, la oferta interna no abastece el requerimiento energético. Los escenarios encontrados para el país muestran que no se genera autarquía en el país, provocando una importante, aunque decreciente, dependencia externa. Por grupo de alimento, sólo el de carbohidratos cumple con las dimensiones estudiadas. Tanto el grupo de proteínas como el de frutas y verduras no cumplen con ninguna de las dimensiones.

Para el grupo de carbohidratos, la oferta alimentaria interna, sin necesidad de importaciones, cumple con el requerimiento nutricional mínimo. Sin embargo, es de notar la dependencia que se tiene hacia el sector extranjero, debido a las preferencias de los bolivianos por el consumo de este grupo de alimentos.

El grupo de proteínas prioriza las exportaciones, debido a que los precios internacionales generan mayores utilidades al sector industrial, desabasteciendo el mercado interno y generando déficit en el requerimiento nutricional.

Tradicionalmente los bolivianos no están acostumbrados al consumo de frutas y verduras. Las importaciones de éstas representan alrededor del 50% de la oferta interna. Este grupo está caracterizado por una producción de alimentos insuficiente, compensada por la importación; aun así, no se llega a abastecer el mínimo.

Artículo recibido en: 15 de julio de 2014

Aceptado en: 18 de septiembre de 2014

Referencias

1. Barret, C. (2002). "Food security and food assistance programs". Capítulo 40 del Handbook of Agricultural Economics, Volumen 2.
2. Banco Mundial (1986). *Poverty and Hunger: Issues and Options for Food Security in Developing Countries*. Washington DC.
3. Conferencia Mundial de los Pueblos sobre el Cambio Climático y los Derechos de la Madre Tierra, CMPCC (2010). Discurso y documentos seleccionados. Cochabamba, Bolivia.
4. De la Vega, A. (2004). "Seguridad alimentaria". diciembre 2, 2004, de Gestipolis. Disponible en:
<http://www.gestipolis.com/canales3/ger/segalim.htm>
5. Deaton, A. (1997). *Understanding consumption*. Oxford: Clarendon Press.
6. Elmadfa, I. y C. Leitzmann (1990) *Ernaehrung des Menschen*, Ulmer.
7. FAO (1983). *World Food Security: a Reappraisal of the Concepts and Approaches*. Director General Report, Rome.
8. FAO/OMS/UNU (1985). "Necesidades de energía y proteína". Informe de una reunión consultiva conjunta FAO-OMS-UNU de expertos. Organización Mundial de la Salud. Serie de informes técnicos. OMS, Ginebra.
9. FAO/WHO/UNU (2001). *Human Energy Requirements*.
10. FAO (2001). *The State of Food Insecurity in the World*.
11. FAO (2001). Perfiles nutricionales por países: Bolivia.
12. FAO/PMA(2002). Análisis y cartografía de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria en Bolivia.
13. FAO/OMS (2004). Principios y aplicación de las nuevas necesidades de energía según el Comité de Expertos.
14. FAO (2006). "Seguridad alimentaria". Informe de Políticas.
15. FAO (2008). "Metodología de la FAO para medir la privación de alimentos: Actualizando las necesidades energéticas mínimas".

16. FAO (2013). "El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo: Las múltiples dimensiones de la seguridad alimentaria".
17. Gros, R. y H. Schoeneberger (2002). *Las cuatro dimensiones de la seguridad alimentaria y nutricional: definiciones y conceptos*. GTZ.
18. Haquim, D. (2009). *Seguridad alimentaria*. pp. 244-260.
19. Haddinott, J. (1999). "Operationalizing household food security in development projects: an introduction." In: Technical guide for food security. Washington.
20. IFPRI (1995). *La mujer: la clave de la seguridad alimentaria*.
21. Izquierdo, S. (2014). *Evaluación del crecimiento de niños y adolescentes en Bolivia* (no publicado).
22. Instituto Nacional de Estadística (s/f). Metadato de cuentas nacionales. Metodología insumo-producto.
23. Ismail, N., S. Chee, R. Roslee y H. Zawiah (1998). *Predictive equations for the estimation of basal metabolic rate in Malaysian adults*. Malasia.
24. Mallea, I. (2010). *Situación actual y prioridades básicas de la seguridad alimentaria nutricional en Bolivia*. Mayo, 27.
25. Ormachea, E. (2010). "Soberanía y seguridad alimentaria en Bolivia: políticas y estado de la situación". *Análisis*, 4 (4), 11-13.
26. Romero, C. (2012). *Crisis, seguridad y soberanía alimentaria en América Latina y Bolivia: de las causas y efectos a las políticas públicas*. La Paz: KIPUS.
27. Rosegrant, M.W., C. Ringler, S. Msangi, S.A. Cline y T.B. Sulser (2005). *International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade (IMPAC-WATER): Model Description*. (falta editorial lugar)
28. Salcedo, S. (2005). Políticas de la seguridad alimentaria en los países de la Comunidad Andina. *Marco teórico de la Seguridad Alimentaria*.
29. Seckler, D., U. Amarasinghe, D. Molden, R. de Silva y R. Barker (1998). "World water demand and supply, 1990 to 2025: escenarios and issues". *Research Report N° 19*, International.
30. Shapouri, S. y S. Rosen (2005). Food Security Assesment. Electronic Outlook Report from the Economic Research Service. GFA-16.

31. Schofield, W, E. Schofield y W. James (1985). Predicting basal metabolic rate: new standards and review of previous work.
32. UDAPE (2007). Estado del arte de la seguridad alimentaria nutricional boliviana.
33. UNICEF (1990). *The State of the world's children 1990*.
34. Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka. FAO. (1993). The World Food Model-Model Specifications ESC/M/93/1.

Anexo 1

Tipos de índices para cuantificar la seguridad alimentaria

Salcedo (2005) presenta algunas de las aproximaciones propuestas en la literatura para medirlo, considerando tanto medidas sobre la insuficiencia de ingreso y aspectos nutricionales, como medidas antropométricas. El indicador más usado para medir el estado de la IA en el mundo es la prevalencia de la subnutrición (FAO 2003) (Salcedo, 2005).

- Indicadores relacionados con la salud:

Porcentaje de niños con bajo peso al nacer (menos de 2 500 g);

Porcentaje de niños menores de 5 años con desnutrición;

Porcentaje de escolares de 7 años con déficit de talla para la edad en relación con los valores de referencia;

Tasas de mortalidad infantil y pre-escolar;

Porcentaje de adultos con déficit energético crónico, según el Índice de Masa Corporal (IMC).

- Indicadores e instrumentos recomendados por la FAO (2013):

Instrumento de “diversidad alimentaria”³⁹. Este instrumento usa un método de recordatorio cualitativo y abierto para recopilar información sobre todos los alimentos consumidos a lo largo de las 24 horas precedentes a la encuesta⁴⁰, los cuales se clasifican posteriormente en grupos de alimentos normalizados;

La nueva Escala del Hambre en los Hogares (HHS) es un indicador para evaluar el hambre en zonas con gran IA⁴¹;

39 La diversidad alimentaria, se define como el número de grupos de alimentos consumidos durante un periodo determinado.

40 El cuestionario puede realizarse tanto a nivel individual como a nivel de los hogares. En la guía se describe cómo adaptar la herramienta a los sistemas alimentarios locales. En los análisis se incluye el cálculo de los valores de diversidad alimentaria, de los porcentajes de hogares o individuos que consumen ciertos grupos de alimentos con interés nutricional (por ejemplo; la vitamina A) y de los patrones de diversidad alimentaria. La información generada a partir del instrumento de la diversidad alimentaria es particularmente útil para desarrollar políticas agrícolas y programas de nutrición eficaces para proporcionar y promover alimentos nutritivos con el fin de garantizar la seguridad alimentaria y nutricional. Además, el instrumento puede usarse con rapidez y facilidad, y puede integrarse fácilmente en los protocolos de evaluación del impacto.

41 Elaborada por el proyecto de Asistencia Técnica sobre Alimentos y Nutrición (FANTA) en colaboración con la FAO.

La Escala del Componente de Acceso de la IA en el hogar (HFIAS) (inglés) - compuesta por nueve preguntas - sirvió de base para la HHS. La HFIAS no ha sido validada para su uso transcultural;

La Escala Latinoamericana y Caribeña de SA (ELCSA) un instrumento de medición normalizado y validado de uso generalizado en América Latina y el Caribe, se está adaptando en la actualidad para uso en otras partes del mundo.

Anexo 2

Distribución del nivel de actividad física según área geográfica

Tabla A2.1
Residencia urbana con actividad ligera

ACTIVIDAD	Tiempo (horas)	Costo de energía	Tiempo x Costo	Nivel de actividad física
Dormir	7	1	7	
Comer	1	1,5	1,5	
Cuidado personal (vestirse, bañarse)	1	1,5	1,5	
Movilizarse en autobús	2	1	2	
Caminar y/o levantar objetos ligeros	2,5	3	7,5	
Sentarse	6	1,5	9	
Realizar tareas domésticas	1,5	3,0	4,5	
Ejercicio aeróbico de baja intensidad	0,5	3,0	1,5	
Actividades de ocio (ver la televisión, leer)	2,5	1,2	3	
TOTAL	24	19,9	37,5	1,56

Tabla A2.2
Residencia urbana con actividad más que ligera

ACTIVIDAD	Tiempo (horas)	Costo de energía	Tiempo x Costo	Nivel de actividad física
Dormir	7	1	7	
Comer	1	1,5	1,5	
Cuidado personal (vestirse, bañarse)	1	2	2	
Movilizarse en autobús	7	2,8	19,6	
Caminar y/o transportar objetos ligeros	2,5	2,5	6,3	
Sentarse	3	1,6	4,8	
Realizar tareas domésticas	2,5	1,2	3	
TOTAL	24	12,6	44,2	1,84

Tabla A2.3
Residencia rural con actividad ligera

ACTIVIDAD	Tiempo (horas)	Costo de energía	Tiempo x Costo	Nivel de actividad física
Dormir	7	1	7	
Comer	1	1,5	1,5	
Cuidado personal (vestirse, bañarse)	1	2	2	
Movilizarse en autobús	8	2,5	20	
Caminar y/o transportar objetos ligeros	0,5	5	2,5	
Sentarse	1,5	1,5	2,25	
Realizar tareas domésticas	3	2,2	6,6	
Actividades de ocio (ver la televisión, leer)	2	1,2	2,4	
TOTAL	24	16,9	44,3	1,8

Tabla A2.4
Residencia urbana con actividad más que ligera

ACTIVIDAD	Tiempo (horas)	Costo de energía	Tiempo x Costo	Nivel de actividad física
Dormir	7	1	7	
Comer	1	2	2	
Cuidado personal (vestirse, bañarse)	1	1,5	1,5	
Movilizarse en autobús	2	2,1	4,2	
Caminar y/o levantar objetos ligeros	2	4,2	8,4	
Sentarse	2	3,6	7,2	
Realizar tareas domésticas	3,5	2,3	8,1	
Ejercicio aeróbico de baja intensidad	3,5	1,6	5,6	
Actividades de ocio (ver la televisión, leer)	2	1,6	3,2	
TOTAL	24	19,9	47,2	1,96

Anexo 3

Conversión de la oferta de valor a kilocalorías

Para comparar el requerimiento energético per cápita, con la oferta medida en valor, se realizan las siguientes conversiones:

Debido a que, para contabilizar la oferta se usaron las matrices insumo producto del INE, se tomó la metodología del para que estos datos tengan la misma unidad de medida; por lo que dada la ecuación (1):

$$\frac{v}{P} = tn$$

Como la serie es anual para tener la ingesta calórica diaria, se tiene:

$$\frac{tn}{365} = tn \text{ día}$$

Dado que 1tn = 1000000 gr, la conversión genera:

$$gr = tn \text{ día} * 1000000$$

Por último, dado:

$$E' kcal = \text{Kilo caloría del producto cada } 100 \text{ gr}$$

Se tiene:

$$kcal = gr \text{ día} * \frac{E'}{100 \text{ gr}}$$

Tabla A3.1
oferta anual en kcal

año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
kcal	1959	1953	2006	2036	2012	2001	2014	2050	2042	2060	2130	
año	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
kcal	2136	2111	2122	2115	2138	2163	2165	2172	2215	2227	2187	2146

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4

Valores de la ingesta y el requerimiento energético

Tabla A4.1
Brecha Calórica 1990-2012

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Requerimiento	2386	2387	2388	2389	2390	2391	2392	2392	2393	2394	2395
Ingesta	1959	1953	2006	2036	2012	2001	2014	2050	2042	2060	2130

Año	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Requerimiento	2396	2395	2394	2393	2392	2392	2391	2390	2389	2388	2387	2387
Ingesta	2136	2111	2122	2115	2138	2163	2165	2172	2215	2227	2187	2146

Fuente: Elaboración de los autores en base al requerimiento kilocalórico simulado en comparación a la oferta alimentaria encontrada por medio de los datos extraídos de las matrices insumo-producto del INE (1990-2012) y ponderada en kilocalorías, descontando el desperdicio de ésta.

REVISTA LATINOAMERICANA DE DESARROLLO ECONÓMICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIO ECONÓMICAS DE LA
UNIVERSIDAD CATÓLICA BOLIVIANA SAN PABLO
LA PAZ-BOLIVIA

Sobre la revista

La Revista Latino Americana de Desarrollo Económico (LAJED, por sus siglas en inglés) fue presentada por primera vez en septiembre de 2003, por el Instituto de Investigaciones Socio-Económicas de la Universidad Católica Boliviana San Pablo, como iniciativa de un grupo de expertos preocupados por la difusión de investigación e información relevantes que apoyen a las políticas públicas y al sector académico.

La revista genera dos números por año, los mismos que son publicados en mayo y noviembre. Sin embargo, existen publicaciones no periódicas correspondientes a números especiales, cuyos artículos obedecen más a la necesidad de información y/o análisis actualizado y a la coyuntura nacional y regional en un momento del tiempo.

La revista tiene la **misión** de investigar la realidad económica y social de Bolivia y la región, con el **objetivo** de generar debate en la sociedad civil y aportar criterios técnicos a los diversos hacedores de políticas públicas.

Los trabajos que se publican son originales y de rigor académico-científico, los cuales cubren una amplia gama de temas socio-económicos; trabajos principalmente de naturaleza teórica y aplicada centrados en problemas estructurales y coyunturales de América Latina y el mundo. En estos últimos años las principales líneas de investigación que se han abordado son:

1. Desarrollo económico
2. Análisis macroeconómico
3. Diseño de políticas públicas
4. Políticas de integración comercial
5. Políticas de integración energética
6. Cambio climático y
7. Análisis sociológico de la realidad

Actualmente las nuevas exigencias del medio han originado que se planteen nuevas líneas de investigación, como:

1. Cohesión social
2. Crecimiento inclusivo
3. Economía de la felicidad
4. Economía de la innovación, emprendedurismo y micro-financiamiento inclusivo
5. Energía, cambio climático, recursos naturales y crecimiento compatible

Finalmente, destacamos que la revista cuenta con el registro ISSN, y que los artículos publicados son realizados de acuerdo al sistema de clasificación del Journal Economic Literature (JEL), por lo cual obedecen a los estándares de calidad ISO690. A su vez, la revista LAJED está indizada a LATINDEX, REPEC y a SciELO Bolivia.

Instrucciones a los autores

Todos los autores que deseen remitir un documento para su publicación en la revista LAJED deben tomar en cuenta las siguientes especificaciones:

A. Consideraciones iniciales

1. Los conceptos emitidos en los manuscritos son de responsabilidad exclusiva del(os) autor(es). El envío del manuscrito a la LAJED implica que los autores acceden a que, en caso de aceptación para su publicación, la Universidad Católica Boliviana San Pablo pase a tener los derechos de autor para la divulgación, tanto en formato impreso como electrónico. Es permitida la reproducción total o parcial de los artículos de esta revista, desde que sea explícitamente citada la fuente completa.
2. Los documentos enviados para su publicación en la revista deben ser originales e inéditos. El envío de un documento a la revista debe suponer que no ha sido publicado y o sometido a consideración para ser publicado en otro medio.
3. Se acepta la publicación, previa evaluación de artículos de discusión y difusión del conocimiento, no debiendo excederse del 20 por ciento del total de publicaciones en la revista.

4. Las colaboraciones serán evaluadas en forma anónima por especialistas en la materia, atendiendo a aspectos como la calidad del artículo, su originalidad, la relevancia, la metodología y la literatura de sustento.
5. Los artículos recibidos serán analizados por el equipo editorial, el cual se reserva el derecho de definir si los mismos están de acuerdo al perfil de la revista. En caso negativo, los autores serán informados de la decisión tomada vía correo electrónico. En caso positivo, los autores serán notificados del recibo del artículo por correo electrónico, y el trabajo será enviado a los evaluadores (miembros del Comité Editorial Internacional). Según la revisión, serán devueltos a los autores para que, en un plazo no mayor a dos semanas, reenvíen el artículo con las correcciones sugeridas por el evaluador, especificando en una nota y/o carta los cambios realizados en relación a las observaciones efectuadas. Posteriormente el autor será notificado por el editor respecto a la evaluación final, aceptando o rechazando el artículo enviado.
6. Si un artículo es recibido hasta mayo del año en curso, será publicado en el número correspondiente al mes de noviembre siguiente; si se recibió hasta noviembre, su publicación entrará en el número de mayo del siguiente año, siempre y cuando la lista de espera de artículos no exceda el máximo de documentos para dicho número. De existir excedentes de artículos para un determinado número de LAJED, los mismos pasarán automáticamente a considerarse en un siguiente número, de haber sido aceptado el artículo.
7. Las ideas y opiniones emitidas en los artículos son de exclusiva responsabilidad de los autores, por lo que no necesariamente reflejan las opiniones del editor y/o de LAJED.

B. Proceso de revisión

La Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico (LAJED) es una revista arbitrada por pares bajo la modalidad “doble ciego”; los artículos son revisados al menos por dos evaluadores/as después de la evaluación del Consejo Editorial. Como norma general los evaluadores son miembros del Consejo Editorial Internacional y a partir de la Revista LAJED N°13 el proceso es dirigido por la Academia Boliviana de las Ciencias Económicas, como instancia independiente, con el objetivo de dotar de mayor imparcialidad y calidad técnica a los artículos presentados y evitar cualquier conflicto de intereses por parte de los autores, los evaluadores y la institución en referencia a aspectos generalmente de tipo económico, institucional o personal. A su vez cada artículo es enviado para su revisión y evaluación a un/a

especialista del ámbito pertinente un semestre antes de su publicación; es decir hasta mayo y noviembre de cada año con un margen de hasta un mes posterior a las fechas indicadas.

C. Formato del manuscrito

1. Los artículos pueden ser enviados en idioma español o inglés a los siguientes correos electrónicos: iisec@ucb.edu.bo y aherreraj@ucb.edu.bo. También se puede hacerlos llegar en algún medio magnético y manuscrito a: Instituto de Investigaciones Socio Económicas; Universidad Católica Boliviana San Pablo; Av. 14 de septiembre 5369, calle 7, Obrajes, La Paz, Bolivia. Casilla 4850.
2. El Instituto de Investigaciones Socio Económicas, se reserva el derecho a publicar artículos que estén escritos en idiomas diferentes al español o inglés, dependiendo la rigurosidad y pertinencia del mismo.
3. El documento debe presentarse en Microsoft Word, papel tamaño carta de 8.5 x 11 pulgadas, letra Times New Roman tamaño 12 e interlineado 1.5. Los cuadros y gráficos que se usen deberán añadirse también en un archivo Microsoft Excel para efectos de edición con los datos utilizados. Todas las páginas deben numerarse consecutivamente. Los títulos y subtítulos deben numerarse con números arábigos y en negritas (Ej. 1. ó 2 ... 1.1 ó 2.1). Ambos, títulos y subtítulos deben situarse a mano izquierda acorde al margen de la página.
4. La primera página debe contener la siguiente información: i) El título del documento (en español e inglés), ii) el nombre (s) del o los autores acompañado de un asterisco llamando a pie de página, el cual contenga información acerca de su afiliación (título, cargo, institución, dirección física y dirección de contacto). La primera página también debe contener un resumen en no más de 150 palabras en ambos idiomas (español e inglés). El o los código/s JEL (hasta 5 códigos pueden ser adjuntados al documento) y las palabras clave en ambos idiomas (español e inglés).
5. La siguiente página incluirá el título del estudio pero se omitirá la autoría, para asegurar el anonimato durante el proceso de evaluación.
6. La extensión del documento será de 35 páginas como máximo, incluidos: referencias bibliográficas, anexos, cuadros/tablas, figuras/ gráficos y fotografías.

7. Los pies de página serán enumerados consecutivamente acorde al texto como superíndice y en números arábigos. Los mismos deben estar en Times New Roman tamaño 10, interlineado sencillo y justificado.
 8. Las fórmulas deben ser procesadas en el editor de ecuaciones de Microsoft Word. También deben estar enumeradas consecutivamente de acuerdo al texto como: (1), (2), etc. a mano derecha conforme al margen de la página.
 9. Las figuras/gráficos, fotografías y cuadros/ tablas deberán seguir las normas APA y estar en alta definición para mejor edición de los mismos.
 10. Las referencias bibliográficas deberán seguir la normativa APA y se deberán numerar consecutivamente con números arábigos al lado izquierdo acorde al margen de la página y en orden alfabético.
- Para periódicos
Oates, W., P.R. Portney, and A.M. McGartland (1989). "The net benefit of incentive-based regulation: A case study of environmental standard setting". *American Economic Review* 79, pp 1233-42.
 - Para libros
Olson, M. (1965). *The Logic of Collective Action*, Cambridge. MA, Harvard University Press.
 - Para trabajos publicados en colecciones
Romer, C. D., and D. H. Romer (1989). "Does monetary policy matter? A new test in the spirit of Friedman and Schwartz". In O.J. Blanchard and S. Fischer, eds. *NBER Macroeconomics Annual: 1989*. Cambridge, MA. MIT Press.
 - Para documentos de trabajo
Caselli, F. and M. Morelli (2001). "Bad politicians". Working Paper 8532. Cambridge, MA. NBER.

Mayores referencias en: www.apa.org/journals y www.apastyle.org/electref.html

Para el Consejo Editorial Internacional

Los artículos de la revista LAJED deben ser sometidos a la evaluación de profesionales especializados en el tema objeto de cada artículo.

Todos los evaluadores dispondrán de una planilla en la que se registran todos los aspectos que a criterio del Comité Editorial deben cumplir de forma general los artículos para su publicación en la revista. El evaluador calificará el grado de cumplimiento de estos aspectos y emitirá al final una opinión sobre la calidad del artículo por escrito. Algunos aspectos que el evaluador deberá tomar en cuenta son:

1. Originalidad e innovación del artículo.
2. Pertinencia del artículo en relación a la coyuntura actual.
3. Claridad del texto, incluso para no expertos en el tema tratado (debe incluir en la evaluación la ortografía y la redacción, con el fin de mejorar la calidad del artículo).
4. Rigor científico y conclusiones fundamentadas del trabajo.
5. Todo comentario, objeción o crítica debe ser formulado claramente y por escrito.
6. La decisión final del árbitro, aceptando o rechazando el artículo, debe ser sustentada con los argumentos respectivos de manera escrita.
7. El evaluador debe tener presente que otros evaluadores del mismo artículo pueden tener diferentes niveles técnicos o puntos de vista, y que el editor tomará la decisión de publicarlo con base en informes con diferentes recomendaciones. Por lo tanto, es de gran utilidad para el editor la explicación de las causas de la decisión propuesta por el examinador.
8. Todos los artículos evaluados se deben entregar con las respectivas planillas y cartas del evaluador en un lapso no mayor de 90 días calendario, a partir de la recepción del mismo.

ISSN: 2074 - 4706

Página web:
www.ilsec.ucb.edu.bo

Universidad Católica Boliviana San Pablo