



**IMPACTO ECONÓMICO DE LAS  
MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE LA  
ESTRATEGIA DEPARTAMENTAL DE  
CAMBIO CLIMÁTICO (EDCC) DE  
SANTA CRUZ A 2050**

**DOCUMENTO  
DE TRABAJO**

**ENERO 2025**



**DOCUMENTO DE TRABAJO**

**ENERO, 2025**

## **CONSERVACIÓN ESTRATÉGICA**

### **IMPACTO ECONÓMICO DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE LA ESTRATEGIA DEPARTAMENTAL DE CAMBIO CLIMÁTICO (EDCC) DE SANTA CRUZ A 2050**

Luis Gonzales

Alfonso Malky

Sergio Bobka

Stefanie Rakela

Alejandra Gonzales

Veronica Chavez

Sergio Choque

Foto de portada: Andrés MacLean/Parque Nacional Noel Kempff Mercado.

Este informe fue elaborado para el Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz y fue posible gracias al apoyo financiero de la Embajada de Suecia y la Unión Europea. Queremos también extender nuestro agradecimiento a la Secretaría Municipal de Planificación para el Desarrollo y Medio Ambiente y la Dirección General de Medio Ambiente.

Las opiniones expresadas en esta publicación pertenecen exclusivamente a los autores y no necesariamente reflejan la opinión del Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz, la Embajada de Suecia ni de la Unión Europea.



# Índice

<b>Resumen Ejecutivo .....</b>	<b>1</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>2</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Antecedentes y estrategia metodológica.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Metodología de evaluación de impacto económico .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Determinantes de las emisiones de CO<sub>2</sub>eq en Santa Cruz .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Estimación del inventario de emisiones para Santa Cruz.....</b>	<b>5</b>
2.3.1. Sector energía.....	5
2.3.2. Sectores agropecuario , forestal y de cambio de uso de suelo .....	6
2.3.3. Resto de sectores .....	7
2.3.4. Resultados del inventario .....	7
<b>2.4. Pronóstico de emisiones hasta 2050 .....</b>	<b>8</b>
2.4.1. Sector energía.....	8
2.4.2. Sector agropecuario .....	9
2.4.3. Sector forestal y de cambio de uso de suelo .....	9
2.4.4. Resto de sectores .....	10
2.4.5. Emisiones pronosticadas .....	11
<b>3. Medidas para la reducción de emisiones .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1. Escenarios adicionales .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2. Antecedentes para el cálculo de costos .....</b>	<b>19</b>
3.2.1. Sector energía.....	19
3.2.2. Sector agropecuario .....	19
3.2.3. Sector forestal y de cambio de uso de suelo .....	20
3.2.4. Resto de sectores .....	22
<b>4. Análisis macroeconómico.....</b>	<b>22</b>

<b>5. Resultados de las medidas.....</b>	<b>25</b>
<b>5.1 Capacidad de mitigación de las medidas y costo eficiencia .....</b>	<b>25</b>
<b>5.2 Impacto de escenarios adicionales.....</b>	<b>28</b>
<b>5.3 Impacto económico de las medidas .....</b>	<b>33</b>
<b>6. Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>35</b>
<b>7. Bibliografía .....</b>	<b>38</b>
<b>Anexo metodológico .....</b>	<b>40</b>
Pronóstico de emisiones hasta 2050, por sector.....	40
Referencia Geográfica de los 3 escenarios .....	42
MEMO – Modelo de opciones de mitigación macroeconómica.....	44

## Índice de tablas

Tabla 1. Resumen de medidas elegidas de la EDCC.....	13
Tabla 2 Medidas relacionadas con reducción de deforestación .....	17
Tabla 3 Costos de implementación (USD por ha) .....	19
Tabla 4 Costo del manejo integral de bosques en la comunidad indígena El Cerro .....	21
Tabla 5 Costos de abatimiento .....	26
Tabla 6 Reducción adicional de pérdida de cobertura forestal .....	29
Tabla 7 Impacto adicional sobre la mitigación .....	31
Tabla 8 Costo adicional por implementación .....	32
Tabla 9 Ingresos por implementación .....	33

## Índice de figuras

Figura 1 Pérdida de cobertura forestal en Bolivia y Santa Cruz.....	5
Figura 2 Inventario de emisiones de Santa Cruz.....	7
Figura 3. Emisiones totales pronosticadas para Santa Cruz .....	11
Figura 4 Reducción de deforestación anual con la implementación de las medidas .....	17
Figura 5 Relación de la tasa de variación del producto de Bolivia y Santa Cruz.....	23
Figura 6 PIB en dólares de Santa Cruz y Bolivia y participación en el total .....	24
Figura 7 Capacidad de mitigación y costo eficiencia de las 13 medidas.....	25
Figura 8 Impacto total de las medidas sobre las emisiones en el departamento de Santa Cruz .	27
Figura 9 Impacto de la implementación de medidas en el nivel y tasa de crecimiento del PIB de Santa Cruz.....	34
Figura 10 Efecto de las medidas en el nivel del PIB de Santa Cruz.....	35

## Resumen Ejecutivo

Bolivia enfrenta desafíos debido a las consecuencias del cambio climático en sus departamentos y ecorregiones. El Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz (GADSC) ha desarrollado una política y estrategia para abordar estos efectos mediante medidas de adaptación, resiliencia y mitigación, buscando transformar y formular inversiones para el desarrollo de una economía sostenible.

Se seleccionaron 13 medidas en seis sectores: energía, movilidad, ganadería sostenible, residuos, áreas protegidas y sector forestal-cambio y uso de suelo. Se evaluó el impacto económico de estas medidas utilizando un modelo de equilibrio dinámico ajustado para el departamento de Santa Cruz, considerando emisiones del escenario base, reducción de emisiones y costos de inversión e implementación de estas medidas.

A partir del análisis realizado, se estimó que la implementación de las 13 medidas entre 2024 y 2050 lograría un crecimiento del nivel del producto de Santa Cruz. Estimado en aproximadamente 4.5% y evitaría la generación de 299 millones de toneladas de  $CO_2eq$  ( $tCO_2eq$ ).

El costo total de implementar estas medidas, en valor presente neto, sería igual al 11.9% del PIB de Bolivia y al 34.7% del PIB de Santa Cruz. Si se implementan todas las medidas, se reducirían las emisiones departamentales en un 50%, transicionando de 144 millones a 72 millones de toneladas de  $CO_2eq$  para 2050. En términos acumulados, esto representaría una reducción de 1,121 millones de toneladas de  $CO_2eq$  durante el periodo 2024-2050.

El estudio también analizó la implementación de proyectos enmarcados en el Mecanismo de Cooperación por Resultados (MCR). Estos proyectos podrían evitar la generación de 69,5 millones de toneladas de  $CO_2eq$  y generar hasta USD 1,390 millones adicionales, mediante la reducción del cambio de uso del suelo y la promoción de actividades económicas amigables con la conservación de los bosques.

La implementación de estas medidas, aunque demandaría tasas de crecimiento económico durante los primeros años de transición hacia un modelo climáticamente más amigable, impulsaría el crecimiento de la economía departamental en el largo plazo y reduciría las emisiones netas de gases de efecto invernadero.

## **Abstract**

Bolivia faces challenges due to the consequences of climate change in its departments and ecoregions. The Autonomous Departmental Government of Santa Cruz (GADSC) has developed a policy and strategy to address these effects through adaptation, resilience and mitigation measures, seeking to transform and formulate investments for the development of a sustainable economy.

Thirteen measures were selected in six sectors: energy, mobility, sustainable livestock, waste, protected areas, and forestry-land use and change. The economic impact of these measures was evaluated using a dynamic equilibrium model adjusted for the department of Santa Cruz, considering base scenario emissions, emission reductions and investment and implementation costs of these measures.

Based on the analysis, it was estimated that the implementation of the 13 measures between 2024 and 2050 would achieve a growth in the level of Santa Cruz's product. Estimated at approximately 4.5% and would avoid the generation of 299 million tons of CO<sub>2</sub>eq (tCO<sub>2</sub>eq).

The total cost of implementing these measures, in net present value, would be equal to 11.9% of Bolivia's GDP and 34.7% of Santa Cruz's GDP. If all measures are implemented, departmental emissions would be reduced by 50%, transitioning from 144 million to 72 million tons of CO<sub>2</sub>eq by 2050. In cumulative terms, this would represent a reduction of 1,121 million tons of CO<sub>2</sub>eq during the period 2024-2050.

The study also analyzed the implementation of projects under the Cooperation for Results Mechanism (CRF). These projects could avoid the generation of 69.5 million tons of CO<sub>2</sub>eq and generate up to an additional USD 1.39 billion by reducing land use change and promoting economic activities that are friendly to forest conservation.

The implementation of these measures, although it would require economic growth rates during the first years of transition to a more climate-friendly model, would boost the growth of the departmental economy in the long term and reduce net greenhouse gas emissions.

## 1. Introducción

Los efectos del cambio climático son cada vez más frecuentes y costosos para los gobiernos nacionales y subnacionales. La gobernación de Santa Cruz ha desarrollado dos herramientas de acción climática, la política y la estrategia departamental de cambio climático, alineadas con los objetivos de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) de Bolivia. Esto posiciona a Santa Cruz como el primer gobierno subnacional en Bolivia en asumir compromisos climáticos de este tipo.

Se revisaron los antecedentes históricos de las emisiones de contaminantes de gases de efecto invernadero (GEI) del departamento, usando el balance de emisiones nacionales como referencia. De esta manera, se proyectaron las emisiones a 2050 y se midió el efecto de las medidas de mitigación en comparación con un escenario sin medidas. El análisis también incluyó los costos unitarios de cada una de las 13 medidas de mitigación, evaluando el costo de implementación y la capacidad de reducir emisiones. Para ello, se calculó el costo-eficiencia de estas medidas, es decir, cuántas toneladas de  $CO_2$ eq podrían reducirse por cada dólar invertido. Finalmente, se analizó el impacto potencial de implementar proyectos alineados al MCR<sup>1</sup>, en diversos escenarios.

El documento presenta la siguiente estructura: una segunda sección que presenta los antecedentes y la metodología del análisis económico. La tercera sección describe las medidas de la estrategia de la gobernación y las alternativas bajo cooperación por resultados. La cuarta sección aborda el análisis macroeconómico y la quinta presenta los resultados.

## 2. Antecedentes y estrategia metodológica

### 2.1. Metodología de evaluación de impacto económico

Para evaluar los efectos económicos de las medidas de mitigación en Santa Cruz, se utilizó un modelo de equilibrio general dinámico adaptado del desarrollado para Bolivia (Gonzales et al

---

<sup>1</sup> El Mecanismo de Cooperación por Resultados (MCR), también conocido como pago por resultados, es un mecanismo de financiamiento climático que opera fuera del mercado del carbono. Este enfoque proporciona incentivos a los países para que alcancen objetivos específicos de reducción de gases de efecto invernadero o en el aumento de las reservas de carbono forestal. El MCR permite a los países acceder a fondos climáticos, cooperación técnica y transferencia tecnológica una vez verificados los resultados previamente acordados.

(2022). Este modelo considera diez sectores económicos, identificando insumos de operación e inversión de capital y se ajusta a la estructura productiva de Santa Cruz. A falta de una matriz insumo-producto específica, incluye una función de utilidad para los hogares, consumo, oferta de trabajo, y la producción de bienes y servicios por parte de las empresas. Estas además generan emisiones por el consumo de combustibles fósiles y por el cambio de uso de la tierra.

El modelo económico<sup>2</sup>, requiere dos insumos: la estimación de emisiones de  $CO_2$  de los sectores productivos y los costos anuales de inversión y mantenimiento de las medidas de mitigación. Las siguientes secciones detallan la metodología para calcular estos insumos.

## **2.2. Determinantes de las emisiones de $CO_2$ eq en Santa Cruz**

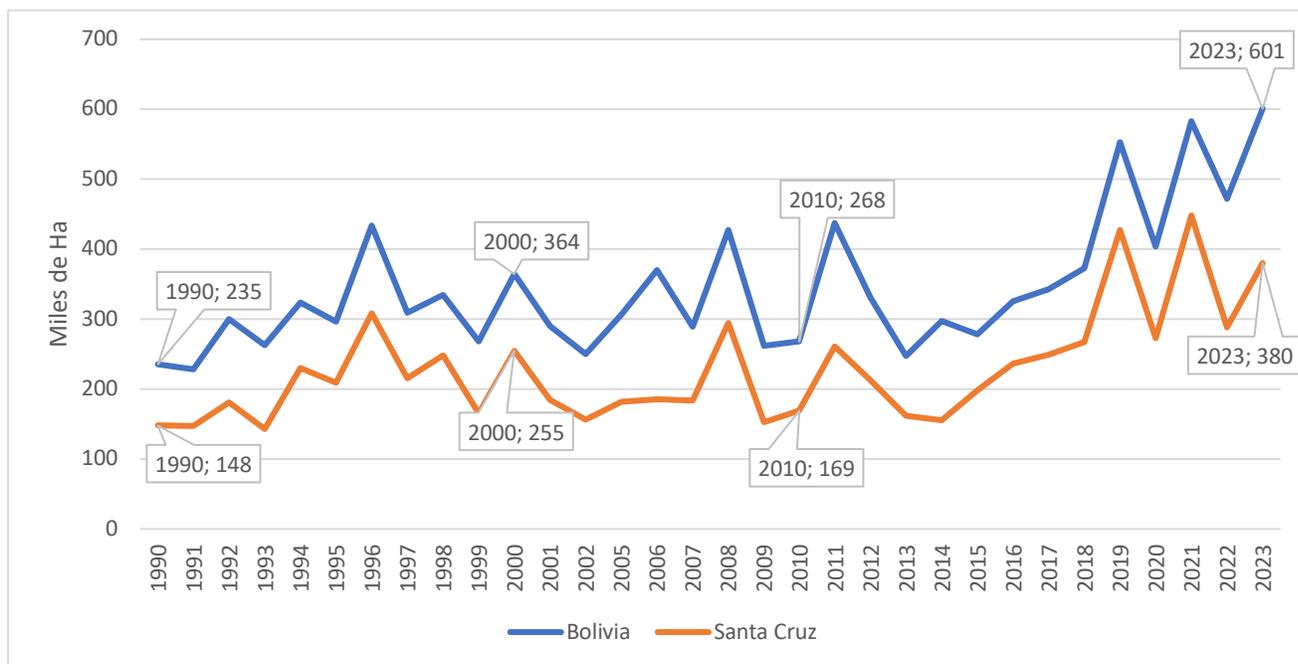
De acuerdo con Kaya y Yokobori (1997), el crecimiento del producto, la población, el cambio de uso del suelo y el consumo de energía son determinantes cruciales de las emisiones de GEI, estos también son relevantes para Santa Cruz. El PIB per cápita de Santa Cruz creció en promedio un 1.58% anual desde 1992 hasta 2019, con una caída del 6.56% en 2020 debido al COVID-19, seguido por un aumento del 3.08% en 2021. En ese mismo año, Santa Cruz contribuyó con el 34.18% al PIB nacional, destacando su creciente importancia en la economía nacional. El sector "agricultura, silvicultura, caza y pesca" ha sido crucial en su PIB, aumentando del 16% en 1988 al 20.56% en 2021, representando una quinta parte de la producción regional.

Según Andersen, et al., (2022) el sector agropecuario en Santa Cruz no solo impulsa el PIB, sino que también causa pérdida de bosques y cambio de uso del suelo, reduciendo la capacidad de absorción de GEI. En los últimos seis años, el departamento ha sido responsable en promedio del 73.14% de la pérdida de cobertura forestal nacional, evidenciando su impacto significativo en el uso del suelo a nivel nacional. El mismo puede ser evidenciado en la Figura 1.

---

<sup>2</sup> Para analizar las ecuaciones del modelo y su estructura, revisar Antosiewicz, M. y Kowal, P. (2016) y Antosiewicz, M. y Gonzales, L. (2021)

**Figura 1 Pérdida de cobertura forestal en Bolivia y Santa Cruz**



Fuente: Elaboración propia en base a información de MapBiomass Bolivia.

### **2.3. Estimación del inventario de emisiones para Santa Cruz**

Se inició con la obtención de datos de referencia a nivel nacional utilizando la plataforma Climate Watch del World Resources Institute (WRI) que sigue la metodología de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). Al analizar las emisiones en Bolivia, se destacan dos puntos importantes. Primero, la mayor parte de las emisiones provienen del sector forestal y del cambio de uso de suelo, desde el 2011 al 2019 las emisiones de este sector corresponden al 64.24% de las emisiones totales. Segundo, considerando el tamaño y la población de Bolivia, el país figura entre los mayores emisores per cápita a nivel mundial (Andersen, et al., 2022).

#### **2.3.1. Sector energía**

Se dividieron las emisiones del sector energético de Santa Cruz en dos subsectores. En el caso de la generación eléctrica, se estimaron las emisiones utilizando las ventas totales de electricidad al consumidor final en el departamento, ajustadas por la participación de Santa Cruz en las ventas nacionales. Este enfoque se basa en datos del Ministerio de Hidrocarburos y Energía (2022), que reflejan la dinámica del sector eléctrico, similar a la observada en otros países, donde casi toda

la electricidad generada es consumida. Sin embargo, se optó por usar el consumo final de electricidad en el departamento como base para el cálculo en lugar de la generación eléctrica. Esto responde a que, según los datos analizados, gran parte de la generación eléctrica de Santa Cruz se destina al Sistema Interconectado Nacional para ser consumida en otros departamentos. Por lo tanto, considerar únicamente la generación no permite abordar el problema desde una perspectiva local de consumo y soluciones específicas para Santa Cruz. Para evitar esta limitación, se decidió centrar el análisis en el consumo final de electricidad dentro del departamento.

Por otro lado, para el resto de los subsectores energéticos, se utilizó la proporción de población de Santa Cruz como una variable para estimar sus emisiones, reflejando así su contribución a nivel nacional. Sumando ambos subsectores, se obtuvieron las emisiones totales de Santa Cruz en el sector energético.

### **2.3.2. Sectores agropecuario , forestal y de cambio de uso de suelo**

Usando el total de emisiones del sector a nivel nacional se estima las emisiones correspondientes al departamento de Santa Cruz mediante la ponderación de la contribución al PIB agrícola nacional que tiene el departamento de Santa Cruz.

Para calcular las emisiones del sector forestal y de cambio de uso de suelo en Santa Cruz, se usaron datos de deforestación y de incendios forestales. Se usó como base a los datos de cambio de cobertura forestal presentados por MapBiomass Bolivia, que fueron combinados con los datos del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2023). Las emisiones por deforestación se estimaron multiplicando la superficie deforestada por una tasa promedio nacional de emisiones, alrededor de 247.71 toneladas de  $CO_2eq$  por hectárea.

Además, las emisiones por incendios forestales se calcularon usando datos históricos de incendios en bosques y sabanas, con tasas de emisión de aproximadamente 6.47 toneladas de  $CO_2$  equivalente por hectárea para bosques y 0.78 toneladas de  $CO_2eq$  por hectárea para sabanas, con los datos obtenidos de FAOSTAT. Las emisiones totales por incendios en Santa Cruz se determinaron sumando las emisiones de ambos tipos de vegetación.

Finalmente, para estimar la captura de carbono del bosque en pie, se utilizaron datos actuales de cobertura forestal junto con una tasa estándar de captura de aproximadamente 0.01 toneladas de  $CO_2eq$  por hectárea de bosque. Las emisiones netas del sector forestal y de cambio

de uso de suelo se calcularon restando la captura estimada de dióxido de carbono con las emisiones totales por deforestación e incendios.

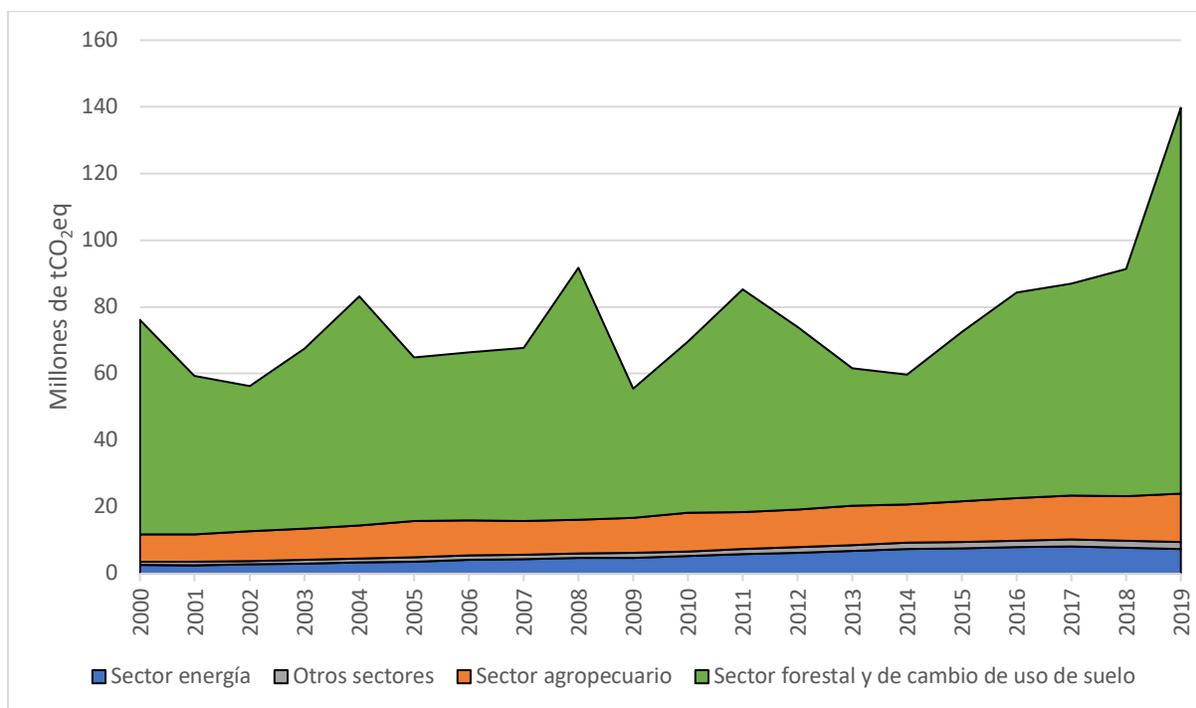
### 2.3.3. Resto de sectores

En este caso, se utilizó el Producto Interno Bruto (PIB) de Santa Cruz como un indicador proporcional con respecto al PIB total de Bolivia. Esto permitió estimar las emisiones del "resto" de sectores en Santa Cruz.

### 2.3.4. Resultados del inventario

Se pudo construir las series de inventario subnacional de Santa Cruz desde el año 2000 hasta el 2019, presentado en la figura 2. La serie histórica es más corta que la de Bolivia, debido a la disponibilidad de datos oficiales necesarios para la metodología empleada.

**Figura 2 Inventario de emisiones de Santa Cruz**



Fuente: Elaboración propia en base a la metodología previamente mencionada.

En 2019, Santa Cruz generó el 67.09% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en Bolivia. Este alto porcentaje se atribuye principalmente al sector forestal y de cambio de uso de suelo, que representó el 75.84% de las emisiones nacionales. Además, el sector agropecuario contribuyó significativamente con el 50% de las emisiones totales en su categoría, mientras que

el sector de energía y otros sectores representaron aproximadamente el 35% del total nacional. Estos datos subrayan la notable influencia de la deforestación y el cambio de uso de suelo en las emisiones de GEI a nivel departamental y nacional.

#### **2.4. Pronóstico de emisiones hasta 2050**

Completado el inventario de emisiones para Santa Cruz, se proyectaron las emisiones hasta 2050 considerando dos metodologías diferentes. La primera, conocida como "business as usual" (BAU), refleja las tendencias históricas de producción y uso de recursos sin cambios significativos. La segunda metodología incorpora las tendencias de crecimiento que siguen las diferentes variables. Para capturar estas tendencias y comportamientos se usaron modelos ARDL o ARIMA. En cada uno de los modelos realizados se realizó la prueba de proceso de estacionario de Dickey-Fuller y se comprobó que todas las series eran procesos estacionarios. El orden de los modelos fue determinado a través del criterio de información Akaike y se analizó si la proyección hacía el 2050 seguía un comportamiento esperado. A continuación, se detallan los supuestos y la metodología utilizada para establecer la línea base de emisiones en cada sector analizado.

##### **2.4.1. Sector energía**

Se realizaron mediciones separadas del inventario de emisiones para el sector energía, abordando tanto la generación eléctrica como otros subsectores energéticos. Se utilizaron estimaciones nacionales iniciales proporcionadas por Gonzales et al. (2022) como referencia inicial. Se utilizaron estas estimaciones porque siguen la misma metodología a la propuesta en este estudio y porque se realiza el pronóstico hasta el año 2050. Sin embargo, con datos más recientes disponibles, se emplearon tasas de crecimiento y datos actualizados de Climate Watch para realizar pronósticos de emisiones de  $CO_2$  equivalente para estos sectores en Bolivia.

Posteriormente, el inventario se ajustó para reflejar la proporción de Santa Cruz respecto al total nacional, utilizando datos de ventas de electricidad al consumidor final y un modelo ARDL, que permitió estimar de manera efectiva las emisiones futuras del sector energético en Santa Cruz. El modelo de ARDL también se utilizó para prever las ventas totales de electricidad en Santa Cruz, utilizando ventas rezagadas y la proporción de población del departamento en relación con Bolivia como variables explicativas. Esto permitió pronosticar las emisiones futuras de  $CO_2eq$

para el sector energético, considerando distintos escenarios de crecimiento poblacional basados en datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) y la Gobernación de Santa Cruz.

Este mismo enfoque se aplicó a los otros subsectores energéticos, considerando la población proyectada de Santa Cruz frente a Bolivia, proporcionando una visión integral de las emisiones futuras del sector en el contexto departamental.

#### **2.4.2. Sector agropecuario**

Se llevó a cabo un pronóstico de las emisiones de  $CO_2eq$  a nivel nacional para el sector agrícola en Bolivia, utilizando un modelo ARDL que consideró como variables las emisiones pasadas, la población, y el PIB del sector agropecuario. Este modelo permitió estimar las emisiones futuras, incorporando efectos de tendencia y variaciones en el PIB del sector agrícola a lo largo del tiempo.

Para la estimación de la participación de Santa Cruz en el PIB nacional del sector agropecuario, se realizó un pronóstico por separado. Primero, se proyectó el PIB nacional de Bolivia basado en datos de Gonzales et al. (2022). Se usó dicho estudio como base ya que utiliza una proyección del PIB basada en información histórica del INE y lo proyecta hasta el año 2050. Asumiendo una tasa anual de crecimiento constante para todos los sectores. Luego, se aplicaron modelos ARIMA (1, 1, 1) para pronosticar tanto el PIB del sector agropecuario en Santa Cruz como su proporción respecto al PIB nacional. Estos pronósticos se categorizaron como escenarios de valor bajo y alto. Los resultados de estos modelos se utilizaron para cuantificar las emisiones del sector agropecuario en Santa Cruz. Se espera un crecimiento continuo en las emisiones tanto a nivel nacional como en Santa Cruz, destacando que la región podría representar entre un 51.3% y un 68.7% de las emisiones nacionales en el sector agropecuario en el 2050.

#### **2.4.3. Sector forestal y de cambio de uso de suelo**

Se utilizó una metodología de medias móviles ajustadas fundamentadas por el BAU para pronosticar la pérdida de cobertura forestal en Santa Cruz, promediando los datos de los últimos cinco años para encontrar el valor del sexto año, y así consecutivamente.

Este enfoque busca mantener la coherencia con la tendencia histórica presentada por estudios anteriores y asegurar la estacionalidad de la serie temporal. Los datos históricos de cambios de uso de suelo proporcionados por MapBiomass Bolivia fueron fundamentales para este cálculo.

El pronóstico indica que Santa Cruz podría perder aproximadamente 360,000 hectáreas de cobertura forestal anualmente para el año 2050, lo que representaría el 71.7% de la deforestación total en Bolivia.

Se aplicó la misma metodología de medias móviles ajustadas para estimar la superficie de incendios en bosques y sabanas tanto a nivel nacional como específicamente para Santa Cruz. Utilizando estos datos, se calculó la proporción de incendios que corresponden a Santa Cruz multiplicando la superficie estimada para cada tipo de vegetación.

Para proyectar la cobertura forestal, se partió de los datos del año 2023 y se estimó la pérdida anual de cobertura forestal. Las emisiones netas de  $CO_2eq$  para Santa Cruz se obtuvieron sumando todas las emisiones proyectadas, destacándose que bajo el escenario BAU se espera que el sector emita 92 millones de toneladas de  $CO_2eq$  en 2050, consolidándose como el mayor emisor del departamento. Además, Santa Cruz sería responsable del 71.6% de las emisiones nacionales dentro de este sector según las proyecciones.

#### **2.4.4. Resto de sectores**

Se empleó una metodología que considera la convergencia en las tasas de crecimiento del PIB a nivel nacional y departamental para pronosticar el PIB de Santa Cruz. Esto incluyó calcular la tasa anual de variación del PIB nacional y utilizarla para prever el crecimiento del PIB en el departamento de Santa Cruz. Se usó como base los datos del PIB departamental presentados por el INE para después modificarlo recursivamente con el dato del crecimiento del PIB departamental hasta el 2050. Además, se aplicó un modelo ARDL para las emisiones de  $CO_2eq$  a nivel nacional, considerando variables como las emisiones pasadas, la población, el PIB actual y rezagado, así como un efecto tendencial.

Con base en estos modelos, se obtuvieron pronósticos out-of-sample<sup>3</sup>, los cuales facilitaron la generación de una previsión de emisiones a nivel subnacional para el resto de los sectores. Según las estimaciones, se proyecta que Santa Cruz emitiría aproximadamente 5 millones de toneladas de  $CO_2eq$  en el año 2050, lo que representa un 36.4% del total nacional de emisiones para ese año.

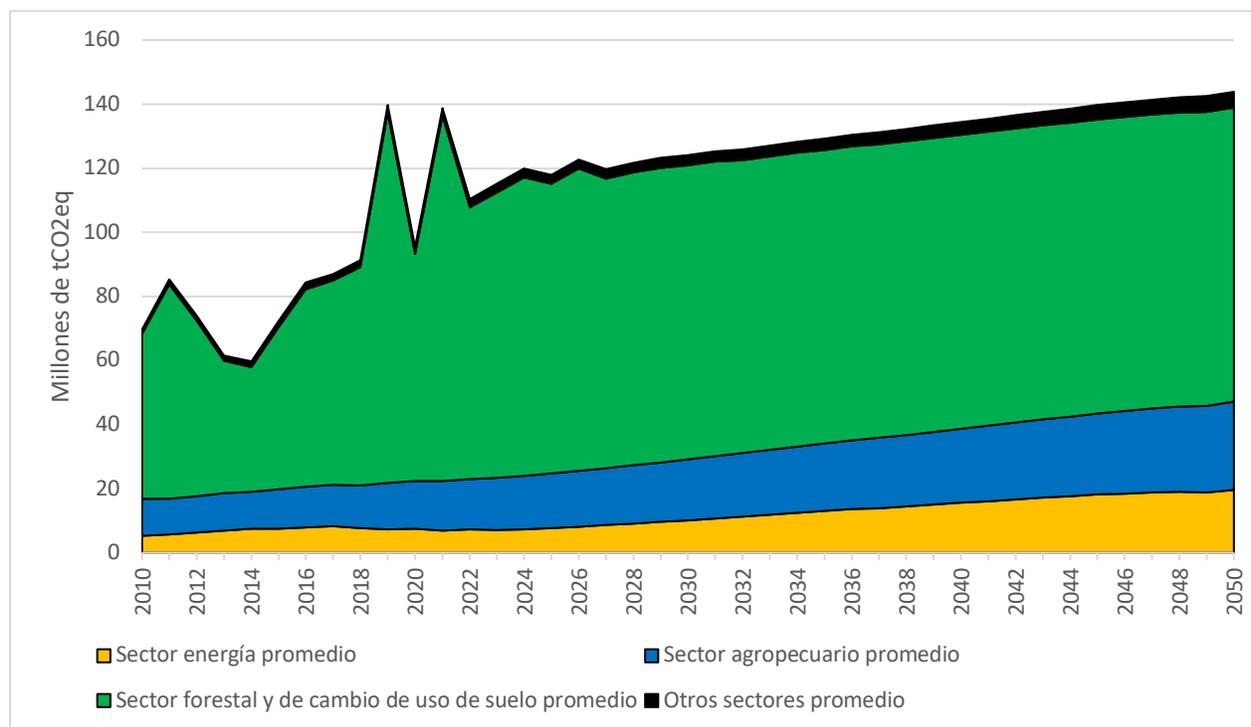
---

<sup>3</sup> Los pronósticos “out-of-sample” hacen referencia al resultado del modelo donde, recibe supuestos de variables exógenas, para obtener determinado comportamiento de la variable endógena, en los periodos de tiempo donde no se cuenta con observaciones de datos

### 2.4.5. Emisiones pronosticadas

Una vez obtenidos los pronósticos para cada uno de los sectores, se procedió a agregarlos y consolidarlos bajo el escenario conocido como línea de base. Para simplificar el análisis, se decidió promediar todos los escenarios altos y bajos para así obtener las emisiones promedio. Estos resultados se presentan en la figura 3. En total, Santa Cruz llegará a emitir 144 millones de tCO<sub>2</sub>eq en el año 2050, lo que representa un 60.4% del total de emisiones generadas a nivel nacional.

**Figura 3. Emisiones totales pronosticadas para Santa Cruz**



Fuente: Elaboración propia.

Se examinó la composición de las emisiones de CO<sub>2</sub>eq del departamento, evidenciando que el sector forestal y de cambio de uso de suelo es el principal contribuyente, alcanzando un 64% del total en el año 2050. Aunque las emisiones de los sectores agropecuario y energético también muestran un aumento continuo con el tiempo, los cambios en los demás sectores son mínimos, representando en promedio un 3% del total a lo largo del periodo analizado. En la sección de anexos se puede encontrar figuras representativas de los pronósticos de emisiones para cada uno de los sectores.

### **3. Medidas para la reducción de emisiones**

Una vez completada la estimación del escenario base por sectores, se determinaron las inversiones necesarias para implementar 11 medidas específicas de mitigación climática en Santa Cruz. Las cuales se presentan con sus respectivas metas en la tabla 1. Estas medidas fueron seleccionadas tras evaluar su impacto potencial en la reducción de emisiones de  $CO_2eq$  y sus costos asociados, alineándolas con las metas de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDCs) de Bolivia. Se destacó la importancia de medidas relacionadas con la reducción de la deforestación, un área significativa donde Santa Cruz representa aproximadamente el 66% de las emisiones nacionales en este sector.

**Tabla 1. Resumen de medidas elegidas de la EDCC**

<b>Medida</b>	<b>Sector / Definición de la medida</b>	<b>Meta 2024-2030</b>	<b>Meta 2031-2040</b>	<b>Meta 2041-2050</b>
<b>1.</b> Diseñar e implementar un Plan de Energización Rural Departamental con un fuerte impulso de las energías renovables	Energía	Meta basada en Gonzales, et al., 2022; pero tomando en cuenta sólo Santa Cruz		
<b>2.</b> Promover e incentivar el uso de movilidad urbana cero emisiones, en todas las ciudades	Movilidad - Energía	Meta basada en Gonzales, et al., 2022; pero tomando en cuenta sólo Santa Cruz		
<b>3.</b> Diseñar e implementar el Programa de Ganadería Sostenible del departamento de Santa Cruz en el cual se integren criterios y acciones desde un enfoque de adaptación basada en ecosistemas, seguridad hídrica y restauración (Ha por cada enfoque)	Ganadería sostenible	300,000	600,000	600,000
<b>4.</b> Promover un programa de Gestión integral de residuos sólidos (Tn por cada enfoque)	Residuos sólidos - Otros sectores	28,267.4	28,267.4	84,802
<b>5.</b> Promover la creación de áreas protegidas urbanas y corredores ecológicos (Ha incrementadas por cada enfoque)	Áreas protegidas -	121.97	121.97	365.90

<b>Medida</b>	<b>Sector / Definición de la medida</b>	<b>Meta 2024-2030</b>	<b>Meta 2031-2040</b>	<b>Meta 2041-2050</b>
	Otros sectores			
<b>6.</b> Incremento de superficie bajo Unidad de Conservación de Patrimonio Natural (UCPN) (Ha incrementas por cada enfoque)	UCPN - Forestal	500,000	500,000	500,000
<b>7.</b> Reforestación en bosque en áreas prioritarias (Ha reforestadas)	Forestal - Reforestación	100, 000	100, 000	100, 000
<b>8.</b> Incremento de superficie que se encuentra bajo gestión de cuencas <sup>4</sup> (Ha reforestadas <sup>5</sup> )	Forestal - Gestión de cuencas	45,468	56,835	56,835

<sup>4</sup> Esta medida comprende además otra iniciativa presentada por la gobernación sobre la posibilidad de “incrementar el número de cuencas donde se implementan mecanismos financieros relacionados al cambio climático”

<sup>5</sup> Se entiende que existen diferentes maneras de abordar la gestión de cuencas, pero después de realizar una revisión de las metas de esta medida y de conversatorios con la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz, se enfocó esta medida en reforestación dentro de las cuencas para este estudio y para su efecto en la mitigación de CO<sub>2</sub>eq.

<b>Medida</b>	<b>Sector / Definición de la medida</b>	<b>Meta 2024-2030</b>	<b>Meta 2031-2040</b>	<b>Meta 2041-2050</b>
<b>9.</b> Incremento sobre la superficie forestal actual bajo manejo sostenible <sup>6</sup> (Ha por cada enfoque)	Forestal - manejo sostenible	222,098	222,098	222,098
<b>10.</b> Incremento de superficie gestionada por comunidades indígenas originarias campesinas (Ha por cada enfoque)	Forestal - Superficie CIOC	44,240	55,300	55,300
<b>11.</b> Restauración forestal en zonas de tierra degradadas (Ha restauradas)	Forestal - Restauración tierras degradadas	103,703	148,148	148,148

Fuente: Elaboración propia en base a información del Gobierno Autónomo Departamental (GAD) de Santa Cruz

---

<sup>6</sup> Esta medida comprende la iniciativa de “Incremento de la superficie de cobertura forestal bajo manejo integral para el aprovechamiento sostenible de beneficios bioculturales ambientales y socioeconómicos del bosque” explicitada en la estrategia de la gobernación.

Durante la selección de medidas en función a los planes del Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz, se identificó la necesidad de incluir la reducción de deforestación, como medida fundamental. La necesidad de incluir medidas con este enfoque está relacionada con alinear los objetivos departamentales a los nacionales y de tomar en cuenta la acción que más emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente. En respuesta, se propusieron dos metas adicionales para Santa Cruz basadas en criterios específicos:

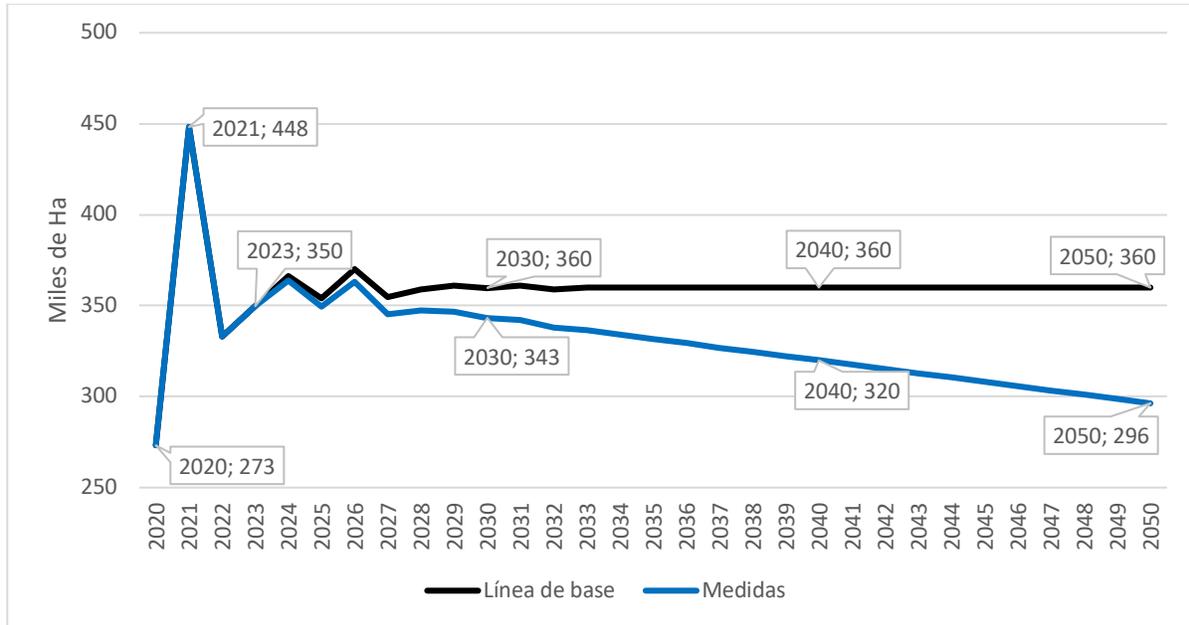
- 1) Según las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDCs) de Bolivia, el país se compromete a reducir la deforestación en un 20% para 2030, equivalente a una disminución anual de 86,003 hectáreas (Ha) en comparación con el promedio de los últimos 6 años.
- 2) Dado que Santa Cruz ha representado el 73.9% de la deforestación anual nacional en los últimos años, se propone que Santa Cruz establezca una meta específica de reducción de deforestación anual de 63,523 Ha. Esta meta se divide en dos partes: una destinada a áreas protegidas (AP) y la otra para el resto de la cobertura forestal.

En la Figura 4 se comparan dos escenarios: uno de referencia (escenario base) y otro con medidas de reducción de la deforestación. El escenario base proyecta una deforestación de 360,000 hectáreas, utilizando lo que se conoce como el escenario Business As Usual (BAU). La justificación para emplear el escenario BAU, en lugar de un modelo que considere un aumento progresivo de la deforestación, se basa en el horizonte temporal de la proyección. Mantener una tasa creciente de deforestación en el departamento de Santa Cruz generaría una situación en la cual las áreas boscosas restantes serían mínimas, un resultado poco realista, ya que no consideraría la probable respuesta de los distintos actores ante una pérdida tan significativa de superficie forestal. Por esta razón, se opta por utilizar el escenario BAU como base del pronóstico de deforestación, empleando una metodología de medias móviles. Los resultados de esta proyección se presentan en la curva negra de la Figura 4.

En el escenario con implementación de medidas de reducción, se espera que la deforestación anual disminuya gradualmente, alcanzando un total de 296,000 hectáreas para el año 2050. Esta trayectoria se observa en la curva azul del gráfico, alcanzado así en el 2050 la meta de reducción de deforestación anual de 63,523 hectáreas respecto a línea base. En términos acumulados, esto

implica una disminución de 65,900 hectáreas para 2030 y de 889,300 hectáreas para 2050 en comparación con el escenario base.

**Figura 4 Reducción de deforestación anual con la implementación de las medidas**



Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se añadieron a la lista presentada en la tabla 1 dos medidas adicionales asociadas a reducción de deforestación, las cuales no estaban presentes inicialmente en los planes del Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz, con lo que se obtienen 13 medidas en total.

**Tabla 2 Medidas relacionadas con reducción de deforestación**

Medida	Sector	Meta 2050
<b>12.</b> Reducción total de deforestación en áreas protegidas	Forestal - Reducción Deforestación en AP	Se reduce la deforestación anual en 19,390 Ha
<b>13.</b> Reducción deforestación en áreas no protegidas	Forestal - Reducción Deforestación fuera de AP	Se reduce la deforestación anual en 44,130 Ha

Fuente: Elaboración propia.

### **3.1. Escenarios adicionales**

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) establece responsabilidades diferenciadas para los países frente al cambio climático, enfatizando que los países desarrollados deben liderar la reducción de emisiones y apoyar a los países en desarrollo con financiamiento, tecnología y fortalecimiento de capacidades. En este contexto, surge el concepto de Cooperación por Resultados, un mecanismo financiero basado en el desempeño de los países en la reducción de emisiones o el aumento de reservas de carbono forestal, en línea con los principios y salvaguardas de la CMNUCC. Este enfoque está dentro del marco de REDD+, que promueve la reducción de la deforestación y la degradación forestal.

Bolivia ha mostrado compromiso con la implementación de la Cooperación por Resultados, alineado con su visión de desarrollo sostenible y respeto a los derechos indígenas. Actualmente, está desarrollando un mecanismo para reconocer y recibir pagos por resultados de reducción de emisiones por deforestación evitada o incremento de reservas de carbono forestal, inicialmente en las jurisdicciones de la Autonomía Guaraní Charagua Iyambae y el Departamento de Pando. Este proceso implica certificar que Bolivia cumple con los criterios de la CMNUCC y las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) , como parte de su compromiso bajo el Acuerdo de París.

En este contexto, se evaluaron tres escenarios para el Departamento de Santa Cruz: 1) sin implementación de MCR, considerando exclusivamente las medidas locales; 2) implementación de MCR en Charagua; e 3) implementación de MCR en Charagua y los municipios/provincias de San Ignacio de Velasco, Ñuflo de Chávez, El Carmen Rivero Tórrez, Puerto Suárez, Puerto Quijarro y Ascensión de Guarayos. Para el tercer escenario se seleccionaron estos municipios/provincias porque cuentan con características similares a las de Charagua, por lo tanto son considerados como municipios potenciales para la implementación de MCR. Estos escenarios buscan explorar los posibles impactos del MCR en la región, considerando áreas específicas y sus potenciales beneficios climáticos y financieros.

Para una referencia geográfica de cada uno de los escenarios, ver Anexos.

### **3.2. Antecedentes para el cálculo de costos**

Para el análisis de costos se buscó implementar medidas y escenarios utilizando experiencias nacionales e internacionales como referencia. Se actualizaron los costos por inflación utilizando datos del INE y se expresaron en dólares americanos con un tipo de cambio de 6.96 bolivianos por dólar. A continuación, se describen las estimaciones por sector:

#### **3.2.1. Sector energía**

Se incluyen medidas para aumentar la electrificación rural y promover la movilidad eléctrica. Los costos están basados en parámetros del estudio nacional de Gonzales, et. al. (2022), ajustados para el departamento de Santa Cruz según metodología previamente mencionada. Se usaron como base los costos presentados en dicho estudio ya que el enfoque de las medidas dentro de este sector es similar ya que ambos toman como base lo propuesto en las NDCs nacionales.

#### **3.2.2. Sector agropecuario**

Se cuantificaron los costos para promover la ganadería sostenible, utilizando datos de implementaciones similares en países de la región. Siguiendo a López, et al. (2022) se obtienen los valores para la implementación de esta medida:

**Tabla 3 Costos de implementación (USD por ha)**

<b>Variable</b>	<b>Inferior<sup>7</sup></b>	<b>Superior<sup>8</sup></b>	<b>Promedio<sup>9</sup></b>
Costo predios vacunos	171	203	187
Costo distribución agua	133	197	165
Total	304	400	352

Fuente: Elaboración propia en función a López, et al., (2022)

<sup>7</sup> Valor mínimo de costo registrado en el estudio.

<sup>8</sup> Valor máximo de costo registrado en el estudio.

<sup>9</sup> Promedio estimado entre los valores mínimos y máximos.

### **3.2.3. Sector forestal y de cambio de uso de suelo**

Se evaluaron ocho medidas dentro del sector, cada una con su respectivo costo de implementación:

- Incremento de superficie de Unidad de Conservación de Patrimonio Natural (UCPN).
- Reforestación en áreas prioritarias.
- Incremento de la superficie bajo gestión de cuencas.
- Incremento de la superficie forestal bajo manejo sostenible.
- Incremento de superficie en calidad de superficie de comunidades indígenas campesinas.
- Reforestación en zonas degradadas.
- Reducción total de deforestación en AP.
- Reducción de deforestación en áreas no protegidas.

Para la primera medida se revisó el costo de ampliación y de creación de diferentes UCPN vigentes. Se encontró información del GAD de Santa Cruz (2021) para Bajo Paraguá y San Rafael, también se obtuvo información del mismo Gobierno Autónomo (2011) para los Humedales del Norte. Finalmente, se obtuvo información de la UCPN Güendá (Aquavida, 2021). Con estas 3 fuentes se obtuvo la siguiente información. Se ajustaron los valores por inflación hasta 2023 para homogeneizar los diferentes años de análisis. Luego, se calculó un promedio ponderado para considerar todas las variaciones de superficie, determinando que el costo de implementación de la medida sería de 0.26 USD por hectárea.

Para las medidas de reforestación en zonas prioritarias y cuencas<sup>10</sup> se basaron en Salinas (2022). Este informe detalla los costos de materiales como fertilizantes y herramientas, los costos laborales para tareas como la aplicación de fertilizantes y la recolección de semillas, los gastos de monitoreo que incluyen equipos y transporte. El costo total estimado es de 18,922 USD por hectárea.

Para la medida de restauración de tierras degradadas, se basó en un estudio en desarrollo por FCBC y CSF (2024). En el que se evaluaron los costos de varios tipos de restauración y regeneración en diferentes municipios de Santa Cruz. Se calculó un costo promedio ponderado

---

<sup>10</sup> La reforestación en cuencas corresponde a la medida de incremento de la superficie bajo gestión de cuencas.

basado en la superficie y tipos de restauración considerados, resultando en un valor promedio de 30.4 USD por hectárea.

Para la medida de incremento de la superficie forestal bajo manejo sostenible, se emplearon datos de la Dirección de Recursos Naturales y Medio Ambiente (DIRENA, 2005). Con la cual, se seleccionó áreas con información específica de costos relacionados con el manejo forestal sostenible, aunque los detalles exactos de los costos no fueron especificados en el texto original. Se realizó un análisis del costo de gestión, ponderándolo según la superficie. Se determinó que el costo promedio para esta medida es de 0.27 USD por hectárea. Para cuantificar el costo del incremento de superficie de calidad para comunidades indígenas originarias campesinas, se emplearon como referencia diferentes Planes Generales de Manejo Forestal en Santa Cruz. Se encontró que el costo ajustado por inflación para estas medidas es de 1.34 USD por hectárea. Para la medida de superficie de cobertura forestal bajo manejo integral se utilizó como fuente a la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra (2015). La información considera el costo de la gestión integral de bosques y tierra, y la superficie en la cual se implementó para la comunidad indígena El Cerro. Los resultados que presentaron fueron:

**Tabla 4 Costo del manejo integral de bosques en la comunidad indígena El Cerro**

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Superficie para plan de gestión integral	2,779	Ha
Monto total del costo	10,610	USD
Costo unitario	4.38	USD por Ha

Fuente: Elaboración propia en base a la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra

Este costo de 4.38 USD por Ha fue incorporado a la medida de incremento sobre la superficie forestal actual bajo manejo sostenible ya que contempla esta meta dentro de la medida. Se utilizaron costos basados en la literatura para estimar las medidas de reducción de deforestación en este estudio. Para la reducción de deforestación en áreas protegidas se empleó un costo de 359.2 USD por hectárea ajustado por inflación, basado en Gonzales, et. al. (2022). En cuanto a la

reducción de deforestación en áreas no protegidas, se utilizó un costo de 650 USD por hectárea, según datos reportados por Andersen, et al. (2022).

#### **3.2.4. Resto de sectores**

Existen dos medidas a considerar: i) la promoción de un programa de gestión integral de residuos sólidos y ii) promover la creación de áreas protegidas urbanas y corredores ecológicos.

Para la medida de promoción de un programa de gestión integral de residuos sólidos se usó como base los datos presentados por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2010). Considerando la inflación, se estimó que el costo de implementación de la medida es de 39.75 USD por tonelada de CO<sub>2</sub>eq.

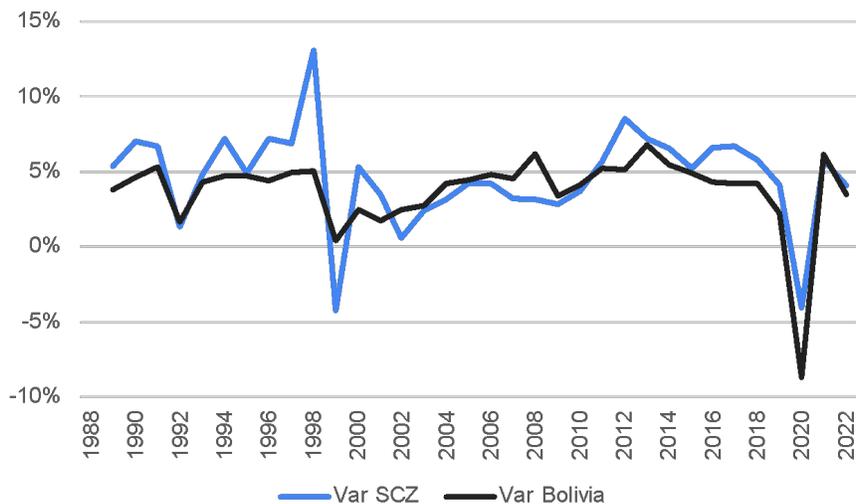
Finalmente, para promover la creación de áreas protegidas urbanas y corredores ecológicos, se utilizó información del Gobierno Autónomo Municipal (GAM) de Santa Cruz (2018) para calcular el costo de implementar áreas protegidas urbanas y corredores ecológicos, tomando como referencia el Parque Los Mangales en el distrito 1 de Santa Cruz. Ajustado por inflación, este costo se estimó en 127,094 USD por hectárea. Estos costos anuales se integrarán en un modelo macroeconómico para evaluar su impacto en la actividad económica del departamento.

### **4. Análisis macroeconómico**

Con los insumos de costos de las distintas medidas de mitigación, se hizo una caracterización del posible impacto macroeconómico, de la implementación de las 13 medidas analizadas, sobre el producto del departamento. Para ello, se analizó la importancia histórica de la economía cruceña en el PIB nacional y, se evidenció que, para el período 1988 y 2021, la economía de Santa Cruz representó el 30% del producto interno bruto de Bolivia, constituyéndose en la primera economía del país, seguida por la del departamento de La Paz con el 25% y Cochabamba con el 17% entre las tres más grandes.

El primer análisis prospectivo se enfocó en analizar la relación de los ciclos económicos entre el departamento y la economía nacional. Para lograr este objetivo, se obtuvo la tasa de variación porcentual anual del producto para los años entre 1988 y 2022, tanto para Bolivia como para Santa Cruz, ilustradas en la figura 5.

**Figura 5 Relación de la tasa de variación del producto de Bolivia y Santa Cruz**

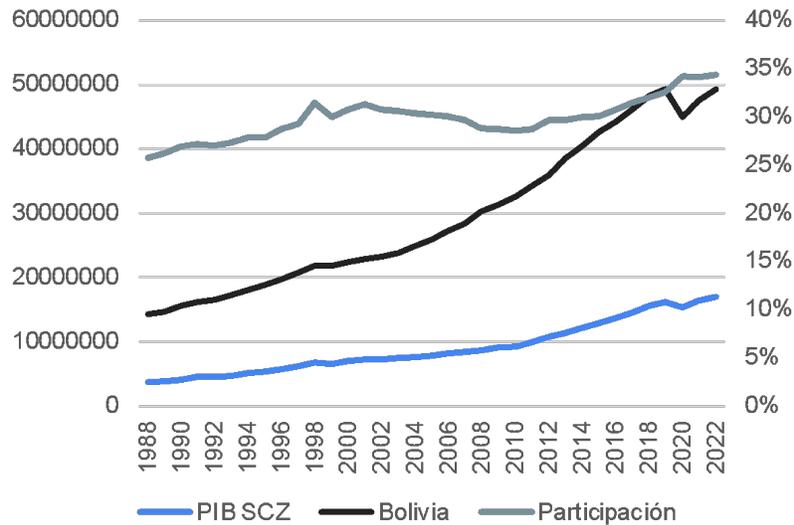


Fuente: Elaboración propia.

Se puede concluir que existe una estrecha correlación entre los ciclos locales y nacionales. La diferencia radica en una mayor volatilidad que tiene la tasa de variación de Santa Cruz. Un ejemplo de esta alta variación se encuentra entre 1996 y 2000, cuando el producto del departamento de Santa Cruz fluctuó mucho más que el agregado. En particular el año 1997, la fuerte entrada de capitales en el sector energético de exploración y explotación de gas natural provocó un crecimiento del producto de Santa Cruz de más del 13%, que naturalmente no pudo ser sostenido en los años siguientes donde, la tasa de variación de Santa Cruz volvió al promedio de 2.5% anual, muy similar al crecimiento de la economía nacional.

Excepto por ese período, la correlación es muy similar. Este análisis nos permite concluir que el manejo de las series de tiempo facilita la comprensión de los canales de conexión entre la actividad económica departamental y la actividad económica nacional agregada. La siguiente figura muestra cómo ha evolucionado el nivel del producto de Santa Cruz en comparación con el producto total.

**Figura 6 PIB en dólares de Santa Cruz y Bolivia y participación en el total**



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 6, existen tres momentos claramente notables respecto a la relevancia de Santa Cruz en la economía boliviana en los últimos años. El primero es entre 1988 y 1998, donde el rol de la economía cruceña fue creciente hasta representar algo menos del 35% del producto en 1998. Este periodo es explicado por la salida de los problemas macroeconómicos de finales de la década de los años 80 y el mayor dinamismo de la actividad agropecuaria y forestal con la firma de los acuerdos comerciales y arancelarios con países como Estados Unidos, Argentina y Brasil.

Durante el segundo periodo, comprendido entre 1999 y 2010, la economía cruceña, se mantuvo creciendo, pero su participación en el total nacional se redujo ligeramente, convergiendo al 30%. Esto se explica principalmente por los efectos que tuvo en la economía regional la crisis argentina y brasileña a finales de los años 90, lo mismo que la incidencia de la crisis financiera internacional de 2009.

El tercer periodo comprende los años 2011 y 2022. Durante este período se distingue un crecimiento de la economía cruceña por encima del 5% y una recesión en la actividad económica, producto de la pandemia, donde el efecto fue menor para el departamento de Santa Cruz, que para el resto de Bolivia.

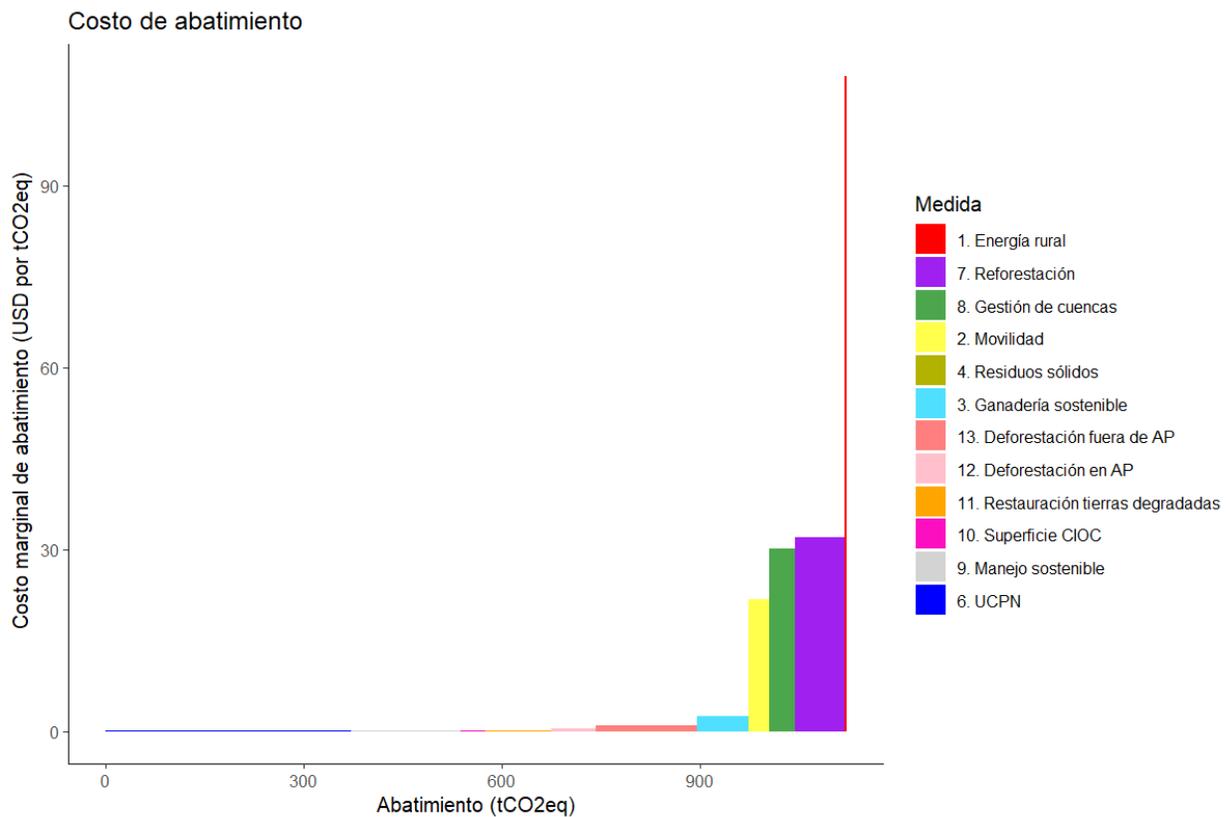
Considerando el escenario macroeconómico, tanto nacional como del departamento, y tomando como referencia la relación de la economía cruceña, con la economía nacional, así como el costo de las medidas, se puede estimar los resultados de implementación de las medidas de la gobernación para su acción climática. Estos se describen en el siguiente capítulo.

## 5. Resultados de las medidas

### 5.1 Capacidad de mitigación de las medidas y costo eficiencia

En esta sección se considera la capacidad de mitigación de las medidas y el costo incremental, comparado con el escenario base, para su implementación. Tomando como referencia las metas establecidas para cada medida y los montos de emisiones de la línea-base, se estiman los resultados para la capacidad de mitigación y costo eficiencia en la figura 7 y los valores del costo de abatimiento son presentados en la tabla 5.

**Figura 7 Capacidad de mitigación y costo eficiencia de las 13 medidas**



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5 Costos de abatimiento**

<b>Medida</b>	<b>Emisiones al 2050 (millones de tCO<sub>2</sub>eq)</b>	<b>Costo de abatimiento al 2050 (USD por tCO<sub>2</sub>eq)</b>
<b>1. Energía</b>	-2.43	108.01
<b>2. Movilidad – Energía</b>	-31.09	21.82
<b>3. Ganadería sostenible</b>	-78.42	2.45
<b>4. Residuos sólidos – Otros Sectores</b>	-0.22	10.88
<b>5. AP urbanas – Otros Sectores</b>	-0.01	3766.13 <sup>11</sup>
<b>6. UCPN – Forestal</b>	-371.69	0.01
<b>7. Reforestación – Forestal</b>	-74.34	31.99
<b>8. Gestión de cuencas – Forestal</b>	-39.43	30.09
<b>9. Manejo sostenible – Forestal</b>	-165.10	0.17
<b>10. Superficie CIOC – Forestal</b>	-38.37	0.01
<b>11. Restauración tierras degradadas – Forestal</b>	-99.12	0.05
<b>12. Reducción en Deforestación en AP – Forestal</b>	-67.31	0.54
<b>13. Reducción en Deforestación fuera de AP – Forestal</b>	-152.98	0.97

Fuente: Elaboración propia.

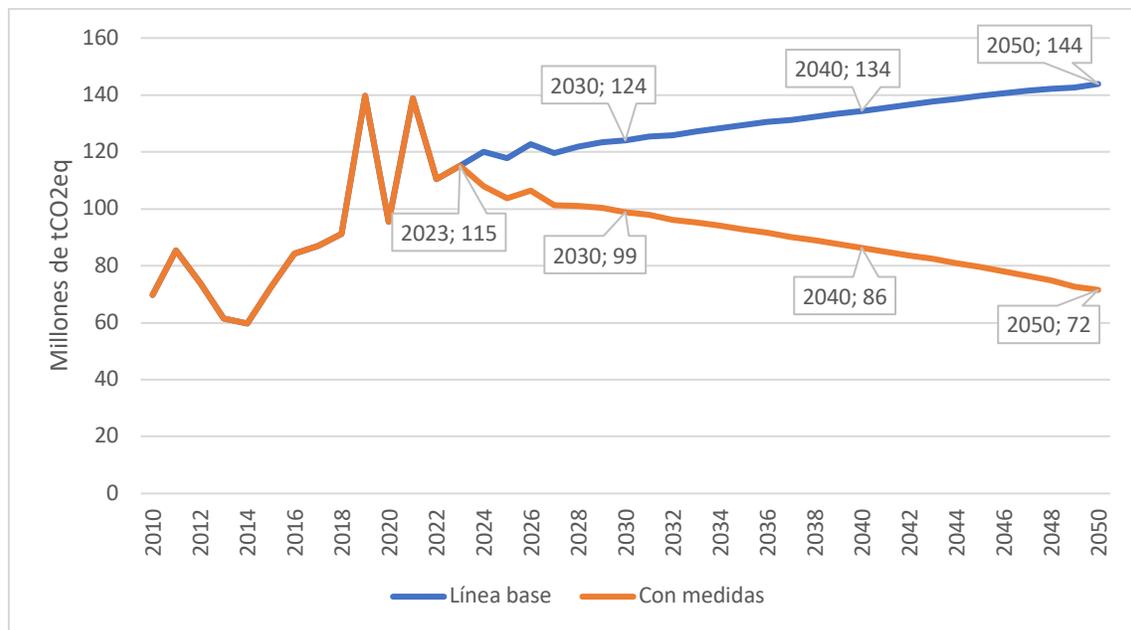
<sup>11</sup> El valor del costo de abatimiento es correcto, el motivo de tener un valor tan alto es porque el enfoque es por la creación de AP dentro del área urbana, lo cual presenta un costo mucho más elevado que AP rurales por su enfoque.

Se identifican tres tipos de medidas. El primer grupo incluye medidas como la ampliación o creación de Unidades de Conservación de Patrimonio Natural (UCPN), manejo sostenible forestal y reducción de deforestación, que tienen un alto potencial de reducción de emisiones con costos relativamente bajos de abatimiento. La implementación de estas medidas enfrenta desafíos principalmente relacionados con decisiones institucionales sobre regulación y fiscalización de programas.

El segundo grupo comprende medidas con costos intermedios para lograr la reducción de emisiones, como el aumento de la superficie bajo gestión de cuencas, reforestación en áreas prioritarias y restauración en tierras degradadas. Finalmente, el tercer grupo consiste en medidas con costos elevados, como acciones de transición energética o la creación de áreas protegidas urbanas.

En la figura 8 podemos observar el impacto total que se puede alcanzar si se logran implementar las medidas:

**Figura 8 Impacto total de las medidas sobre las emisiones en el departamento de Santa Cruz**



Fuente: Elaboración propia.

Se proyecta que para el año 2050, las medidas implementadas podrían reducir significativamente las emisiones. Del total de reducciones, un 86.8% provendría del sector forestal y de cambio de

uso de suelo, un 7.9% del sector agropecuario, un 5.2% del sector energético y el resto de otros sectores. Esto subraya la importancia crucial de las reducciones de emisiones por deforestación evitada para cumplir con las metas de la estrategia de cambio climático del GADSC.

La figura 8 muestra que la implementación de las medidas llevaría a una reducción promedio anual del 30.89% en las emisiones durante el periodo analizado. Se espera que esta reducción alcance su máximo en 2050, con una disminución anual del 50.3% en comparación con el escenario sin medidas (línea de base).

### **5.2 Impacto de escenarios adicionales**

A partir del Decreto Supremo 5264, Bolivia se está preparando para implementar Mecanismo de Cooperación por Resultados (MCR), los cuales forman parte de su nueva estrategia nacional contra el cambio climático. Estos mecanismos, que incluyen diversas posibles fuentes de financiamiento climático permitirán, entre otras cosas, generar ingresos por cada tonelada de  $CO_2eq$  mitigada a través de acciones de reducción de emisiones por deforestación y degradación. Ante este nuevo contexto, el presente análisis considera algunos escenarios alternativos, asociados a la posibilidad de que se implementan proyectos asociados al MCR en el Departamento de Santa Cruz los próximos años, proyectando los posibles impactos, tanto en la reducción de emisiones, como en la economía del departamento. Se plantean y comparan tres escenarios específicos:

- Escenario 1: Implementación de medidas promovidas por la Gobernación orientadas a la reducción de la deforestación, tanto en áreas protegidas como en áreas no protegidas, complementadas con los beneficios derivados de la ganadería regenerativa. Este escenario se lo denominará como Escenario Base, puesto que no incluye ninguna medida adicional a las promovidas por la Gobernación. Es decir, no incluye potenciales proyectos que podrían desarrollarse en el marco del MCR.
- Escenario 2: Aplicación de proyectos asociados al MCR la Autonomía Indígena de Charagua, como elemento adicional a la implementación de todas las medidas contempladas en el Escenario 1. Este escenario se lo denominará como Escenario Base + Charagua

- Escenario 3: Expansión de los potenciales proyectos MCR a los municipios de San Ignacio, El Carmen Rivero Torrez, Puerto Suárez, Puerto Quijarro y Ascensión de Guarayos, así como en la provincia de Ñuflo de Chávez, este incluye 6 municipios adicionales. Este escenario asume la posibilidad de alcanzar acuerdos bilaterales para conservar los bosques en estas áreas. Adicionalmente, se incluyen las medidas del Escenario 2. Por lo que este escenario se lo denominará como Escenario Base + Charagua + Otros.

Los resultados de este análisis muestran que la reducción del cambio de uso del suelo podría incrementarse de un 12,4% a un 15,29%, dependiendo del nivel de implementación de los MCR y de las medidas adicionales en cada escenario. Esta comparación permite visualizar con mayor claridad el impacto potencial de estos mecanismos en términos de mitigación de emisiones y sus implicaciones económicas a nivel del departamento.

**Tabla 6 Reducción adicional de pérdida de cobertura forestal**

Variable	Escenario 1 (Escenario Base)		Escenario 2 (Escenario Base + Charagua)	Escenario 3 (Escenario Base + Charagua + Otros)
	Acumulado 2024-2030	Acumulado 2024-2050	Acumulado 2024-2050	Acumulado 2024-2050
Deforestación en Bolivia (en Ha) (línea base)	3,511,418	13,550,814		
Deforestación en SCZ (en Ha) (línea base)	2,524,795	9,723,255		
Reducción total (en Ha)	85,733	1,205,780	1,261,697	1,486,350
Deforestación en SCZ con medidas (en Ha)	2,439,063	8,517,475	8,461,558	8,236,905

Variable	Escenario 1 (Escenario Base)		Escenario 2 (Escenario Base + Charagua)	Escenario 3 (Escenario Base + Charagua + Otros)
	Acumulado 2024-2030	Acumulado 2024-2050	Acumulado 2024-2050	Acumulado 2024-2050
Cambio respecto a LB (en porcentaje)	-3.40%	-12.40%	-12.98%	-15.29%

Fuente: Elaboración propia.

Reducir la deforestación tiene un impacto significativo en las emisiones mitigadas. En comparación con el escenario 1 (sin implementación de Mecanismos de Cooperación por Resultados, MCR), la implementación de un MCR exclusivamente en Charagua (escenario 2) permitiría una reducción acumulada adicional de emisiones de 13.9 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq hasta el año 2050. Por su parte, extender el MCR a Charagua y otros municipios prioritarios (escenario 3) incrementaría esta reducción acumulada a 69.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq en el mismo periodo, demostrando el potencial ampliado de mitigación cuando se abordan más áreas estratégicas.

**Tabla 7 Impacto adicional sobre la mitigación**

<b>Variable</b>	<b>Escenario 1</b> (Escenario Base)		<b>Escenario 2</b> (Escenario Base + Charagua)	<b>Escenario 3</b> (Escenario Base + Charagua + Otros)
	<b>Acumulado</b> <b>2024-2030</b>	<b>Acumulado</b> <b>2024-2050</b>	<b>Acumulado</b> <b>2024-2050</b>	<b>Acumulado</b> <b>2024-2050</b>
Reducción de emisiones por la implementación de medidas (en millones de tCO <sub>2</sub> eq)	21.2	298.7	312.6	368.2

Fuente: Elaboración propia.

Si bien se tiene un impacto positivo en la reducción de emisiones gracias a estos escenarios, también tiene un costo de ejecución mayor. Para establecer el costo de esos escenarios se consideró un costo similar al presentado en la medida de reducción de deforestación fuera de AP. Los resultados de los costos son presentados en la tabla 8.

**Tabla 8 Costo adicional por implementación**

<b>Variable</b>	<b>Escenario 1</b> (Escenario Base)		<b>Escenario 2</b> (Escenario Base + Charagua)	<b>Escenario 3</b> (Escenario Base + Charagua + Otros)
	<b>Acumulado</b> <b>2024-2030</b>	<b>Acumulado</b> <b>2024-2050</b>	<b>Acumulado</b> <b>2024-2050</b>	<b>Acumulado</b> <b>2024-2050</b>
Costo de medidas (en millones de USD)	70.0	1,027.0	1,063.4	1,209.4

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, bajo el esquema del escenario 3, se podrían generar ingresos totales de entre 695 y 1,390 millones de USD (Tabla 9), dependiendo del valor asignado por tonelada de CO<sub>2</sub>eq, considerando un precio de 10 USD y 20 USD por tonelada, respectivamente. Al calcular estos ingresos del escenario tres en términos de Valor Presente Neto (VPN) y utilizando una tasa de descuento del 6%, el monto equivalente sería de 462 a 925 millones de USD, reflejando el valor ajustado en el tiempo de estos ingresos futuros. Los resultados detallados se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 9 Ingresos por implementación**

Variable	Escenario 1 (Escenario Base)		Escenario 2 (Escenario Base + Charagua)	Escenario 3 (Escenario Base + Charagua + Otros)
	Acumulado 2024-2030	Acumulado 2024-2050	Acumulado 2024-2050	Acumulado 2024-2050
Ingresos por MCR (en millones de USD) (10 USD por tCO <sub>2</sub> eq) (total)	-	-	138.5	695.0
Ingresos por MCR (en millones de USD) (20 USD por tCO <sub>2</sub> eq) (total)	-	-	277.0	1,390.0

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados destacan la importancia que podría tener la implementación de proyectos asociados al MCR, tanto por su impacto ambiental como económico, ya que se generarían ingresos adicionales para mejorar el alcance de las medidas<sup>12</sup>.

### **5.3 Impacto económico de las medidas**

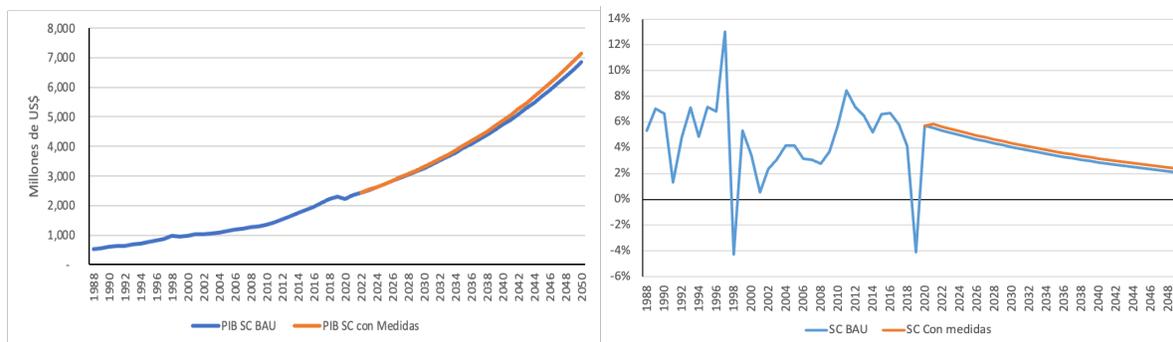
Una vez analizada la capacidad de reducción de emisiones y el costo de las medidas propuestas en el plan de acción de la Gobernación, se implementa el modelo económico ajustado para Santa Cruz descrito en la sección 2.1.

Primero se observa el efecto en el nivel del producto de Santa Cruz donde el crecimiento de la economía llega a 4.5% por encima del PIB en línea base. Este efecto es atribuible a la implementación, aumento de inversión y por ende mayor acumulación de stock de capital, del

<sup>12</sup> Es crucial analizar el impacto anual en la reducción de la deforestación para asegurar una implementación consistente y efectiva de las medidas. Por ello, se decidió suavizar el impacto anual, ajustándolo a un enfoque que responda mejor a los esfuerzos requeridos para la reducción de la deforestación dentro del marco de los esquemas de MCR. Esto implica mantener el total acumulado de la reducción, conforme a lo establecido en los acuerdos previos, pero redistribuir de manera más equilibrada a lo largo del tiempo.

paquete de 13 medidas de la gobernación de Santa Cruz. Además, este crecimiento se traduce en un incremento de 0.3 puntos porcentuales por año adicionales en la tasa de crecimiento por efecto de la inversión de las medidas de mitigación como se observa en la siguiente figura.

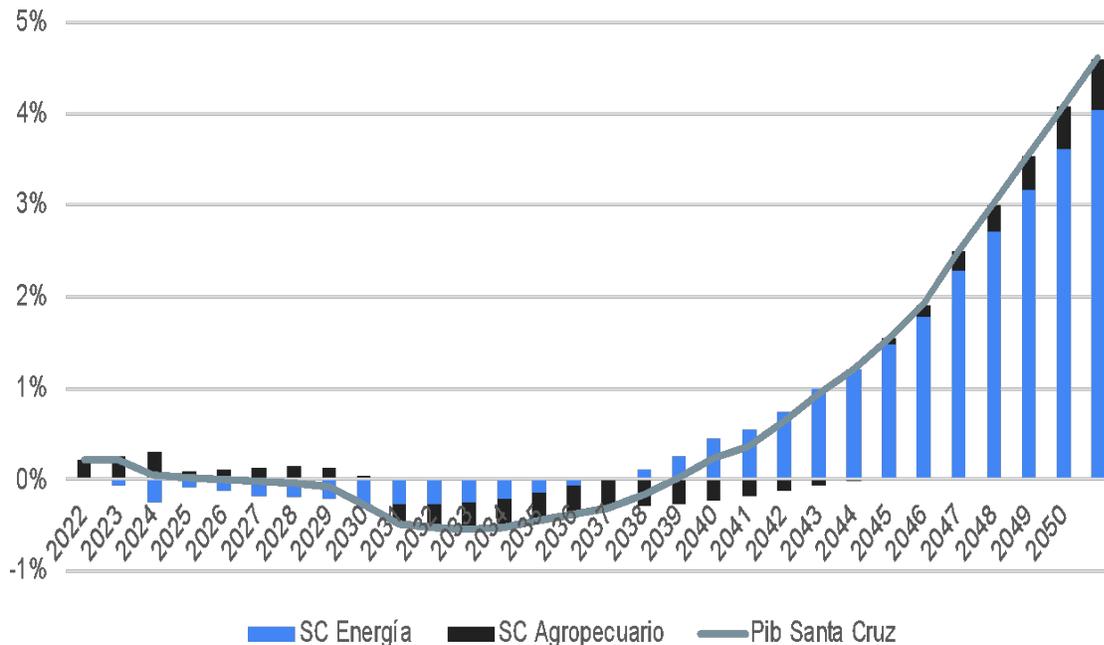
**Figura 9 Impacto de la implementación de medidas en el nivel y tasa de crecimiento del PIB de Santa Cruz**



Fuente: Elaboración propia.

Considerando que el producto de Santa Cruz está principalmente explicado por los sectores energía y agropecuario, se puede distinguir el efecto de la implementación de las medidas en el producto, como se muestra en la figura 10. Otro canal por donde se incrementa el producto es mediante la mayor productividad esperada por la reducción de los costos de energía con la introducción de nuevas tecnologías en especial en el sector eléctrico.

**Figura 10 Efecto de las medidas en el nivel del PIB de Santa Cruz**



Fuente: Elaboración propia.

Considerando el impacto temporal de las medidas, ya sea en el sector energía, como en el sector agropecuario, se observa que en las primeras décadas no existen ganancias relevantes, ya que hasta 2040 el impacto económico adicional de las medidas oscila en torno a cero. A partir de 2040, se observa que las ganancias en la economía pueden llegar a constituir un crecimiento del PIB en 4.5% con respecto a un escenario sin medidas. Explicado principalmente por las ganancias en el sector energía, que es el más intensivo en capital y cuyas inversiones generarían ese impacto en la economía departamental.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

Este estudio estima el impacto económico de la implementación de la Estrategia Departamental de Cambio Climático de Santa Cruz, la cual implica un conjunto de acciones orientadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Para ello, se proyectaron las potenciales reducciones de emisiones y los costos asociados a la implementación de 13 medidas de mitigación propuestas en la estrategia. El estudio logra además estimar el primer balance de emisiones GEI subnacional en Bolivia en relación y consistencia con el balance nacional.

Finalmente, cuantifica el impacto de mitigación y la eficiencia de costos de estas medidas, las cuales están alineadas con los compromisos nacionales de reducción de emisiones en Bolivia. El costo anual promedio estimado para implementar estas medidas corresponde al 3.06% del PIB departamental.

Adicionalmente, se realizó un análisis de escenarios que consideran la implementación gradual del Mecanismo de Cooperación por Resultados. Inicialmente se considera la incorporación exclusivamente de Charagua y en un siguiente escenario se considera cinco municipios adicionales, además de la provincia Ñuflo de Chávez. Estos escenarios implicarían un costo de USD 182 millones, pero podrían generar ingresos de hasta USD 1,390 millones acumulados para el periodo 2024-2050 en caso de que se apliquen. En términos de mitigación de emisiones, se estima que estos escenarios podrían reducir un total adicional de 69.5 millones de toneladas de  $CO_2eq$  ( $tCO_2eq$ ).

El costo total de implementar las 13 medidas en valor presente neto equivale al 11.9% del PIB de Bolivia y al 34.7% de Santa Cruz, lo que sugiere un cambio estructural significativo para la economía departamental. A mediano plazo, se prevé un aumento del producto de Santa Cruz en un rango adicional del 4.2% al 4.5% para 2050. Si se implementan todas las medidas propuestas, las emisiones departamentales en 2050 podrían reducirse de 144 millones de  $tCO_2eq$  a 72 millones, lo que representa una reducción del 50% en ese año. En términos acumulativos, durante el período de 2024 a 2050, esto significaría una reducción total de 1,121 millones de  $tCO_2eq$ .

El estudio identificó que existen medidas altamente costo-eficientes en reducir emisiones de  $CO_2eq$ . Las medidas más costo-eficientes son: i) las medidas orientadas a reducir la deforestación en áreas boscosas, tanto dentro como fuera de áreas protegidas ii) expansión de la superficie forestal actual bajo manejo sostenible, iii) incremento de la superficie de comunidades indígenas originarias campesinas y, iv) aumento de la superficie bajo Unidades de Conservación de Patrimonio Natural (UCPN).

Estas medidas, además de sus ventajas en la mitigación de emisiones, ofrecen otros beneficios adicionales que no se consideran en el análisis económico, como la reducción de la emisiones por

incendios, la conservación de la biodiversidad, la regulación hídrica y la provisión de agua para sectores productivos y la población.

El análisis realizado en este estudio debe ser continuamente actualizado para reflejar los cambios en los costos de las medidas de mitigación. Además, es crucial considerar la posibilidad de ampliar el estudio para abordar medidas de adaptación, que son igualmente relevantes debido a los impactos locales de fenómenos globales.

Finalmente, otros desafíos para futuros trabajos incluyen mejorar la medición de las emisiones de  $CO_2eq$  por tipo de bosque en Santa Cruz y perfeccionar los modelos de pronóstico de emisiones, avanzando hacia mediciones a nivel de proyectos.

## 7. Bibliografía

Andersen, L., Gonzales, L. & Malky, A., 2022. Bolivia's Net Zero path: Investment needs, challenges, and opportunities. *Frontiers in Climate*.

Antosiewicz, M. & Kowal, P., 2016. MEMO III - A large scale multi-sector DSGE model. *IBS Research Report*.

Aquavida SRL., 2021. *Plan de Manejo de Unidad de Conservación del Patrimonio Natural Güendá - Urubó*, Santa Cruz: Aquavida.

Autoridad de Fiscalización de Electricidad y Tecnología Nuclear, 2023. *Análisis Estadístico Histórico 2022*. La Paz: Autoridad de Fiscalización de Electricidad y Tecnología Nuclear.

Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra, 2015. *INFOSISCON*. [Online] Disponible en: <https://infosicon.com/elaboraci%EF%BF%BDn-de-un-plan-de-gesti%EF%BF%BDn-integral-de-bosques-y-tierra-pgibt-en-una-superficie-de-277876-ha-y-su-plan-operativo-de-gesti%EF%BF%BDn-integral-pogi-para-la-comunidad-ind%EF%BF%BDgen-lct210189.html> [Accessed 15 Marzo 2024].

DIRENA, 2005. *Implementación del Sistema Departamental de Área Protegidas del Departamento de Santa Cruz*. Santa Cruz: DIRENA.

FCBC y CSF, 2024. Apoyo a los trabajos de la mesa interinstitucional de bosques en la identificación de prioridades de inversión para la gestión forestal integrada y sostenible. *Autoridad Plurinacional de la Madre Tierra*.

Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz, 2011. *Diagnóstico Técnico para la Declaratoria del Área Protegida: Humedales del Norte*. Santa Cruz: Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz.

Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz, 2021. *Área Protegida Municipal del Bajo Paraguá de San Ignacio de Velasco*. Santa Cruz: Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz.

Gobierno Autónomo Municipal de Santa Cruz, 2018. *INFOSISCON*. [Online] Disponible en: <https://infosicon.com/construccion-de-mejoras-en-el-parque-los-mangales-i-distrito-no1-en-la-ciudad-de-santa-cruz-de-la-sierra-lct327101.html> [Accessed 15 Marzo 2024].

Gonzales, L. et al., 2022. Impacto económico de las medidas de mitigación de las NDC de Bolivia. *LAJED*, pp. 45-86.

Kaya, Y. & Yokobori, K., 1997. Environment, energy, and economy: strategies for sustainability. *United Nations University Press*, Volume 4.

López, M. et al., 2022. Caracterización de los resultados productivos y económicos en establecimientos de ganadería vacuna y ovina con sistemas de pastoreo racional Voisin en Uruguay. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2010. *Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia*. 1ra ed. La Paz: Ministerio de Medio Ambiente y Agua.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2023. *Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por la Deforestación del Estado Plurinacional de Bolivia*. La Paz: Ministerio de Medio Ambiente y Agua.

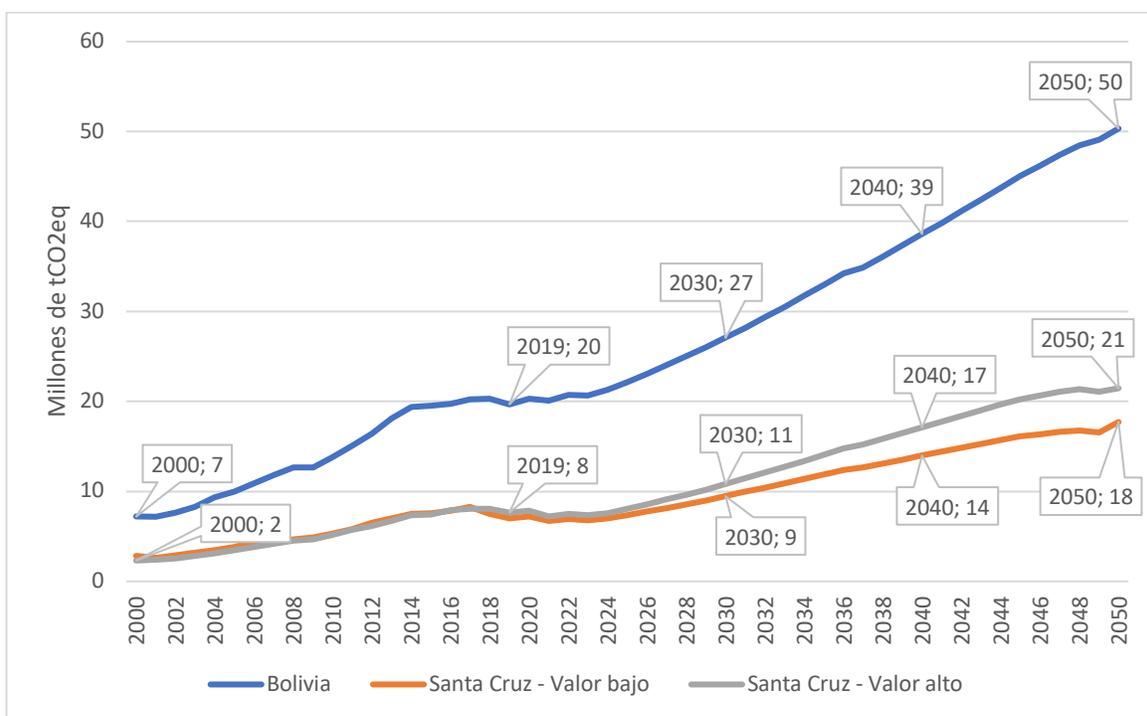
Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (2022). *Balance Energético a Nivel Departamental*. La Paz: Ministerio de Hidrocarburos y Energías.

Salinas, A., 2022. *Estudio de Riesgo Climático para Identificar Estrategias de Adaptación Robustas en el Sector Agua en Bolivia*. La Paz: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.

## Anexo metodológico

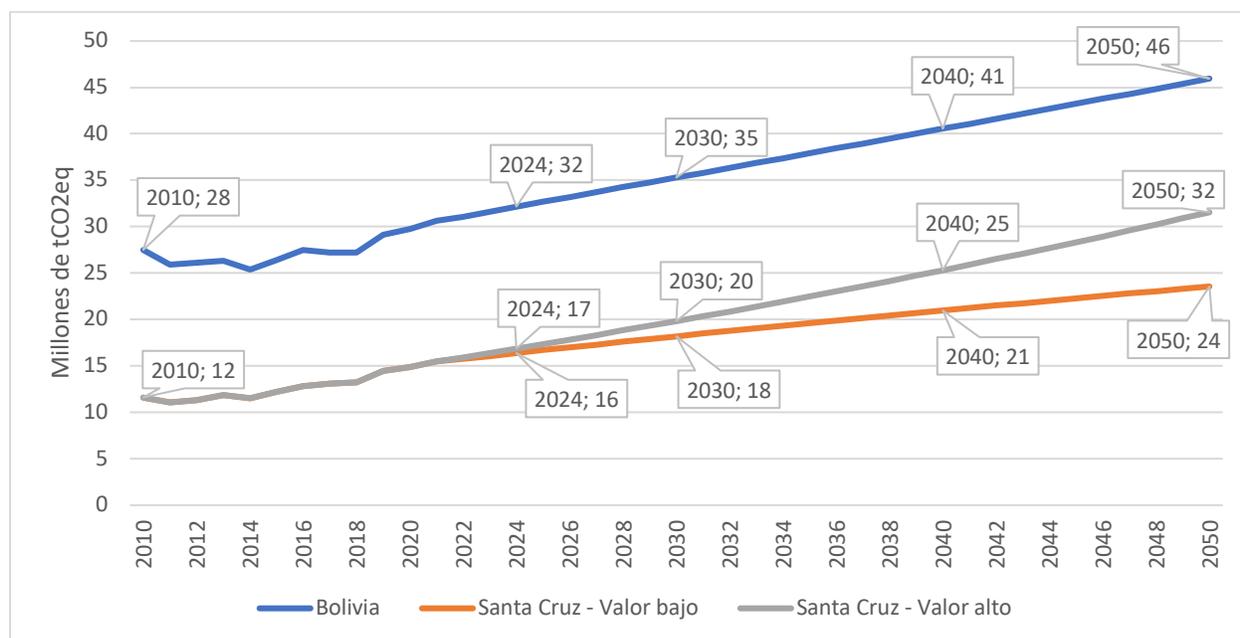
### Pronóstico de emisiones hasta 2050, por sector

Figura A. Pronóstico de emisiones del sector energía en Santa Cruz



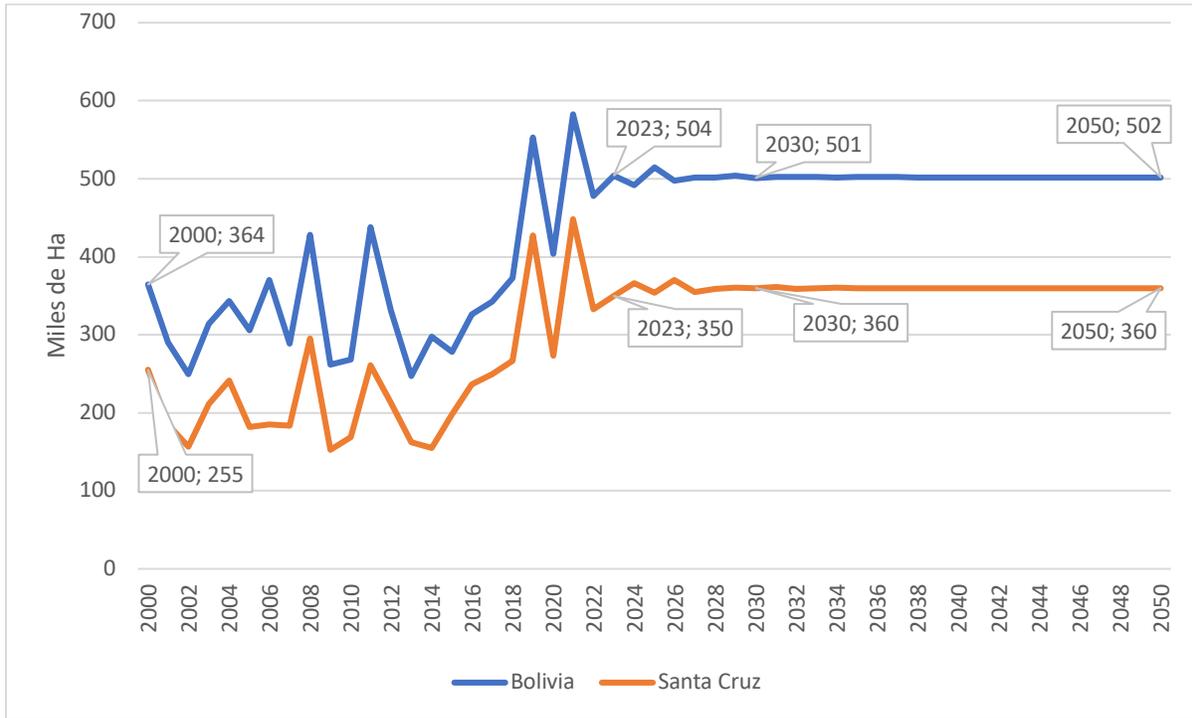
Fuente: Elaboración propia.

Figura B. Pronóstico de emisiones del sector agropecuario



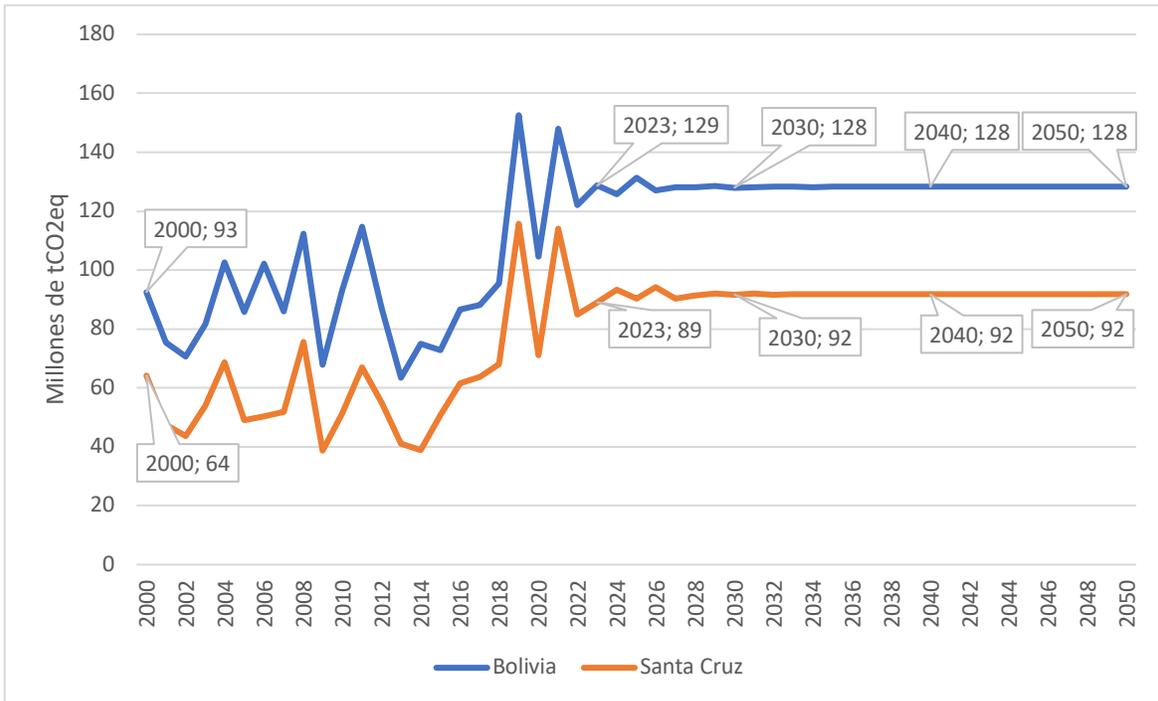
Fuente: Elaboración propia.

**Figura C. Pérdida de cobertura forestal anual pronosticada**



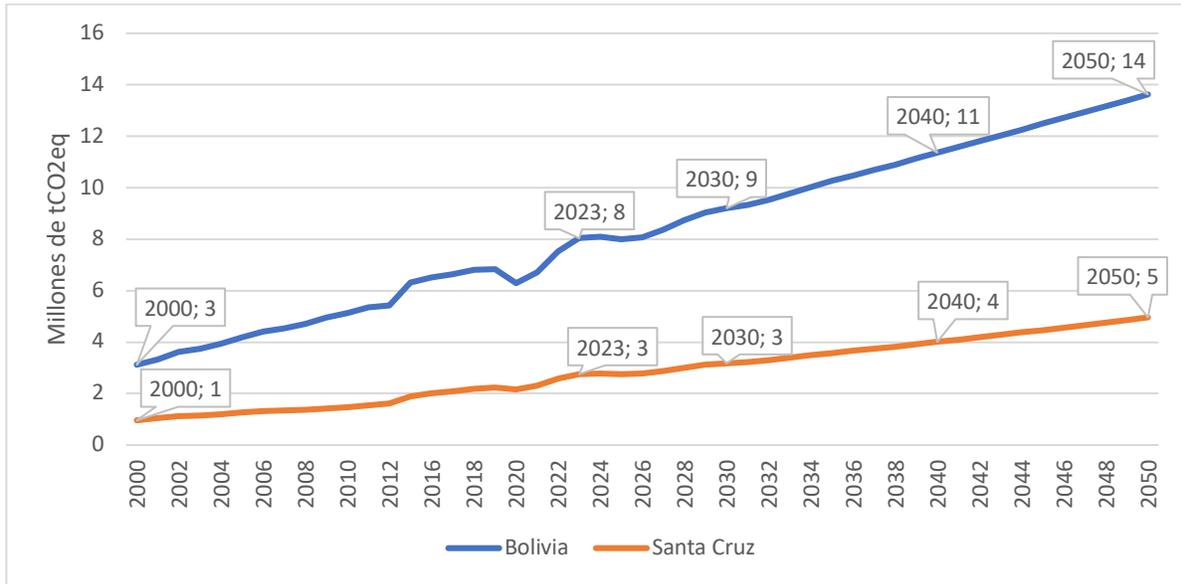
Fuente: Elaboración propia.

**Figura D. Pronóstico de emisiones del sector forestal y de cambio de uso suelo**



Fuente: Elaboración propia.

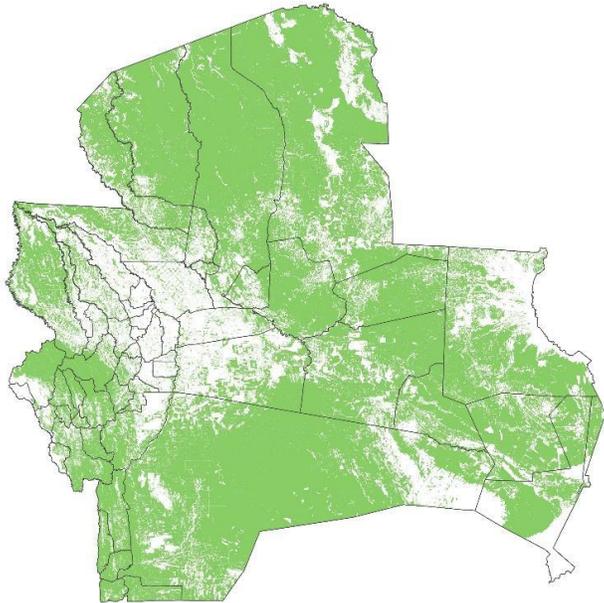
**Figura E. Pronóstico de emisiones del resto de sectores**



Fuente: Elaboración propia.

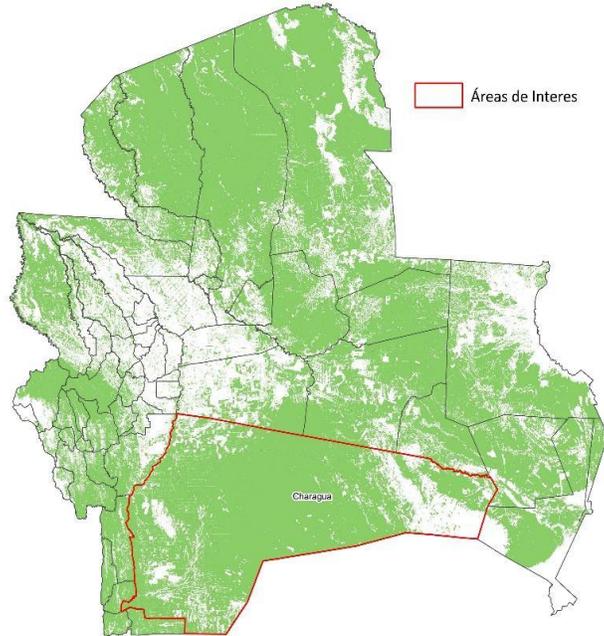
**Referencia Geográfica de los 3 escenarios**

**Figura F. Referencia geográfica del escenario 1, sin MCR**



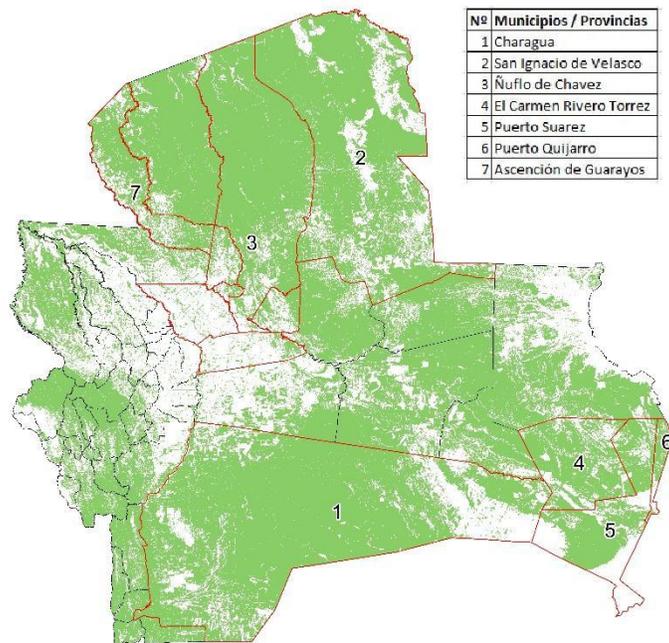
Fuente: Elaboración propia

**Figura G. Referencia geográfica del escenario 2, MCR solo en Charagua**



Fuente: Elaboración propia

**Figura H. Referencia geográfica del escenario 3, MCR para Charagua y más municipios**



Fuente: Elaboración propia

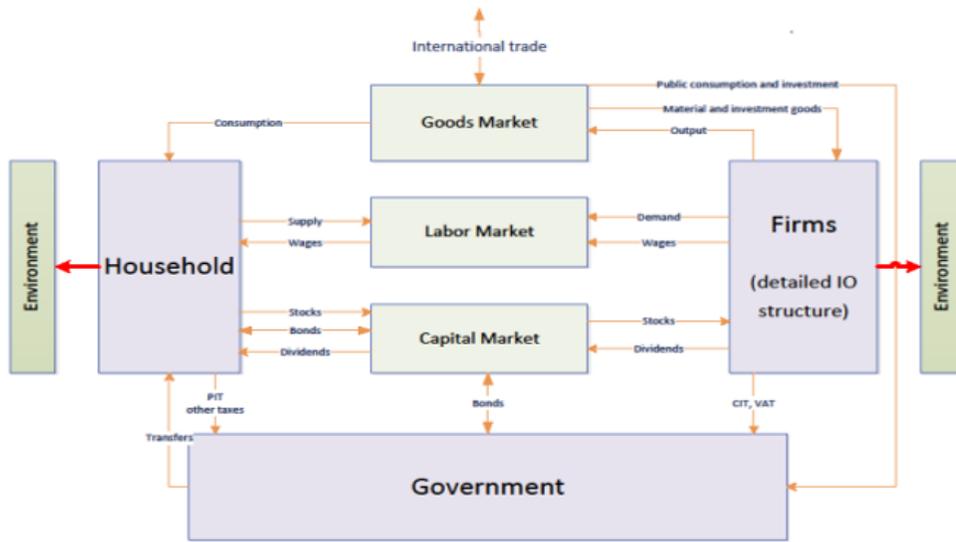
### ***MEMO – Modelo de opciones de mitigación macroeconómica***

Para la evaluación del paquete de políticas utilizamos el modelo dinámico estocástico de equilibrio general MEMO<sup>13</sup>, un modelo dinámico estocástico de equilibrio general desarrollado para Bolivia por el Instituto de Investigación Estructural. Este modelo combina características de la modelización insumo-producto y equilibrio general. Incluye una estructura sectorial basada en una matriz insumo-producto calibrada para la economía boliviana del año 2014. El modelo considera una economía abierta para el comercio internacional, modela la transición laboral con búsqueda y emparejamiento en el mercado, y adapta endógenamente la tecnología relacionada con el uso de energía. Los sectores modelados incluyen Agricultura, Silvicultura, Minería (Petróleo y Gas), Industria manufacturera, Energía (combustibles fósiles y renovables), Construcción, Transporte, Servicios de Mercado y Servicios públicos. Para detalles técnicos específicos y métodos de solución, se hace referencia al informe de Antosiewicz & Kowal (2016); sin embargo, la especificación exacta del modelo utilizado en este estudio difiere ligeramente del modelo considerando las particularidades de Bolivia.

---

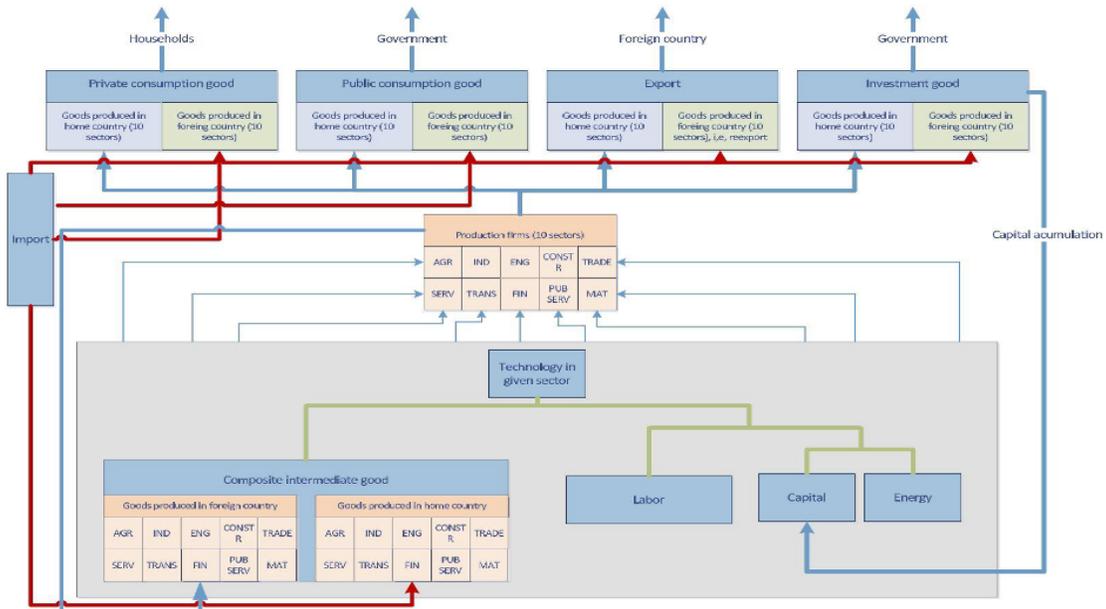
<sup>13</sup> La estructura matemática del modelo se la puede ver en el siguiente enlace [https://www.dropbox.com/scl/fi/44bxmehfs74f4jz1lldlm/IBS\\_Research\\_Report\\_02\\_2016.pdf?rlkey=wylxazykcvjv4das65zmaba8&dl=0](https://www.dropbox.com/scl/fi/44bxmehfs74f4jz1lldlm/IBS_Research_Report_02_2016.pdf?rlkey=wylxazykcvjv4das65zmaba8&dl=0) y para obtener los códigos en MATLAB visitar <https://www.dropbox.com/scl/fi/pjf2oftwtiz161hj8q3oe/model-for-SCZ-BOL.zip?rlkey=6h1w4vpw03yfmxl7dlr7pnch&dl=0>

Figura I. Estructura de la economía representada en el MEMO para Bolivia



Fuente: Antosiewicz, et al (2020)

Figura J. Esquema de producción del modelo MEMO en Bolivia



Fuente: Antosiewicz, et al (2020)

Se creó la matriz insumo-producto para Bolivia en 2014 usando datos del Instituto Nacional de Estadística (INE). La matriz de oferta detalla la producción y costos de 35 productos en 35 industrias, incluyendo importaciones. El uso final se desglosa en consumo de los hogares, consumo público, formación de capital, variación de existencias y exportaciones.

La derivación de la matriz entrada salida constó de los siguientes pasos:

1. Asumir cambios nulos en inventario
2. Distribuir imputaciones bancarias proporcionalmente al uso intermedio.
3. Transforme la tabla de uso a precios básicos utilizando el margen minorista y de transporte.
4. Generar tabla entrada-salida simétrica utilizando el modelo D.
5. Equilibre la matriz resultante de modo que la oferta total sea igual al uso total para cada sector.
6. Desagregar las importaciones para el uso intermedio y final.
7. Agregue la matriz a la estructura sectorial deseada
8. Desglosar la extracción de combustibles fósiles en extracción de productos: petróleo y gas.
9. Desglose el sector de generación de electricidad en combustibles fósiles y renovable,

En el modelo MEMO, las emisiones de  $CO_2$  se modelan directamente según el uso de combustibles fósiles como petróleo y gas, utilizando una función lineal ajustada con datos sectoriales específicos sobre emisiones. Se hicieron ajustes en cómo se asignan estas emisiones entre sectores económicos, especialmente en comparación con las prácticas habituales de clasificación de datos de emisiones. El modelo no aborda directamente otras emisiones no relacionadas con el carbono, como las industriales, de residuos, agricultura o captura forestal. Estas se consideran indirectamente en la fase de análisis posterior.

Para intervenciones relacionadas con energías no fósiles, como en silvicultura o agricultura, se utilizan datos de inversión y costos operativos para estimar el impacto macroeconómico, enfocándose en reducir emisiones no relacionadas con el carbono. En simulaciones de impuestos al carbono, los agentes del modelo responden solo a las emisiones de combustibles fósiles modeladas directamente, sin ajustar otras actividades económicas para reducir emisiones no carbonosas, como en la agricultura.